

Linee guida recanti i criteri per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili ex art. 3, comma 2 del decreto legislativo 372/99

Linee guida relative ad impianti esistenti per le attività rientranti nelle categorie IPPC:

5 Gestione dei rifiuti

(Impianti di trattamento chimico-fisico e biologico dei rifiuti liquidi)

PREMESSA

Il presente documento riassume le proposte del Gruppo Tecnico Ristretto (GTR) sulla gestione dei rifiuti, istituito dalla Commissione Nazionale ex art. 3 comma 2 del D.Lgs 372/99, nell'ambito delle attività inerenti la redazione delle linee guida per l'individuazione delle migliori tecniche disponibili, meglio note con l'acronimo inglese di BAT ("Best Available Techniques"), ai fini del rilascio, da parte delle autorità competenti nazionali e regionali, dell'autorizzazione integrata ambientale (AIA).

Il GTR risulta così costituito:

- dott.ssa Rosanna Laraia (APAT, coordinatore) designata dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio
- dott. Fabrizio De Poli (MATT) designato dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio
- dott. Marco Di Basilio (ISPESL) e dott.ssa Loredana Musmeci (ISS), designati dal Ministero della salute
- ing. Giuseppe Di Masi, designato dal Ministero delle attività produttive
- dott. Guido Morini e dott. Paolo Cesco designati da Confindustria
- dott. Antonio Stifanelli designato da Federambiente.

Il documento è stato elaborato nell'ambito del sottogruppo "Impianti di trattamento chimico fisico e biologico di rifiuti liquidi" al quale hanno partecipato, oltre alla dott.ssa Rosanna Laraia, coordinatore del GTR, anche i seguenti esperti:

- dott. Federico Foschini (APAT)
- dott. Andrea Massimiliano Lanz (APAT),

Ha collaborato ai lavori il dott. Renato Bargna (ECODECO).

INDICE

- A) SCOPI ED OBIETTIVI
- B) IDENTIFICAZIONE DELLA NORMATIVA AMBIENTALE RILEVANTE NEL SETTORE
 - B.1 Normativa comunitaria
 - B.2 Normativa nazionale
- C) RICOGNIZIONE DELLA SITUAZIONE DEL SETTORE, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLE SPECIFICITÀ DEL TESSUTO INDUSTRIALE NAZIONALE
- D) DESCRIZIONE DEL PROCESSO DI PRODUZIONE E DEGLI IMPIANTI PER I QUALI SONO ANALIZZATE LE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI
 - D.1 Introduzione
 - D.2 Trattamenti chimico-fisici dei rifiuti liquidi
 - D.2.1 Separazione meccanica dei componenti non solubili
 - D.2.1.1 Sedimentazione/flocculazione
 - D.2.1.2 Flottazione
 - D.2.1.3 Filtrazione
 - D.2.1.4 Microfiltrazione ed ultrafiltrazione
 - D.2.1.5 Separazione delle emulsioni oleose
 - D.2.2 Separazione chimico-fisica di composti solubili non biodegradabili
 - D.2.2.1 Osmosi inversa e nanofiltrazione
 - D.2.2.2 Elettrodialisi
 - D.2.2.3 Adsorbimento
 - D.2.2.4 Scambio ionico
 - D.2.2.5 Precipitazione
 - D.2.2.6 Ossidazione chimica
 - D.2.2.7 Processo di ossidazione ad umido (wet air oxidation)
 - D.2.2.8 Riduzione chimica
 - D.2.2.9 Strippaggio con aria
 - D.2.2.10 Distillazione/rettifica
 - D.2.2.11 Evaporazione
 - D.2.2.12 Estrazione con solvente
 - D.3 Trattamenti biologici dei rifiuti liquidi
 - D.3.1 Trattamenti aerobici
 - D.3.2 Trattamenti anaerobici
 - D.4 Stoccaggio rifiuti liquidi, linea fanghi e depurazione gas esausti
 - D.4.1 Stoccaggio rifiuti liquidi
 - D.4.2 Linea fanghi
 - D.4.3 Linea depurazione gas esausti

E) INDIVIDUAZIONE DELLE BAT, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO, OVE DISPONIBILI, ALLE CONCLUSIONI DEI BREF COMUNITARI

E.1 Concetto generale delle migliori tecniche e tecnologie per lo specifico settore

E.2 Aspetti tecnici e tecnologici dello specifico settore

E.3 Aspetti ambientali

E.3.1 Trattamenti chimico-fisici

E.4 Aspetti ambientali: emissioni

E.4.1 Trattamenti chimico-fisici

E.4.2 Trattamenti biologici

E.5 Individuazione delle migliori tecniche e tecnologie per lo specifico settore in Italia

E.5.1 Migliori tecniche e tecnologie per il trattamento dei rifiuti liquidi

E.5.1.1 Criteri generali e sistemi di monitoraggio

E.5.1.2 Attività di informazione

E.5.1.3 Stoccaggio e movimentazione

E.5.1.4 Trattamento delle emissioni gassose

E.5.1.5 Gestione dei reflui prodotti nell'impianto

E.5.1.6 Gestione dei rifiuti prodotti dall'impianto

E.5.2 Migliori tecniche e tecnologie per i trattamenti chimico-fisici

E.5.2.1 Criteri generali

E.5.2.2 Tecniche specifiche per categoria di inquinante

E.5.3 Migliori tecniche e tecnologie per i trattamenti biologici

E.5.3.1 Criteri generali

E.5.3.2 Tecniche specifiche per alcune tipologie di sostanze ed impianti di trattamento

F) APPROFONDIMENTO, OVE NECESSARIO, DELLE TECNICHE ANALIZZATE NEI BREF COMUNITARI E DEFINIZIONE, OVE POSSIBILE, DEL RANGE DI PRESTAZIONE DELLE DIVERSE TECNICHE

F.1 Introduzione

F.2 Trattamento di rifiuti liquidi contenenti cianuri

F.3 Trattamento di rifiuti liquidi contenenti cromo esavalente

F.4 Riutilizzo di acidi forti esausti nei trattamenti di rifiuti liquidi

F.5 Rimozione biologica dello zolfo e dei metalli pesanti

F.6 Rimozione biologica dell'azoto

F.7 Trattamenti dei fanghi

F.7.1 Ispessimento e disidratazione dei fanghi

F.7.2 Stabilizzazione e condizionamento

F.7.3 Ossidazione termica

F.8 Ossidazione chimica con ozono

F.9 Trattamento dei percolati di discarica

G) IDENTIFICAZIONE DI EVENTUALI TECNICHE ALTERNATIVE E DEFINIZIONE, OVE POSSIBILE, DEL RANGE DI PRESTAZIONE DI TALI TECNICHE

G.1 Reattori biologici sequenziali (SBR Sequencing batch reactors)

G.2 Bioreattori (MBR)

- G.3 Sistemi di arricchimento ossigeno
 - G.4 Trattamento anaerobico del percolato di discariche di rifiuti urbani con reattori a biomassa adesa
 - G.5 Rimozione biologica del fosforo
 - G.6 Stagni biologici (o lagunaggi)
- H) DEFINIZIONE (SULLA BASE DELL'APPROFONDIMENTO E DELL'ESTENSIONE DELLE ANALISI SVOLTE IN SEDE COMUNITARIA) DELLA LISTA DELLE MIGLIORI TECNICHE PER LA PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO DELLO SPECIFICO SETTORE IN ITALIA
- H.1 Configurazione base dell'impianto
 - H.1.1 Ricevimento, stoccaggio e movimentazione
 - H.1.2 Migliori tecniche e tecnologie per i trattamenti chimico-fisici e biologici dei rifiuti liquidi
 - H.1.3 Limitazione delle emissioni
 - H.1.4 Migliori tecniche di gestione degli impianti di trattamento chimico-fisico e biologico dei rifiuti liquidi
 - H.1.5 Piano di gestione operativa
 - H.1.6 Programma di sorveglianza e controllo (PSC)
 - H.2 Strumenti di gestione ambientale
 - H.2.1 Personale
 - H.2.2 Benchmarking
 - H.2.3 Certificazione
 - H.2.4 Sistemi di supervisione e controllo
 - H.2.5 Comunicazione e consapevolezza pubblica
 - H.3 Aspetti di pianificazione e gestione
 - H.3.1 Ubicazione dell'impianto
 - H.3.2 Trasporti e collegamento al sistema viario
- I) ANALISI DELL'APPLICABILITÀ AD IMPIANTI ESISTENTI DELLE TECNICHE DI PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO ELENCALE AL PUNTO PRECEDENTE, ANCHE CON RIFERIMENTO AI TEMPI DI ATTUAZIONE
- I.1 Applicazione delle BAT
 - I.1.1 Le dimensioni dell'impianto
 - I.1.2 L'età dell'impianto
 - I.1.3 Le caratteristiche dei rifiuti trattati
 - I.1.4 Presenza di vincoli di carattere tecnico
 - I.1.5 Interventi per l'applicazione delle BAT
- J) FATTIBILITÀ ECONOMICA DELLE TECNICHE ELENCALE ANALIZZATA ATTRAVERSO ANALISI COSTI-BENEFICI
- K) DEFINIZIONE DEI CRITERI DI INDIVIDUAZIONE E UTILIZZAZIONE DELLE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI
- K.1 La definizione di BAT
 - K.1.1 La direttiva 96/61/CE
 - K.1.2 Impatto ambientale e rischi
 - K.1.3 Fattibilità tecnico-economica
 - K.1.4 Processo decisionale per l'individuazione delle BAT
 - K.2 Criteri di individuazione delle BAT
 - K.2.1. Impiego di tecniche a scarsa produzione di rifiuti

K.2.2 Impiego di sostanze meno pericolose

K.3 Processi, sistemi o metodi operativi sperimentati su scala industriale

K.4 Progressi in campo tecnico e evoluzione delle conoscenze in campo scientifico

K.5 Natura, effetti e volume delle emissioni

K.6 Messa in funzione degli impianti nuovi o esistenti

K.7 Tempo richiesto per l'adozione di una migliore tecnica disponibile

K.8 Consumo di risorse

K.9 Prevenzione e riduzione dell'impatto globale sull'ambiente

K.10 Prevenzione degli incidenti e minimizzazione degli effetti

Glossario

Definizioni

Abbreviazioni ed acronimi

Riferimenti bibliografici

A) SCOPI ED OBIETTIVI

Con decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio, di concerto con il Ministro delle attività produttive e con il Ministro della Salute, in data 15 aprile 2003, è stata istituita la Commissione Nazionale ex art. 3, comma 2, del decreto legislativo 372/99 (recepimento della direttiva 96/61/CE nota come "IPPC"), per la redazione di linee guida per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD) meglio note con l'acronimo inglese di BAT ("Best Available Techniques"), ai fini del rilascio, da parte delle autorità competenti nazionali e regionali, dell'autorizzazione integrata ambientale (AIA).

La Commissione suddetta ha istituito, a sua volta, tredici gruppi tecnici ristretti (GTR), composti da rappresentanti dei ministeri interessati e degli interessi industriali, ed ha incaricato i GTR di predisporre una proposta di linee guida in ciascuno dei tredici settori ritenuti al momento prioritari.

A livello comunitario la Commissione Europea (CE) ha istituito da tempo, ai fini dell'attuazione della suddetta direttiva, un apposito "ufficio IPPC" con sede presso il Centro Comunitario di Ricerche di Siviglia. L'ufficio in questione coordina una serie di gruppi tecnici cui spetta il compito di redigere dei documenti di riferimento per l'individuazione delle BAT, i cosiddetti "Best Available Techniques Reference documents", (BRefs).

Nel presente documento sono riportati i risultati dei lavori del GTR "Gestione dei rifiuti", sottogruppo "Impianti di trattamento chimico fisico e biologico di rifiuti liquidi".

Va evidenziato che l'oggetto delle presenti Linee Guida è trattato solo in parte nel documento Europeo "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries" (WT BRef). Si è potuto, comunque, far ricorso anche al "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector" (CWW BRef) che, sebbene indirizzato specificatamente al settore dei reflui industriali, fornisce informazioni dettagliate in merito a diverse operazioni di trattamento chimico fisico e biologico, applicabili anche ai rifiuti liquidi. Nella maggior parte dei casi, infatti, le conformazioni impiantistiche e le soluzioni tecnologiche adottate per il trattamento dei rifiuti liquidi e delle acque reflue sono le medesime; va, tuttavia, rilevato che la categoria di impianti deputata al solo trattamento di acque reflue non è sottoposta alla disciplina IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control).

Si precisa che, nell'ordinamento nazionale, i rifiuti liquidi rientrano nel campo di applicazione della parte quarta del decreto legislativo 152/2006 ad esclusione, in base alle deroga individuata all'articolo 185, comma b), degli scarichi idrici (esclusi i rifiuti liquidi costituiti da acque reflue), che sono, invece, regolamentati dalla parte terza del decreto legislativo stesso. All'articolo 74, comma 1), lettera ff) viene definita con il termine di scarico "*qualsiasi immissione di acque reflue in acque superficiali, sul suolo, nel sottosuolo e in rete fognaria, indipendentemente dalla loro natura inquinante, anche sottoposte a preventivo trattamento di depurazione. Sono esclusi i rilasci di acque previsti all'articolo 114; (dighe)*". La parte terza de D.Lgs 152/2006 regola, pertanto, solo le acque reflue che vengono scaricate, nel rispetto dei limiti di legge, nei corpi recettori. In tutti gli altri casi, ivi compreso lo scarico indiretto con trasporto, prevale, invece, la disciplina prevista dalla parte quarta del decreto legislativo.

Scopo principale del presente documento è quello di costituire un riferimento sulle conoscenze tecniche e tecnologiche dello specifico settore, che possa essere di aiuto sia all'operatore in sede di presentazione della domanda di autorizzazione integrata ambientale, sia all'autorità competente che dovrà istruire il procedimento e rilasciare la relativa autorizzazione.

A tale fine si è cercato di fornire:

- descrizioni approfondite dei principali processi di trattamento chimico fisico e biologico attualmente utilizzati a livello nazionale ed europeo;
- informazioni riguardo agli attuali livelli di emissioni ed ai consumi di risorse (materie prime ed energia) del settore;

- indicazioni su alcune tecniche che possono costituire BAT di riferimento a livello nazionale, tenuto conto della specifica situazione del settore in Italia.

Sulla definizione delle BAT, in particolare, si intende qui evidenziare che la loro applicabilità non può risultare di carattere generale, essendo fortemente influenzata dalla tipologia di rifiuti trattati, dalle caratteristiche dell'impianto di trattamento e, soprattutto, dalle condizioni locali nel quale lo specifico impianto è installato.

B. IDENTIFICAZIONE DELLA NORMATIVA AMBIENTALE RILEVANTE NEL SETTORE

Di seguito, viene riportato un elenco non esaustivo della normativa comunitaria e nazionale in tema di gestione dei rifiuti e di riduzione dell'impatto sull'ambiente che può presentare risvolti sul settore del trattamento dei rifiuti.

L'elenco riportato non ha alcuna pretesa di completezza e non può pertanto costituire un riferimento da adottare nei procedimenti autorizzativi, anche alla luce del fatto che esso non include la normativa regionale, alla quale occorre attenersi per l'esercizio degli impianti.

B.1 Normativa Comunitaria

Direttiva 76/769/CEE del 27 luglio 1976 *concernente il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati membri relative alle restrizioni in materia di immissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi.*

Direttiva 84/360/CEE del 28 giugno 1984 *concernente la lotta contro l'inquinamento atmosferico provocato dagli impianti industriali.*

Direttiva 85/467/CE del 1° ottobre 1985 *recante sesta modifica (PCB/PCT) della direttiva 76/769/CEE concernente il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati membri relative alle restrizioni in materia di ammissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi.*

Direttiva 86/278/CEE del 12 giugno 1986 *concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura*

Direttiva 89/369/CEE dell'8 giugno 1989 *sulla prevenzione dell'inquinamento atmosferico provocato dai nuovi impianti di incenerimento dei rifiuti urbani.*

Direttiva 89/429/CEE del 21 giugno 1989 *sulla riduzione dell'inquinamento atmosferico provocato dagli impianti esistenti di incenerimento dei rifiuti urbani.*

Direttiva 91/271/CEE del 21 maggio 1991 *concernente il trattamento delle acque reflue urbane.*

Direttiva 91/689/CEE del 12 dicembre 1991 *relativa ai rifiuti pericolosi.*

Direttiva 91/692/CEE del 23 dicembre 1991 *per la standardizzazione e la razionalizzazione delle relazioni relative all'attuazione di talune direttive concernenti l'ambiente.*

Reg. (CEE) n. 793/93 del 23 marzo 1993 *"Valutazione e controllo dei rischi presentati dalle sostanze esistenti".*

Reg. (CEE)n. 1488/94 del 28 giugno 1994 *"Principi per la valutazione dei rischi per l'uomo e per l'ambiente delle sostanze esistenti, a norma del regolamento (CEE) n. 793/93 del Consiglio".*

Direttiva 94/31/CE del 27 giugno 1994 *che modifica la Direttiva 91/689/CEE relativa ai rifiuti pericolosi.*

Direttiva 94/67/CE del 16 dicembre 1994 *sull'incenerimento dei rifiuti pericolosi.*

Direttiva 96/61/CE del 24 settembre 1996 *sulla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento.*

Decisione 96/350/CE del 24 maggio 1996 *che adatta gli allegati IIA e IIB della Direttiva 75/442/CEE relativa ai rifiuti.*

Direttiva 96/82/CE del 9 dicembre 1996 *relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose (Seveso BIS).*

Direttiva 96/59/CE del 16 settembre 1996 *concernente lo smaltimento dei Policlorodifenili e dei Policlorotrifenili (PCB/PCT).*

Risoluzione 97/76/CEE del 24 febbraio 1997 *Strategia comunitaria per la gestione dei rifiuti.*

Direttiva 99/31/CE del 26 aprile 1999 *relativa alle discariche dei rifiuti.*

Decisione 2000/532/CE del 3 maggio 2000 *che sostituisce la decisione 94/3/CE che istituisce un elenco di rifiuti conformemente all'ari.1, lettera a), della Direttiva 75/442/CEE del Consiglio*

relativa ai rifiuti e la Decisione 94/904/CE del Consiglio che istituisce un elenco di rifiuti pericolosi ai sensi dell'art.1, paragrafo 4, della Direttiva 91/689/CEE del Consiglio relativa ai rifiuti pericolosi.

Direttiva 2000/53/CE del 18 settembre 2000 *relativa ai veicoli fuori uso.*

Direttiva 2000/60/CE del 23 ottobre 2000 *che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque*

Direttiva 2000/59/CE del 27 novembre 2000 *relativa agli impianti portuali di raccolta per i rifiuti prodotti dalle navi e i residui del carico.*

Direttiva 2000/76/CE del 4 dicembre 2000 *relativa all'incenerimento dei rifiuti.*

Decisione 2001/68/CE del 16 gennaio 2001 *che definisce i parametri relativi ai PCB ai sensi dell'articolo 10, lettera a) della direttiva 96/59/CE concernente lo smaltimento dei policlorobifenili e policlorotrifenili (PCB/PCT).*

Direttiva 2001/58/CE del 27 luglio 2001 *che modifica per la seconda volta la direttiva 91/155/CEE che definisce e fissa le modalità del sistema di informazione specifica concernente i preparati pericolosi ai sensi dell'art. 14 della direttiva 1999/45/CE del Parlamento europeo e del Consiglio nonché quelle relative alle sostanze pericolose conformemente all'art. 27 della direttiva 67/548/CEE del Consiglio (schede dati di sicurezza).*

Decisione 2001/118/CE del 16 gennaio 2001 *che modifica l'elenco di rifiuti istituito dalla Decisione 2000/532/CE.*

Decisione 2001/119/CE del 22 gennaio 2001 *che modifica la Decisione 2000/532/CE che sostituisce la decisione 94/3/CE che istituisce un elenco di rifiuti conformemente all'art. 1, lettera a), della Direttiva 75/442/CEE del Consiglio relativa ai rifiuti e la Decisione 94/904/CE del Consiglio che istituisce un elenco di rifiuti pericolosi ai sensi dell'art.1, paragrafo 4, della Direttiva 91/689/CEE del Consiglio relativa ai rifiuti pericolosi.*

Decisione 2001/573/CE del 23 luglio 2001 *che modifica l'elenco di rifiuti contenuto nella decisione 2000/532/CE.*

Decisione 2001/753/CE del 17 ottobre 2001 *relativa al questionario che gli Stati membri devono utilizzare per le loro relazioni sull'attuazione della direttiva 2000/53/CE relativa ai veicoli fuori uso.*

Decisione 2002/151/CE del 19 febbraio 2002 *relativa ai requisiti minimi per il certificato di rottamazione rilasciato ai sensi dell'art. 5, paragrafo 3 della direttiva 2000/53/CE relativa ai veicoli fuori uso.*

Decisione 2002/525/CE del 27 giugno 2002 *che modifica l'allegato II della direttiva 2000/53/CE relativa ai veicoli fuori uso.*

Decisione 2002/1600/CE del 22 luglio 2002 *che istituisce il sesto programma comunitario di azione in materia di ambiente.*

Decisione 2002/909/CE del 13 novembre 2002 *relativa alle norme italiane che dispensano dagli obblighi di autorizzazione gli stabilimenti o le imprese che provvedono al recupero dei rifiuti pericolosi ai sensi dell'articolo 3 della direttiva 91/689/CEE relativa ai rifiuti pericolosi.*

Regolamento (CE) n. 2150/2002 del 25 novembre 2002 *relativo alle statistiche sui rifiuti.*

Decisione 2003/33/CE del 19 dicembre 2002, *che stabilisce criteri e procedure per l'ammissione dei rifiuti nelle discariche ai sensi dell'articolo 16 e dell'allegato II della direttiva 1999/31/CE.*

Direttiva 2002/95/CE del 27 gennaio 2003 *sulla restrizione d'uso di determinate sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche.*

Direttiva 2002/96/CE del 27 gennaio 2003 *sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE).*

Decisione 2003/138/CE del 27 febbraio 2003 *che stabilisce norme di codifica dei componenti e dei materiali per i veicoli a norma della direttiva 2000/53/CE relativa ai veicoli fuori uso.*

Comunicazione della Commissione Europea del 27 maggio 2003, *Verso una Strategia tematica di prevenzione e riciclo dei rifiuti - Com(2003)301 definitivo.*

Direttiva 2004/12/CE dell'11 febbraio 2004 "Modifiche alla direttiva 94/62/CE sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio"

Direttiva 2004/107/CE del 15 dicembre 2004 concernente l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nickel e gli idrocarburi policiclici aromatici nell'aria ambiente

Comunicazione della Commissione Europea del 21 dicembre 2005 "Portare avanti l'utilizzo sostenibile delle risorse: una strategia tematica sulla prevenzione e il riciclaggio dei rifiuti"- Com(2005)666 definitivo.

Regolamento 782/2005/CE del 24 maggio 2005 che stabilisce il formato per la trasmissione dei risultati delle statistiche sui rifiuti

Regolamento 1445/2005/CE del 5 settembre 2005 che definisce gli opportuni criteri di valutazione della qualità e i contenuti delle relazioni sulla qualità delle statistiche sui rifiuti ai fini del regolamento (CE) n. 2150/2002 del Parlamento europeo e del Consiglio

Direttiva 2006/12/CE del 5 aprile 2006 relativa ai rifiuti

Regolamento 2006/1013/CE del 14 giugno 2006 relativo alle spedizioni di rifiuti

B.2 Normativa Nazionale

Normativa generale sui rifiuti e sugli impianti di trattamento rifiuti

Deliberazione del Comitato interministeriale 27 luglio 1984 Disposizioni per la prima applicazione dell'art. 4 del decreto del Presidente della Repubblica **10 settembre 1982 n. 915**, concernente lo smaltimento dei rifiuti

D.Lgs 27 gennaio 1992, n. 99 "Attuazione della direttiva 86/278/CEE concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura"

Legge 28 dicembre 1993, n. 549 "Misure a tutela dell'ozono stratosferico e dell'ambiente" (come modificata dalla legge **16 giugno 1997, n. 179**).

D.M. 29 ottobre 1997 "Approvazione statuto CONAP".

D.M. 5 febbraio 1998 "Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli artt.31 e 33 del D.Lgs. 5 febbraio 1997, n. 22".

D.M. 28 aprile 1998, n. 406 "Regolamento recante norme di attuazione di direttive dell'Unione europea, avente ad oggetto la disciplina dell'Albo nazionale delle imprese che effettuano la gestione dei rifiuti"

D.M. 4 agosto 1998, n. 372 "Regolamento recante norme sulla riorganizzazione del catasto dei rifiuti"

D.M. 15 luglio 1998 "Approvazione statuti consorzi di filiera".

D.M. 1 aprile 1998, n. 145 "Regolamento recante la definizione del modello e dei contenuti del formulario di accompagnamento dei rifiuti ai sensi degli artt. 15, 18 comma 2, lettera e), e comma 4, del D.Lgs. 22/97".

D.M. 1 aprile 1998, n. 148 "Regolamento recante approvazione del modello dei registri di carico e scarico dei rifiuti ai sensi degli artt. 12, 18, comma 2, lettera m), e 18, comma 4 del D.Lgs. 22/97".

D.M. 3 settembre 1998, n. 370 "Regolamento recante le norme concernenti le modalità di prestazione della garanzia finanziaria per il trasporto transfrontaliero dei rifiuti".

Legge 9 dicembre 1998, n. 426 "Nuovi interventi in campo ambientale"

Legge 25 febbraio 2000, n. 33 "conversione in legge con modificazioni del D.L. 30 dicembre 1999, n. 500 recante disposizioni urgenti concernenti la proroga di termini per lo smaltimento in discarica di rifiuti e per le comunicazioni relative ai PCB nonché l'immediata attuazione di risorse finanziarie necessarie all'attivazione del protocollo di Kyoto".

Legge 23 marzo 2001, n. 93 "Disposizioni in campo ambientale".

Legge 20 agosto 2001, n. 335 "Conversione in legge del DL 16 luglio 2001, n. 286 recante differimento di termini in materia di smaltimento rifiuti".

Legge 31 ottobre 2001, n. 399 “Istituzione di una Commissione parlamentare di inchiesta sul ciclo dei rifiuti”.

Legge 21 dicembre 2001, n. 443 “Delega al Governo in materia di infrastrutture ed insediamenti produttivi strategici ed altri interventi per il rilancio delle attività produttive”.

Direttiva Ministero dell’ambiente e tutela del territorio 9 aprile 2002 “Indicazioni per la piena e corretta applicazione del regolamento comunitario n. 2557/2001 sulle spedizioni di rifiuti ed in relazione al nuovo elenco dei rifiuti”.

D.M. 12 giugno 2002, n. 161 “Regolamento attuativo degli articoli 31 e 33 del D.Lgs. 22/97, relativo all’individuazione dei rifiuti pericolosi che è possibile ammettere alle procedure semplificate”.

Legge 31 luglio 2002, n. 179, “Disposizioni in materia ambientale” (Collegato ambientale alla Finanziaria 2002).

DPCM 24 dicembre 2002 Approvazione del nuovo modello unico di dichiarazione ambientale per l’anno 2003

D.Lgs. 13 gennaio 2003, n. 36 “Attuazione della Direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti”.

D.Lgs. 24 giugno 2003, n. 182, “Attuazione della direttiva 2000/59/CE relativa agli impianti portuali di raccolta per i rifiuti prodotti dalle navi ed i residui del carico”.

D.Lgs. 24 giugno 2003, n. 209, “Attuazione della direttiva 2000/53/CE relativa ai veicoli fuori uso”.

D.M. 8 maggio 2003, n. 203, “Norme affinché gli uffici pubblici e le società a prevalente capitale pubblico coprano il fabbisogno annuale di manufatti e beni con una quota di prodotti ottenuti da materiale riciclato nella misura non inferiore al 30 % del fabbisogno medesimo” (Green Public Procurement).

D.P.R. 15 luglio 2003, n. 254 “Regolamento recante disciplina della gestione dei rifiuti sanitari a norma dell’articolo 24 della legge 31 luglio 2002, n. 179”.

Legge 31 ottobre 2003, n. 306 “Disposizioni per l’adempimento di obblighi derivanti dall’appartenenza dell’Italia alle Comunità europee” (Legge Comunitaria 2003).

D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 “Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell’energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell’elettricità”.

Legge 15 dicembre 2004, n. 308 “Delega al Governo per il riordino, il coordinamento e l’integrazione della legislazione in materia ambientale e misure di diretta applicazione”

DPCM 22 dicembre 2004 “Approvazione del modello unico di dichiarazione ambientale per l’anno 2005 - cap. 1 sezione veicoli a fine vita o fuori uso”.

D.Lgs. 11 maggio 2005, n. 133 “Attuazione della direttiva 2000/76/CE, in materia di incenerimento dei rifiuti”.

D.Lgs. 25 luglio 2005, n. 151 “Attuazione della direttiva 2002/95/CE, della direttiva 2002/96/CE e della direttiva 2003/108/CE, relative alla riduzione dell’uso di sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche, nonché allo smaltimento dei rifiuti”.

D.M. 3 agosto 2005 “Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica”.

D.M. 17 novembre 2005, n. 269 “Regolamento attuativo degli articoli 31 e 33 del D.Lgs. 5 febbraio 1997, n. 22, relativo all’individuazione dei rifiuti pericolosi provenienti dalle navi, che è possibile ammettere alle procedure semplificate”

D.Lgs 23 febbraio 2006, n. 149 “Disposizioni correttive ed integrative al D.Lgs 24 giugno 2003, n. 209, recante attuazione della direttiva 2000/53/CE in materia di veicoli fuori uso”.

D.Lgs 3 aprile 2006, n. 152 “Norme in materia ambientale”, parte IV

Decreto 5 aprile 2006, n.186 ” Regolamento recante modifiche al decreto ministeriale 5 febbraio 1998 "Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero, ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22"

D. Lgs 29 aprile 2006, n. 217 “Revisione della disciplina in materia di fertilizzanti”.

Decreto 5 maggio 2006 *“Individuazione dei rifiuti e dei combustibili derivati dai rifiuti ammessi a beneficiare del regime giuridico riservato alle fonti rinnovabili”*

Inquinamento atmosferico e contenimento emissioni

D.P.R. 24 maggio 1988, n. 203 *“Attuazione delle direttive CEE numeri 80/779, 82/884, 84/360, e 85/203 concernenti norme in materia di qualità dell'aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali, ai sensi dell'art. 15 della legge 16 aprile 1987, n. 18”*.

D.P.C.M. 21 luglio 1989 *“Atto di indirizzo e coordinamento alle Regioni, ai sensi dell'articolo 9 della legge 8 luglio 1986, n. 349, per l'attuazione e l'interpretazione del decreto del Presidente della Repubblica 24 maggio 1988, n. 203, recante norme in materia di qualità dell'aria relativamente a specifici agenti inquinanti e di inquinamento prodotto da impianti industriali”*.

D.M. 12 luglio 1990 *“Linee guida per il contenimento delle emissioni inquinanti degli impianti industriali e la fissazione dei valori minimi di emissione”*.

D.P.R. 25 luglio 1991 *“Modifiche all'atto di indirizzo e coordinamento in materia di emissioni poco significative e di attività a ridotto inquinamento atmosferico, emanato con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 21 luglio 1989”*.

Legge 15 gennaio 1994, n. 65 *“Ratifica ed esecuzione della convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, con allegati, fatta a New York il 9 maggio 1992”*.

D.M. 15 aprile 1994 *“Norme tecniche in materia di livelli e di stati di attenzione e di allarme per gli inquinanti atmosferici nelle aree urbane, ai sensi degli articoli 3 e 4 del decreto del Presidente della Repubblica 24 maggio 1988, n. 203, e dell'art. 9 del decreto ministeriale 24 maggio 1991”*.

D.M. 21 dicembre 1995 *“Disciplina dei metodi di controllo delle emissioni in atmosfera dagli impianti industriali”*.

D.M. 19 novembre 1997, n. 503 *“Regolamento recante norme per l'attuazione delle Direttive CEE 89/369 e 89/429 concernenti la prevenzione dell'inquinamento atmosferico provocato dagli impianti di incenerimento dei rifiuti urbani e la disciplina delle emissioni e delle condizioni di combustione degli impianti di incenerimento dei rifiuti urbani, di rifiuti speciali non pericolosi, nonché di taluni rifiuti sanitari”*.

D.Lgs. 4 agosto 1999, n. 351 *“Attuazione della direttiva 96/62/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente”*.

D.M. 25 agosto 2000 *“Aggiornamento dei metodi di campionamento, analisi e valutazione degli inquinanti, ai sensi del D.P.R. 24 maggio 1988, n. 203”*.

D.M. 4 giugno 2001 *“Programmi di rilievo nazionale per la riduzione delle emissioni di gas serra, in attuazione dell'art. 3 del decreto ministeriale 20 luglio 2000, n. 337”*.

D.P.C.M. 8 marzo 2002 *“Disciplina delle caratteristiche merceologiche dei combustibili aventi rilevanza ai fini dell'inquinamento atmosferico, nonché delle caratteristiche tecnologiche degli impianti di combustione”*.

D.M. 2 aprile 2002, n. 60 *“Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio”*.

Legge 1° giugno 2002, n. 120 *“Ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto alla Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997”*.

D.M. 20 settembre 2002 *“Attuazione dell'articolo 5 della legge 28 dicembre 1993, n. 549, recante misure a tutela dell'ozono stratosferico”*.

Decreto 16 gennaio 2004, n. 44 *“Recepimento della direttiva 1999/13/CE relativo alla limitazione delle emissioni di composti organici volatili di talune attività industriali ai sensi dell'art. 3, comma 2, del D.P.R. 24 maggio 1988, n. 203”*.

Decreto legislativo 21 maggio 2004, n. 171 *“Attuazione della direttiva 2001/81/CE relativa ai limiti nazionali di emissione di alcuni inquinanti atmosferici”*

D.Lgs 21 maggio 2004, n. 183 “Attuazione della direttiva 2002/3/CE relativa all'ozono nell'aria”.
D.M. 26 gennaio 2005 “Istituzione presso la Direzione generale per la salvaguardia ambientale del comitato tecnico previsto dall'articolo 3, comma 2, del decreto legislativo 21 maggio 2004, n. 171”

Tutela delle risorse idriche

Legge 11 novembre 1996, n. 574 “Nuove norme in materia di utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e di scarichi dei frantoi oleari”.

D.M. 23 marzo 2000 recante “Approvazione dei Metodi ufficiali di analisi delle acque per uso agricolo e zootecnico”.

D.M. 28 luglio 2004 “Linee guida per la predisposizione del bilancio idrico di bacino, comprensive dei criteri per il censimento delle utilizzazioni in atto e per la definizione del minimo deflusso vitale, di cui all'articolo 22, comma 4, del D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152”.

D.M. 12-6-2003 n. 185 “Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell'articolo 26, comma 2, del D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152”

D.M. 6 luglio 2005 “Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e degli scarichi dei frantoi oleari, di cui all'articolo 38 del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152”

D.Lgs 3 aprile 2006, n. 152 “Norme in materia ambientale”, parte III

Valutazione Impatto Ambientale e IPPC

Legge 8 luglio 1986, n. 349 “Istituzione del Ministero dell'ambiente e norme in materia di danno ambientale”.

D.P.C.M. 10 agosto 1988, n. 377 “Regolamentazione delle pronunce di compatibilità ambientale di cui all'art. 6 della legge 8 luglio 1986, n. 349, recante istituzione del Ministero dell'ambiente e norme in materia di danno ambientale”.

D.P.C.M. 27 dicembre 1988 “Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale e la formulazione del giudizio di compatibilità di cui all'art. 6 della legge 8 luglio 1986, n. 349, adottate ai sensi dell'art. 3 del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 10 agosto 1988, n. 377”.

D.P.R. 12 aprile 1996 “Atto di indirizzo e coordinamento per l'attuazione dell'art. 40, comma 1, della legge 22 febbraio 1994, n. 146, concernente disposizioni in materia di valutazione di impatto ambientale”.

D.P.R. 11 febbraio 1998 “Disposizioni integrative al D.P.C.M. 10 agosto 1988, n. 377, in materia di disciplina delle pronunce di compatibilità ambientale, di cui alla L. 8 luglio 1986, n. 349, art. 6”.

D.P.R. 2 settembre 1999, n. 348 “Regolamento recante norme tecniche concernenti gli studi di impatto ambientale per talune categorie di opere”.

D.P.C.M. 3 settembre 1999 “Atto di indirizzo e coordinamento che modifica ed integra il precedente atto di indirizzo e coordinamento per l'attuazione dell'art. 40, comma 1, della legge 22 febbraio 1994, n. 146, concernente disposizioni in materia di valutazione dell'impatto ambientale”.

D.M. 23 novembre 2001 “Dati, formato e modalità della comunicazione di cui all'art. 10, comma 1, del decreto legislativo 4 agosto 1999, n. 372” (realizzazione dell'Inventario Nazionale delle Emissioni e loro Sorgenti (INES).

D.M. 26 aprile 2002 “Modifiche al decreto ministeriale 23 novembre 2001 in materia di dati, formato e modalità della comunicazione di cui all'art.10 del decreto legislativo n. 372 del 1999”.

Legge 1° marzo 2002, n. 39 “Disposizioni per l'adempimento di obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia alle Comunità Europee” (Legge Comunitaria 2002).

D.M. 19 novembre 2002 “Istituzione della commissione di cui all'art. 3, comma 2, ultimo periodo, del decreto legislativo n. 372/1999”.

D.L. 24 dicembre 2003, n. 355 così come convertito con modificazioni in **legge 27 febbraio 2004, n.47** “Proroga di termini previsti da disposizioni legislative”.

D.M. 1° aprile 2004 “Linee guida per l'utilizzo dei sistemi innovativi nelle valutazioni di impatto ambientale”.

D.Lgs. 18 febbraio 2005, n. 59 “Attuazione integrale della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento” (IPPC).

Sicurezza e Igiene del Lavoro

D.P.R. 27 aprile 1955, n. 547 “Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro”.

D.P.R. 19 marzo 1956, n. 303 “Norme generali per l'igiene del lavoro”.

Legge 5 marzo 1990, n. 46 “Norme per la sicurezza degli impianti”.

D.P.R. 6 dicembre 1991, n. 447 “Regolamento di attuazione della legge 46/90 in materia di sicurezza degli impianti”.

D.Lgs. 19 settembre 1994, n. 626 “Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE e 90/679/CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro”.

D.Lgs. 4 dicembre 1992, n. 475 “Attuazione della direttiva 89/686/CEE del Consiglio del 21 dicembre 1989, in materia di ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative ai dispositivi di protezione individuale”.

D.Lgs. 19 marzo 1996, n. 242 “Modifiche ed integrazioni al Decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626, recante l'attuazione di direttive comunitarie riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro”.

D.Lgs. 14 agosto 1996, n. 493 “Attuazione della direttiva 92/58/CEE concernente le prescrizioni minime per la segnaletica di sicurezza e/o di salute sul luogo di lavoro”.

D.M. 10 marzo 1998 “Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione delle emergenze nei luoghi di lavoro”.

D.Lgs. 25 febbraio 2000, n. 66 “Attuazione delle direttive 97/42/CE e 1999/38/CE, che modificano la direttiva 90/394/CEE, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti cancerogeni o mutageni durante il lavoro” (TITOLO VII del D.Lgs. 626/94).

D.Lgs. 2 febbraio 2002, n. 25 “Attuazione della direttiva 1998/24/CE sulla protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori contro i rischi derivanti da agenti chimici durante il lavoro”.

D.Lgs. 12 giugno 2003, n. 233 “Attuazione della direttiva 1999/92/CE relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori esposti al rischio di atmosfere esplosive” (TITOLO VIII-bis del D.Lgs. 626/94).

D.Lgs. 23 giugno 2003, n. 195 “Capacità e requisiti professionali richiesti agli addetti ed ai responsabili dei servizi di prevenzione e protezione dei lavoratori”.

D.Lgs. 8 luglio 2003, n. 235 “Requisiti minimi di sicurezza e di salute per l'uso delle attrezzature di lavoro da parte dei lavoratori”.

D.M. 26 febbraio 2004 “Definizione di una prima lista di valori limite indicativi di esposizione professionale agli agenti chimici”.

D.M. 3 novembre 2004 “Disposizioni relative all'installazione ed alla manutenzione dei dispositivi per l'apertura delle porte installate lungo le vie di esodo, relativamente alla sicurezza in caso d'incendio”.

D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 187 “Attuazione della direttiva 2002/44/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti da vibrazioni meccaniche”.

Inquinamento acustico

D.P.C.M. 1° marzo 1991 “Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno”.

Legge 26 ottobre 1995, n. 447 “Legge quadro sull'inquinamento acustico”.

D.M. 11 dicembre 1996 “Applicazione del criterio differenziale per gli impianti a ciclo produttivo continuo”.

- D.P.C.M. 14 novembre 1997** “Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore”.
- D.M. 16 Marzo 1998** “Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico”.
- D.Lgs. 4 settembre 2002, n. 262** “Attuazione della direttiva 2000/14/CE concernente l'emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto”.
- D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 194** “Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale”.

Sostanze pericolose

- R.D. 18 giugno 1931, n. 773** “Testo unico delle leggi di pubblica sicurezza”.
- D.M. 3 dicembre 1985** “Classificazione e disciplina dell'imballaggio e dell'etichettatura delle sostanze pericolose, in attuazione delle direttive emanate dal Consiglio e dalla Commissione delle Comunità europee”.
- D.M. del 23 febbraio 1988, n. 84** “Etichettatura speciale da applicare su sostanze e preparati pericolosi”.
- D.P.R. 24 maggio 1988, n. 216** “Attuazione della direttiva CEE 85/467 recante la sesta modifica (PCB/PCT) della direttiva CEE n. 76/769 concernente il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati membri relative alle restrizioni in materia di immissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi, ai sensi dell'art. 15 della legge 16 aprile 1987, n. 183”.
- D.M. 11 febbraio 1989** “Modalità per l'attuazione del censimento dei dati e per la presentazione delle denunce delle apparecchiature contenenti fluidi isolanti a base di PCB”.
- D.M. 17 gennaio 1992** “Modalità di etichettatura degli apparecchi e impianti contenenti policlorobifenili (PCB) e policlorotrifenili (PCT)”.
- D.M. 29 luglio 1994** “Attuazione delle direttive CEE numeri 89/677, 91/173, 91/338 e 91/339 recanti, rispettivamente, l'ottava, la nona, la decima e l'undicesima modifica della direttiva CEE n. 76/769 per il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati membri relative alle restrizioni in materia di immissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi, ai sensi dell'art. 27 della legge 22 febbraio 1994, n. 146”.
- D.Lgs. 3 febbraio 1997, n. 52** “Attuazione della direttiva 92/32/CEE concernente classificazione, imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose”.
- D.M. 4 aprile 1997** “Attuazione dell'art. 25, commi 1 e 2, del decreto legislativo 3 febbraio 1997, n. 52, concernente classificazione, imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose, relativamente alla scheda informativa in materia di sicurezza”.
- D.M. 28 aprile 1997** “Attuazione dell'art. 37, commi 1 e 2, del decreto legislativo 3 febbraio 1997, n. 52, concernente classificazione, imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose”.
- D.M. 12 agosto 1998** “Recepimento delle direttive 94/60/CE, 96/55/CE, 97/10/CE, 97/16/CE, 97/56/CE e 97/64/CE recanti modifiche alla direttiva 76/769/CEE del Consiglio del 27 luglio 1976 concernente il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati membri relative alle restrizioni in materia di immissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi”.
- D.Lgs. 22 maggio 1999, n. 174** “Disciplina sanzionatoria per le violazioni delle disposizioni del regolamento (CEE) n. 793/93 relativo alla valutazione e al controllo dei rischi presentati dalle sostanze esistenti”.
- D.Lgs. 22 maggio 1999, n. 209** “Attuazione della direttiva 96/59/CE relativa allo smaltimento dei policlorodifenili e dei policlorotrifenili”.
- D.Lgs. 17 agosto 1999, n. 334** “Attuazione della Direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose”.
- D.M. 26 gennaio 2001** “Disposizioni relative alla classificazione, imballaggio ed etichettatura di sostanze pericolose in recepimento della direttiva 2000/32/CE”.

D.M. 11 aprile 2001 “Recepimento della direttiva 2000/33/CE recante ventisettesimo adeguamento al progresso tecnico della direttiva 67/548/CEE, in materia di classificazione, imballaggio ed etichettatura di sostanze pericolose”.

D.M. 11 ottobre 2001 “Condizioni per l'utilizzo dei trasformatori contenenti PCB in attesa della decontaminazione o dello smaltimento”.

D.M. 7 settembre 2002 “Recepimento della direttiva 2001/58/CE della Commissione, del 27 luglio 2001, che modifica per la seconda volta la direttiva 91/155/CEE che definisce e fissa le modalità del sistema di informazione specifica concernente i preparati pericolosi ai sensi dell'art. 14 della direttiva 1999/45/CE del Parlamento europeo e del Consiglio nonché quelle relative alle sostanze pericolose conformemente all'articolo 27 della direttiva 67/548/CEE del Consiglio”.

D.Lgs. 14 marzo 2003, n. 65 “Attuazione delle direttive 1999/45/CE e 2001/60/CE relative alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura dei preparati pericolosi”.

D.M. 3 luglio 2003, n. 194 “Regolamento concernente l'attuazione della direttiva 98/101/CE del 22 dicembre 1998 della Commissione, che adegua al progresso tecnico la direttiva 91/157/CEE del Consiglio relativa alle pile ed agli accumulatori contenenti sostanze pericolose”.

D.Lgs. 25 luglio 2006, n. 257 “Attuazione della direttiva 2003/18/CE relativa alla protezione dei lavoratori dai rischi derivanti dall'esposizione all'amianto durante il lavoro”

C) RICOGNIZIONE DELLA SITUAZIONE DEL SETTORE, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLE SPECIFICITA' DEL TESSUTO INDUSTRIALE NAZIONALE

Il settore del trattamento dei reflui e dei rifiuti liquidi è caratterizzato da una particolare complessità, dovuta a molteplici fattori, principalmente legati alla numerosità ed all'estensione territoriale degli impianti, alla varietà di tipologie di trattamento adottate ed all'esistenza di numerose soluzioni impiantistiche.

Al fine di tracciare un quadro di riferimento sulla situazione impiantistica in Italia, relativamente al trattamento chimico-fisico e biologico dei rifiuti liquidi, appositi censimenti vengono condotti e pubblicati, nei Rapporti annuali sulla gestione dei rifiuti, dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici.

D) DESCRIZIONE DEL PROCESSO DI PRODUZIONE E DEGLI IMPIANTI PER I QUALI SONO ANALIZZATE LE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI

D.1 Introduzione

Le misure di prevenzione della produzione di rifiuti rappresentano, senz'altro, la prima opzione al fine di pervenire ad una riduzione dell'utilizzo delle risorse e ad una minimizzazione delle emissioni nell'ambiente.

Mediante l'ottimizzazione dei processi produttivi è possibile ridurre la produzione di residui direttamente alla fonte, prima ancora che essi diventino rifiuti, ed ottenere, in molti casi, una limitazione dei costi di trattamento nonché un incremento dell'efficienza economica grazie ad una migliore resa di processo e/o ad una riduzione della materia prima utilizzata. Ciononostante, le operazioni di trattamento dei rifiuti continueranno ancora ad avere un ruolo essenziale, ai fini di un controllo delle emissioni nell'ambiente, soprattutto per quei processi o impianti industriali per cui adeguate misure di integrazione, volte ad ottimizzare i cicli produttivi, risultano di difficile attuazione (si vedano, in particolar modo, impianti o processi produttivi già esistenti).

I rifiuti liquidi, che vengono in genere avviati a centri di trattamento polifunzionali o ad impianti di depurazione di acque reflue, possono essere distinti in base alle rispettive caratteristiche qualitative che dipendono, sostanzialmente, dal processo produttivo di origine e dalle sostanze contenute; le principali classificazioni sono:

- reflui organici biodegradabili
- reflui contenenti sostanze organiche biorefrattarie
- reflui contenenti solidi sospesi
- acque di verniciatura
- acque di lavaggio
- reflui contenenti metalli pesanti
- reflui contenenti solventi
- reflui contenenti cianuri
- reflui contenenti Cr(VI)
- emulsioni oleose
- percolati di discarica
- reflui contenenti ammoniaca
- reflui contenenti oli
- soluzioni acide esauste
- soluzioni alcaline esauste
- fanghi pompabili provenienti da trattamento chimico-fisico
- fanghi pompabili provenienti da trattamento biologico

La classificazione sopra riportata si basa su criteri tecnologici e trae origine dalla considerazione che l'effettiva processabilità di un rifiuto in un centro dotato di specifiche linee di trattamento chimico-fisico e/o biologico, è direttamente connessa alle caratteristiche qualitative del rifiuto stesso, spesso ancor più che all'identificazione dell'attività produttiva di provenienza.

Per le caratteristiche dei reflui prodotti dalle principali attività industriali si rimanda ai BRef specifici di settore o alla letteratura tecnica sull'argomento.

Il corretto funzionamento di un depuratore chimico-fisico e ancor più di uno biologico, dipendono dalla costanza quali-quantitativa della sua alimentazione; se tale condizione può essere realizzata con attenzione presso i depuratori di acque reflue urbane o presso i depuratori al servizio di specifiche linee di produzione industriali, molta più cura richiede un depuratore destinato a ricevere reflui estremamente diversi tra loro, come nel caso dei centri polifunzionali.

E' pertanto essenziale che ogni linea di depurazione del centro sia dotata di adeguate sezioni di stoccaggio ed omogeneizzazione, nelle quali attuare per partite omogenee, secondo gli indirizzi del laboratorio chimico, opportune miscele dei reflui e regolarne il dosaggio ai depuratori sia in termini di natura chimico-fisica, che di richiesta di carico e di nutrienti da parte della biomassa. Va rilevato che sebbene il trattamento chimico-fisico di chiariflocculazione ed i trattamenti biologici di tipo aerobico coprano la maggior parte del fabbisogno di smaltimento, la gamma di trattamenti ai quali possono essere sottoposti i rifiuti liquidi è, in generale, molto ampia.

Diverse possono essere, inoltre, le configurazioni impiantistiche; a titolo esemplificativo vengono di seguito schematizzate quelle più frequentemente adottate sia per quanto concerne gli impianti dedicati al trattamento dei soli rifiuti liquidi sia per quanto riguarda gli impianti "misti" che effettuano il trattamento combinato di acque reflue e rifiuti liquidi (figure D.1 – D.2).

Figura D.1 Configurazioni impiantistiche dei trattamenti chimico-fisici e biologici dei rifiuti liquidi in impianti "dedicati"

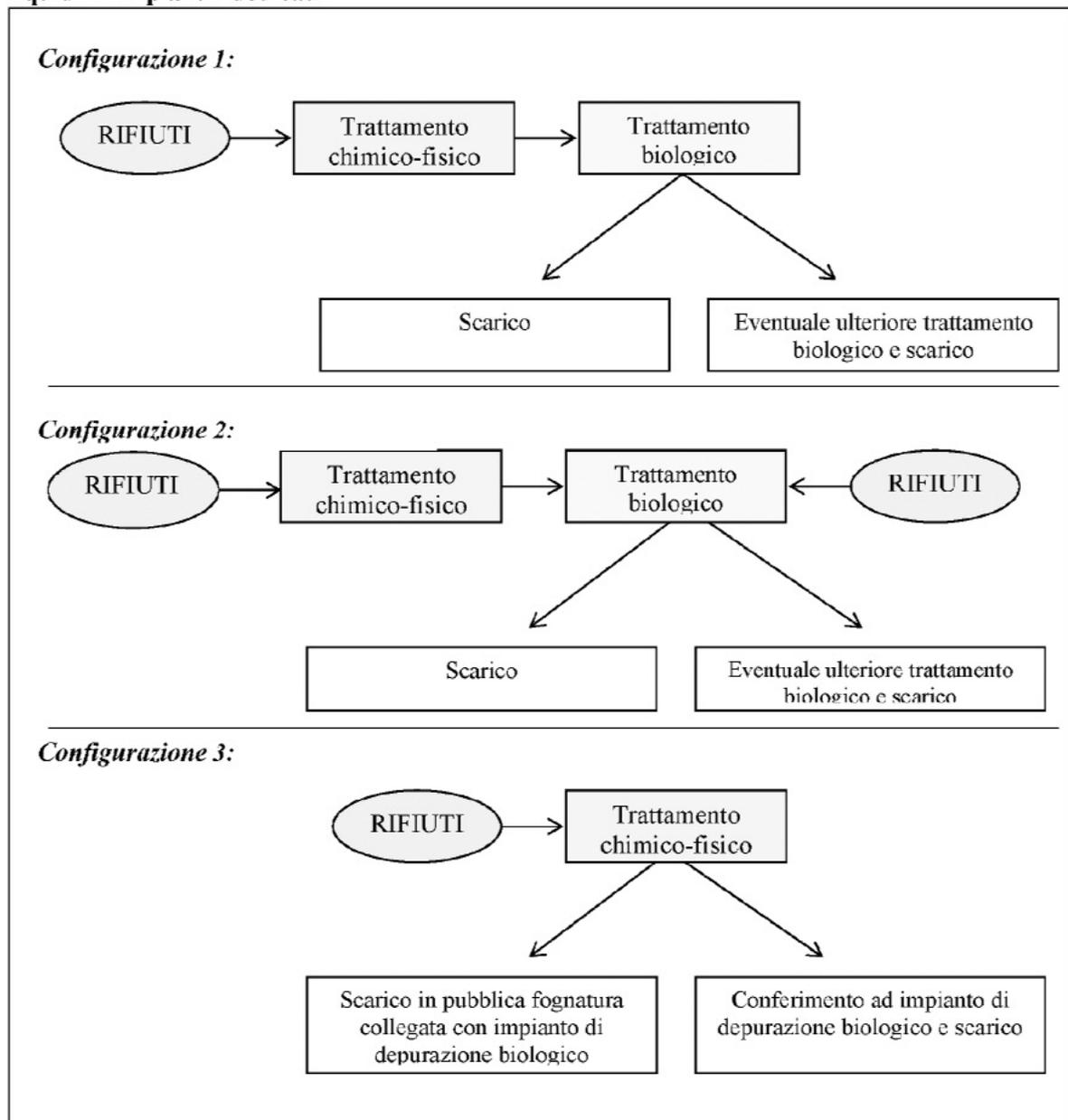
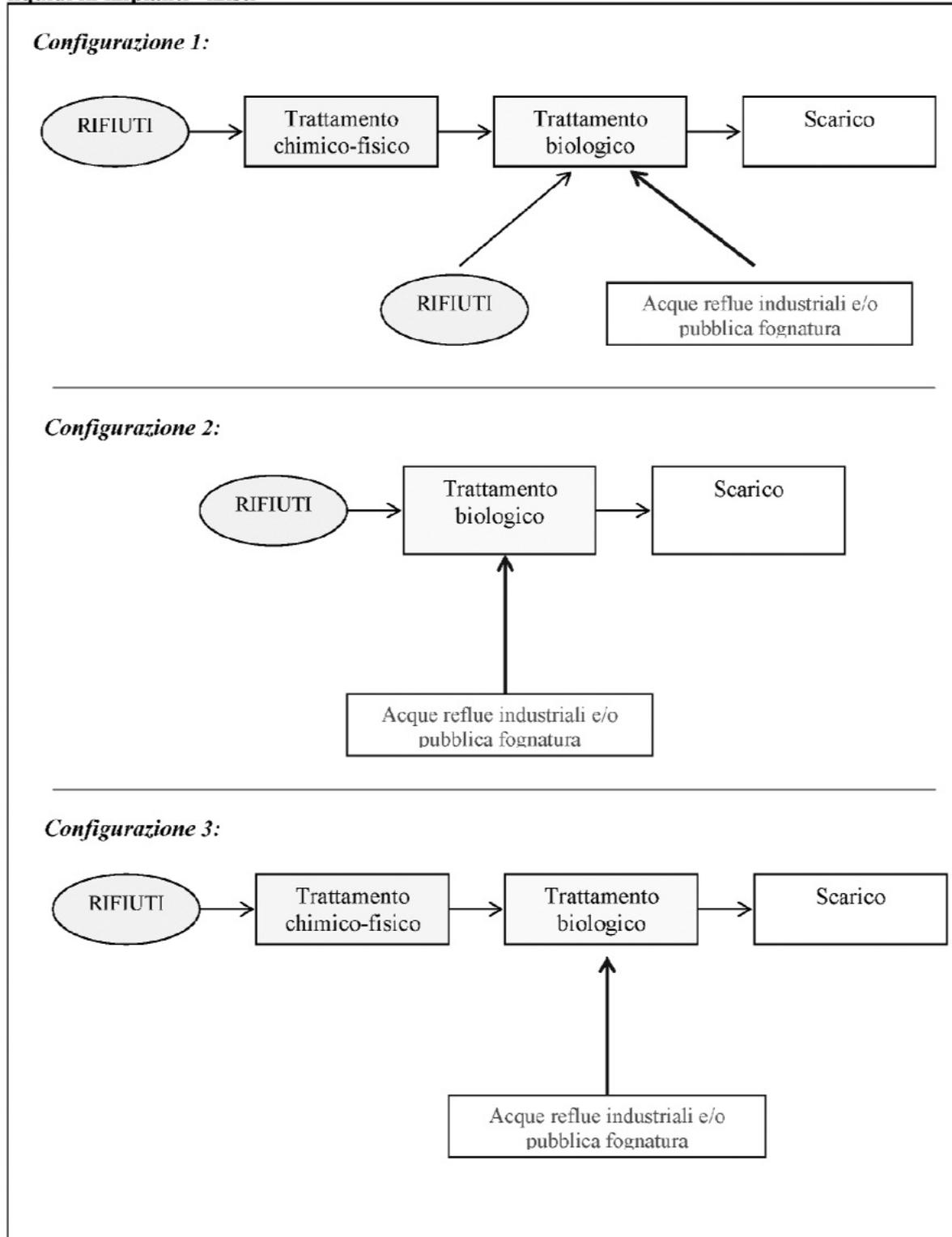


Figura D.2 – Configurazioni impiantistiche dei trattamenti chimico-fisici e biologici dei rifiuti liquidi in impianti “misti”



In tabella D.1 viene riportato uno schema dei principali processi individuati per il trattamento dei rifiuti liquidi e dei fanghi pompabili, mentre, in tabella D.2 vengono descritte alcune delle tecnologie comunemente adottate per la rimozione dei maggiori contaminanti. Tali tabelle sono frutto di elaborazioni condotte a livello europeo (documento di lavoro “Second Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries”, Gennaio 2004, e “Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector”), per cui non intendono rappresentare la situazione italiana del settore e non devono essere in alcun modo interpretate come un elenco esaustivo e definitivo di trattamenti applicabili alle diverse tipologie di rifiuto (che risultano decisamente molto più numerosi).

Tabella D.1: Principali processi di trattamento dei rifiuti liquidi

Tipo di rifiuto	Trattamento biologico	Trattamento chimico-fisico	Riciclaggio	Uso come combustibile
Liquidi				
Oli esausti (inclusi quelli di origine vegetale), oli contaminati con acqua.			●	●
Emulsioni di oli e acqua	●	●		●
Rifiuti acquosi contaminati con olio		●		●
Idrocarburi liquidi e semi-solidi (ad es. vernici, solventi viscosi)			●	●
Solventi organici			●	●
Acidi e basi			●	
Acque reflue	●			
Liquidi acquosi biodegradabili (ad es. rifiuti alimentari, metanolo e altri solventi miscibili con acqua)	●			
Reflui contenenti acidi/basi neutralizzati, metalli precipitati e altro particolato solido		●		
Acido cloridrico, solforico, nitrico, fluoridrico, fosforico e sali derivanti da acidi (ad es. cloruro di argento)		●		
Sali e soluzioni contenenti cianuro, pesticidi, biocidi e contaminati da prodotti preservanti del legno.		●		
Ossido di cromo (CrO ₃)		●		
Sali di cianuro, ad es., cianuro di sodio da trattamenti di superfici metalliche		●		
Metalli in soluzione (ad es. Zn, Ni, Cr, Pb, Cu)		●		
Fanghi				
Fanghi da impianti di trattamento acque reflue				●
Miscele olio/acqua	●	●		●
Effluenti da operazioni di disidratazione (anche usati per rifiuti acquosi contaminati con olio)		●		
Fanghi da operazioni di sedimentazione		●		

Fonte: “Second Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries”

Tabella D.2: Tecnologie di rimozione dei principali contaminanti dei rifiuti liquidi

Tecnica di trattamento	SS	BOD COD TOC	COD bio- refrattario	AOX EOX	N- totale	N-NH ₄ (NH ₃)	P-PO ₄	Metalli Pesanti	Fenoli	Oli
Sedimentazione/Flocculazione	●	● ^a						● ^h		
Flottazione	●	● ^b						● ^h		●
Filtrazione	●	● ^a						● ^h		
Microfiltr./ultrafiltrazione	● ^c	● ^a								
Separazione emulsioni oleose		●								●
Precipitazione chimica							●	●		
Cristallizzazione							●	●		
Ossidazione chimica		●	●	●					●	
Ossidazione ad umido (wet air oxidation)		●	●	●					●	
Ossidaz.conacqua supercritica		●	●	●					●	
Riduzione chimica										
Idrolisi chimica										
Nanofiltrazione/osmosi inversa		●	●	●				●		
Adsorbimento		●	●	●				●		
Scambio ionico		● ^d						●		
Estrazione con solvente		●	●	●						
Distillazione o rettifica		●	●	●						
Evaporazione		● ^e						●		
Strippaggio con aria		● ^f		●		●				
Digestione anaerobica		●		● ^g	● ^g			● ^j		
Digestione aerobica		●		● ^g			●		●	
Nitri/denitrificazione					●	●				

Note alla tabella:
^a solo solidi
^b frazione organica non solubile
^c finemente dispersi e a bassa concentrazione
^d composti organici ionici
^e composti organici non volatili
^f composti organici volatili
^g solo la frazione biodegradabile
^h composti metallici non solubili
^j precipitati come solfuri in presenza di solfati

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

D.2 Trattamenti chimico-fisici dei rifiuti liquidi

In questo paragrafo vengono descritti i principali processi chimico-fisici che trovano normalmente applicazione nel trattamento dei rifiuti liquidi e vengono associate, a ciascun processo, le tipologie di rifiuti trattabili in funzione delle sostanze contenute.

Gli impianti di trattamento chimico fisico, progettati per garantire il massimo recupero di materiali riciclabili con il minimo utilizzo di materiali ausiliari, sono utilizzati al fine di:

- consentire il raggiungimento degli obiettivi di protezione ambientale, ed in particolare, nel caso di trattamento di rifiuti liquidi, garantire la salvaguardia delle risorse idriche. Gli impianti di trattamento chimico fisico, pertanto, sono finalizzati alla rimozione delle sostanze pericolose e/o alla loro conversione in sostanze non pericolose;

- consentire, in generale, un corretto smaltimento di elevati quantitativi di rifiuti liquidi acquosi e di rifiuti liquidi che richiedono particolari modalità di gestione.

L'attività di trattamento può essere effettuata presso impianti dedicati, oppure come pretrattamento in impianti misti in cui, a valle della sezione chimico-fisica è prevista una sezione di depurazione biologica destinata, eventualmente, anche al trattamento degli scarichi idrici di processo prodotti in proprio o, comunque, convogliati tramite condotta fognaria. Nelle presenti Linee Guida, per impianti di trattamento chimico-fisico si intendono quelli a valle dei quali i rifiuti liquidi trattati possono essere recapitati nei corpi idrici recettori senza ulteriori trattamenti; si definiscono, invece, impianti di pretrattamento chimico-fisico quelli a valle dei quali i rifiuti liquidi sono dotati ancora di un carico inquinante tale da richiedere ulteriori trattamenti biologici, anche presso impianti diversi, prima dello scarico nei corpi idrici recettori.

Gli impianti di trattamento chimico-fisico ricevono, generalmente, rifiuti liquidi acquosi o fanghi caratterizzati da un elevato contenuto di acqua (>80% p/p) operando la rimozione delle sostanze contaminanti, ad esempio mediante reazioni di ossidazione, riduzione e neutralizzazione e/o attraverso operazioni di filtrazione, sedimentazione, distillazione, scambio ionico, ecc. L'acqua viene, successivamente, destinata ad ulteriori trattamenti prima di essere scaricata, nel rispetto delle disposizioni fissate dalla normativa in materia di acque, nel sistema fognario o nei corpi recettori.

Gli impianti vengono configurati caso per caso a seconda dei requisiti richiesti o del tipo di applicazione a cui sono destinati; ogni singolo impianto è, pertanto, caratterizzato da una propria specifica dotazione tecnologica e gestionale strettamente dipendente della tipologia di rifiuto trattato e, per tale ragione, non può essere individuata una tipologia standard di trattamento chimico-fisico. Infatti, sebbene tutti gli impianti prevedano, in generale, la presenza di laboratori ed ispezioni regolari per il monitoraggio dei processi e tendano ad effettuare, principalmente, operazioni di neutralizzazione, le differenti modalità di pretrattamento e gestione dei fanghi adottate e le diverse combinazioni dei flussi di rifiuti in entrata fanno sì che ogni processo sia da considerarsi praticamente unico.

Gli impianti di trattamento chimico-fisico possono operare:

- in continuo (particolarmente indicato per elevati flussi in entrata, per i rifiuti caratterizzati da una composizione relativamente costante e per operazioni automatizzate)
- in batch (particolarmente indicato per il trattamento di rifiuti caratterizzati da una composizione e da una reattività molto variabile)

Le operazioni unitarie tipicamente utilizzate sono: setacciatura, stoccaggio, neutralizzazione, sedimentazione, precipitazione/flocculazione, scambio ionico, ossidazione/riduzione, adsorbimento/assorbimento, evaporazione/distillazione, filtrazione su membrana, strippaggio, estrazione, filtrazione, disaggregazione delle emulsioni oleose. Frequentemente, per il corretto trattamento, è necessario combinare più operazioni unitarie sulla base della specifica composizione del rifiuto liquido e della sua reattività.

D.2.1 Separazione meccanica dei componenti non solubili

Le sostanze insolubili contenute nei rifiuti liquidi possono essere di diverso tipo e, più in particolare, possono consistere in materiali inerti, sostanze pericolose quali metalli pesanti e loro composti, liquidi immiscibili con l'acqua (ad esempio oli e grassi) e particelle colloidali. Le principali tecniche finalizzate alla separazione di tali contaminanti vengono di seguito descritte.

D.2.1.1 Sedimentazione/flocculazione

Per sedimentazione si intende l'operazione di separazione dall'acqua delle particelle solide e del materiale in sospensione mediante precipitazione gravitazionale (ad esempio, ispessimento dei

fanghi). I solidi precipitati vengono rimossi come fanghi dal fondo del sedimentatore mentre i materiali flottanti vengono raccolti per scrematura dalla superficie.

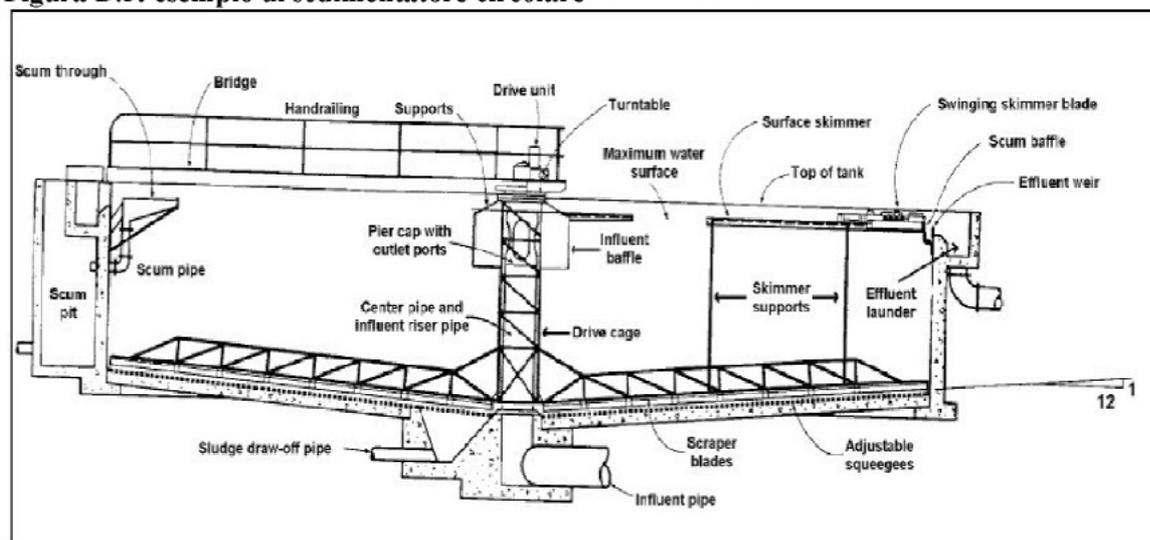
Per la separazione di alcune particelle può essere sfruttata la semplice precipitazione gravitazionale mentre per altre, caratterizzate da densità troppo simile a quella dell'acqua o tendenti a formare colloidali, è richiesta l'aggiunta di specifici flocculanti chimici quali:

- Solfato di alluminio
- Solfato ferroso
- Cloruro di ferro (II/III)
- Calce
- Polialluminio cloruro
- Polialluminio solfato
- Polimeri organici

L'agente flocculante determina la destabilizzazione del campo elettrico colloidale, ovvero l'annullamento delle cariche elettriche superficiali che ostacolano l'aggregazione delle particelle. Si formano, in tal modo, fiocchi in grado di coagulare ed agglomerare le piccole particelle sospese (calce, silice, ferro, metalli pesanti, coloranti, sostanze organiche) che vengono adsorbite superficialmente e collegate a ponte, andando a formare aggregati di dimensioni e peso maggiori che tendono facilmente a decantare (flocculazione).

I sedimentatori più utilizzati sono quelli "a fondo piatto", di forma rettangolare o circolare (figura D.3), dimensionati in modo da garantire un tempo di residenza di circa 1½ - 2½ ore e dotati di un raschiatore di fondo per la raccolta dei fanghi e di un sistema di sfioro e captazione dei materiali surnatanti.

Figura D.3: esempio di sedimentatore circolare



Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Dati operativi

I risultati delle tecniche di chiariflocculazione per sedimentazione o flottazione dipendono dalla granulometria delle particelle e dal loro peso specifico.

Al fine di agevolare la sedimentazione o la flottazione o per minimizzare la variabilità delle caratteristiche dei solidi sospesi nel refluo da trattare, si ricorre, spesso, all'aggiunta di reagenti chimici.

Il processo richiede, inoltre, un costante monitoraggio del pH e del contenuto di composti volatili, o suscettibili di sviluppare reazioni di fermentazione, affinché sia evitata l'emissione di odori molesti e sia garantita una buona chiarificazione.

Emulsioni stabili, come quelle oleose, non possono essere trattate con tecniche di chiariflocculazione, ma richiedono un pretrattamento per la separazione della fase oleosa da quella acquosa; solo quest'ultima viene, successivamente, avviata alla chiariflocculazione.

Nel caso specifico di applicazioni riguardanti rifiuti liquidi provenienti dal settore chimico i trattamenti di sedimentazione possono consentire il raggiungimento delle seguenti prestazioni:

Parametro	Rimozione (%)	Livello dell'emissione (mg/l)	Note
SS	60 – 90	<10	Dopo la chiarificazione finale negli impianti centralizzati di trattamento delle acque reflue urbane
Solidi sedimentabili	90 – 95		
Metalli pesanti			Sotto forma di materiale particolato; si veda precipitazione (D.2.2.5)

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Per quanto riguarda i processi di sedimentazione primaria condotti negli impianti di depurazione delle acque reflue urbane, i valori tipici di rimozione sono, invece:

Parametro	Efficienza di rimozione senza coagulanti chimici (%)	Efficienza di rimozione con coagulanti chimici (%)
BOD ₅	25-40	40-70
COD	20-35	30-60
SS	40-70	60-90
Azoto organico	10-20	20-40
Fosforo	5-10	70-90
Carica batterica	50-60	80-90

Fonte: "Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane" – ANPA/Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, ANPA 1/2001

Le sostanze solide sospese possono includere anche particolato di natura organica; in tal caso la chiariflocculazione contribuisce a ridurre il COD del refluo trattato in misura proporzionale a quanto lo stesso si presenta in forma di materiale insolubile.

L'effluente deve essere regolarmente monitorato per valutare i seguenti fattori:

- contenuto di solidi sospesi
- contenuto di solidi sedimentabili
- torbidità
- pH (nel caso di aggiunta di flocculanti)

Talvolta i rifiuti liquidi possono contenere sostanze volatili suscettibili di causare odori; in tali casi può rendersi necessario dotare la sezione di flocculazione di una copertura, ed avviare i gas che si sviluppano ad un adeguato sistema di trattamento.

Nella quasi totalità dei casi le tecniche di sedimentazione/chiariflocculazione dei rifiuti liquidi sono utilizzate come fase prepedeutica ad un successivo trattamento biologico.

Campo di applicazione

La sedimentazione è una tecnica largamente utilizzata per separare con efficacia i materiali in sospensione dalle acque ed è, in genere, impiegata, in combinazione con altre operazioni unitarie, nei trattamenti di depurazione delle acque reflue urbane ed industriali; nel caso dei rifiuti liquidi (che possono essere, peraltro, trattati in impianti di depurazione di acque reflue) essa trova applicazione soprattutto:

- nella chiarificazione di reflui di processo da sabbia e altri inerti
- nella chiarificazione, con l'aggiunta di opportuni flocculanti, di reflui di processo da materiali quali composti metallici emulsionati, polimeri e loro monomeri
- nella separazione di metalli pesanti o altri componenti disciolti, dopo loro precipitazione
- nella rimozione del fango attivo, spesso mediante l'utilizzo di additivi chimici, nei sedimentatori primari o secondari dei depuratori biologici (ad esempio, negli impianti di depurazione delle acque reflue urbane)

Vantaggi e svantaggi

I vantaggi e gli svantaggi della sedimentazione sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • tecnica largamente utilizzata per separare con efficacia i materiali in sospensione dalle acque • richiede bassi costi per elevati volumi di acqua depurata • processo affidabile, adatto al controllo automatico 	<ul style="list-style-type: none"> • il fango sedimentato e le schiume derivanti dalla scrematura devono essere smaltiti come rifiuti e, qualora contenenti sostanze tossiche, devono essere trattati in maniera appropriata • possibile rilascio di emissioni osmogene, in tal caso può essere richiesta una copertura del bacino di sedimentazione

D.2.1.2 Flottazione

La flottazione è un processo finalizzato alla separazione delle particelle liquide o solide caratterizzate da bassa densità, sospese in un fluido; può essere naturale o forzata, ossia con insufflazione di aria (o altro gas inerte) dal fondo del bacino e conseguente trascinarsi verso l'alto delle particelle più leggere.

Un tipico esempio di applicazione del processo di flottazione è rappresentato dalla separazione degli oli dall'acqua (disoleatura); in tal caso si ricorre, frequentemente, al dosaggio di reagenti (normalmente acidi) in grado di favorire la rottura dell'emulsione olio/acqua e consentire, quindi, la separazione dei due liquidi.

Le tecniche di flottazione, distinguibili in base alle modalità con cui viene operata l'addizione di aria, sono, essenzialmente, di tre tipi:

- *flottazione sotto vuoto*, che prevede la saturazione del rifiuto liquido con aria a pressione atmosferica seguita dall'applicazione di un vuoto parziale; ciò determina la formazione di bolle d'aria che salendo verso l'alto trascinano le particelle leggere in superficie ove avviene la rimozione mediante scrematura
- *flottazione per induzione d'aria* (Induced Air Flotation, IAF), che prevede l'immissione di aria nel rifiuto liquido attraverso un apposito dispositivo diffusore
- *flottazione per dissoluzione d'aria* (Dissolved Air Flotation, DAF), in cui l'aria viene disciolta nel rifiuto liquido mantenuto in pressione (0,4-0,8 MPa, o 1,0-1,2 MPa per i composti dell'alluminio) e quindi rilasciata verso la superficie sotto forma di bollicine, in seguito a depressurizzazione.

Dati operativi

A seconda della tipologia di rifiuto liquido trattato, può essere prevista la copertura del bacino di flottazione ed il convogliamento dell'aria ad un adeguato sistema di abbattimento delle emissioni gassose. Gli impianti sono dotati, ovviamente, di apposite sezioni per lo stoccaggio dei flocculanti/coagulanti chimici e del materiale derivante dalla scrematura.

Vengono di seguito riportate le prestazioni, in termini di rimozione di alcune tipologie di inquinanti ed i livelli di emissioni, provenienti da elaborazioni condotte a livello europeo ("Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"). In particolare è necessario tenere in considerazione che i valori di rimozione sono fortemente influenzati dalla tipologia di rifiuto in entrata nel sistema.

Parametro	Rimozione (%)	Livello dell'emissione (mg/l)	Note
SS	90 – 98	-	
	85 – 96	10 -20	Fango attivato dopo la chiarificazione finale, input 20 – 250 mg/l
Oli		10 –20	trattamenti IAF e DAF in raffinerie
		2 - 10	Dopo alcuni trattamenti API in serie
Solfuri metallici	95		trattamenti IAF e DAF in raffinerie

Fonte: "Reference Document on BAT in Common Waste Water and Waste Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Il processo di flottazione è negativamente influenzato dalla presenza di sostanze schiumogene che devono, pertanto, essere escluse dal trattamento.

Campo di applicazione

La flottazione può essere utilizzata nei casi in cui la sedimentazione non è attuabile, ovvero quando:

- le particelle sono caratterizzate da scarsa sedimentabilità
- il rifiuto liquido e le particelle sospese hanno una densità molto simile
- vi è una limitata disponibilità di spazio nel sito di trattamento
- devono essere rimossi oli e grassi

La flottazione trova applicazione, principalmente:

- nelle raffinerie e nelle industrie petrolchimiche come operazione preliminare (separazione degli oli) al trattamento biologico di depurazione
- nella rimozione di coloranti e pigmenti
- nel recupero di prodotti o materie prime quali, ad esempio, toluene (da emulsioni toluene/acqua), alogenuri di argento (industria fotografica), polisilani
- nella separazione dei metalli pesanti dal rifiuto liquido o dal refluo
- nella separazione e nell'ispessimento dei fanghi attivi derivanti dai processi di depurazione

Vantaggi e svantaggi

I vantaggi e gli svantaggi della flottazione sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • minori volumi richiesti e, pertanto, minori costi di investimento rispetto alla sedimentazione • efficienza della rimozione non influenzata dalla variazione di carico idraulico e, pertanto, superiore rispetto a quella della sedimentazione • rende possibile il recupero di materia • elevata efficienza di separazione; consente di pervenire ad una maggiore disidratazione del materiale rispetto alla sedimentazione 	<ul style="list-style-type: none"> • possibilità di intasamento delle valvole e degli ugelli • rilascio di emissioni osmogene; in genere è richiesta una copertura del flottatore • costi operativi più elevati rispetto alla sedimentazione

D.2.1.3 Filtrazione

La filtrazione è un'operazione che consente di separare le particelle solide contenute in un fluido mediante il passaggio di quest'ultimo attraverso un mezzo poroso. Il processo si basa sulla presenza, all'interno del sistema, di un gradiente di pressione provocato dalla forza di gravità, da forze centrifughe, oppure dall'applicazione di un vuoto o di pressioni superiori a quella atmosferica.

Dati operativi

Alcuni fattori che caratterizzano il mezzo filtrante sono:

- granulometria (ad es., dimensione massima delle particelle che possono passare attraverso il mezzo filtrante)
- permeabilità (più alta è la permeabilità minore è la perdita di carico)
- stabilità chimica nei confronti delle sostanze sottoposte a filtrazione
- tendenza ad intasamento
- resistenza meccanica
- regolarità della superficie per facilitare le operazioni di pulizia

A seconda della tipologia di rifiuto liquido trattato, può essere necessario prevedere la copertura del bacino di filtrazione ed il convogliamento dell'aria ad un adeguato sistema di abbattimento delle emissioni gassose.

Vengono di seguito riportati alcuni dati, tratti dal "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector", relativi alle prestazioni dei processi di filtrazione applicati nel settore chimico. Tali dati sono da ritenersi, ovviamente, puramente indicativi essendo, gli effettivi valori di rimozione, fortemente influenzati dalle caratteristiche del rifiuto liquido trattato.

Parametro	Rimozione (%)	Livello dell'emissione (mg/l)	Note
SS		<10	Fiocchi di fanghi attivati
	Fino al 99% e comunque superiore al 50%		Filtri a sabbia, in funzione delle dotazioni del sistema filtrante
Oli		<5	

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Campo di applicazione

Nei processi di trattamento di rifiuti liquidi industriali la filtrazione viene adottata per la chiarificazione dell'effluente (in combinazione, ad esempio, con processi di adsorbimento su carbone attivo) e per la disidratazione dei fanghi. In quest'ultimo caso l'operazione viene di solito effettuata mediante l'utilizzo di filtropresse o nastropresse. Va rilevato che i filtri richiedono frequenti operazioni di lavaggio attuate, generalmente, mediante l'utilizzo di acqua in controcorrente.

Esempi di sistemi filtranti tipicamente impiegati sono:

- *filtri a sabbia*, frequentemente utilizzati negli impianti di depurazione delle acque reflue (il mezzo filtrante non è costituito necessariamente da sabbia in senso stretto) in presenza di un basso contenuto di solidi
- *filtri a tamburo rotante*, utilizzati per il trattamento di acque reflue e per la rimozione dei fiocchi dei fanghi attivi
- *filtri a vuoto rotanti*, particolarmente indicati per operazioni preliminari di filtrazione, ad esempio, nei trattamenti di disidratazione dei fanghi oleosi
- *nastropresse e filtropresse*, frequentemente utilizzate per la disidratazione dei fanghi ma anche per le operazioni di separazione solido/liquido; le filtropresse sono particolarmente indicate nel caso in cui vengano trattati reflui con un elevato contenuto di solidi
- *filtri a membrana*, tecniche emergenti che trovano applicazione in particolar modo nella rimozione di particelle solide e di materiale organico (per maggiori dettagli si vedano paragrafi D.2.1.4 e D.2.2.1).

I filtri a sabbia sono costituiti da un letto filtrante granulare mono o multimateriale e possono operare in maniera semicontinua, nel caso in cui la filtrazione ed il lavaggio in controcorrente vengano condotti in sequenza sullo stesso letto filtrante, o in continuo, qualora la filtrazione ed il lavaggio avvengano simultaneamente su due letti filtranti distinti. Le principali differenze tra le due modalità operative sono:

- nei sistemi semicontinui la filtrazione può essere condotta finché la concentrazione dei solidi sospesi nell'effluente non supera un determinato livello o non viene raggiunto un valore limite di perdita di carico lungo il letto filtrante
- nei sistemi continui non vi sono limitazioni legate alla crescita di torbidità della soluzione o al raggiungimento del valore limite di perdita di carico.

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi dei processi di filtrazione sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • elevate rimozioni • in determinate condizioni consentono di rimuovere altri contaminanti (ad esempio oli) oltre ai materiali solidi sospesi 	<ul style="list-style-type: none"> • possibili intasamenti dei sistemi filtranti a sabbia che operano in maniera semicontinua • possibilità di intorbidimento dovuto alla presenza di solidi sospesi

D.2.1.4 Microfiltrazione ed ultrafiltrazione

La microfiltrazione e l'ultrafiltrazione sono processi a membrana finalizzati alla separazione del liquido in due frazioni denominate, rispettivamente, permeato (frazione che attraversa la membrana) e concentrato (frazione trattenuta). L'azione di ritenzione della membrana è influenzata esclusivamente dalla dimensione, dalla forma e dalla flessibilità delle molecole: la membrana agisce come un setaccio, impedendo fisicamente il passaggio delle molecole sospese o disciolte che sono troppo grandi per fluire attraverso i suoi pori. La forza motrice del processo è rappresentata dalla differenza di pressione esistente ai due lati della membrana.

Dati operativi

Le membrane sono disponibili in diversi materiali e configurazioni. La scelta dipenderà dalla specifica applicazione e dalla natura del rifiuto liquido da trattare; le caratteristiche di resistenza dei materiali che costituiscono la membrana sono, infatti, influenzate dalla natura delle sostanze contenute nel rifiuto liquido.

Materiali utilizzabili per le membrane da microfiltrazione sono, ad esempio:

- fibra di vetro
- policarbonato
- polivinilidenefluoruro (PVDF)
- acetato di cellulosa
- poliammide

Per l'ultrafiltrazione sono, in genere, utilizzati materiali polimerici quali, ad esempio:

- acetato di cellulosa
- poliammide
- poliimmide
- policarbonato
- polivinilcloruro (PVC)
- polisulfone
- polietere sulfone
- poliacetale
- copolimeri acrilonitrile-vinilcloruro
- complessi polielettroliti
- polivinilalcol o poliacrilati

Le membrane in PVDF offrono il vantaggio di poter essere pulite con acidi forti, soda caustica ed agenti sbiancanti.

In generale, va rilevato che i materiali di cui sono costituite le membrane possono risultare vulnerabili ad attacco chimico da parte delle sostanze contenute nel rifiuto liquido sottoposto a trattamento. Le membrane sono, inoltre, soggette a "sporcammento" a causa della deposizione di particelle e della precipitazione e/o cristallizzazione dei soluti sulla superficie o all'interno dei pori. Dopo il trattamento il concentrato occupa, in genere, un volume pari a circa il 10% del volume entrante con una concentrazione, delle diverse sostanze, all'incirca 10 volte superiore rispetto alla concentrazione iniziale.

Tipiche caratteristiche e condizioni operative delle membrane per microfiltrazione ed ultrafiltrazione sono:

Parametro	Microfiltrazione	Ultrafiltrazione
Diametro dei pori (μm)	0,1 – 1	1×10^{-3} – 1×10^{-1}
Pressione operativa (MPa)	2×10^{-2} – 5×10^{-1}	0,2 – 1
Cut-off (nm)	>100, include batteri	10-100, include macromolecole, virus, particelle colloidali per soluzioni 1.000-100.000 g/mol
Flusso di permeazione ($\text{l m}^{-2}\text{ore}^{-1}$)	50-1.000	<100
Velocità di flusso trasversale (cross-flow) (m/s)	2-6	1-6
Tipologia di membrana	polimero o ceramica simmetrici, strati di 10-150 μm	polimero o ceramica asimmetrici

Parametro	Microfiltrazione	Ultrafiltrazione
Configurazione della membrana	“Spiral-wound” Fibra cava Tubolare	“Spiral-wound” Fibra cava Tubolare

Fonte: “Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector”

Campo di applicazione

I processi di filtrazione su membrana sono utilizzati quando è richiesta una rimozione pressoché completa di sostanze solide o di contaminanti pericolosi (ad esempio, metalli pesanti) dal rifiuto liquido. La scelta della tecnica di filtrazione (microfiltrazione o ultrafiltrazione) è operata in funzione delle dimensioni delle particelle da separare.

La microfiltrazione viene comunemente utilizzata:

- nei processi di sgrassatura
- nelle operazioni di recupero di composti metallici
- nel trattamento dei reflui derivanti da operazioni di zincatura, cromatura, ecc.
- nella separazione dei fanghi derivanti dai processi di trattamento delle acque reflue

L’ultrafiltrazione trova, in genere, applicazione:

- nella rimozione di inquinanti degradabili non tossici, quali proteine o altre macromolecole, e tossici quali tinture, con peso molecolare superiore a 1.000
- nella separazione delle emulsioni oleose
- nella separazione dei complessi di metalli pesanti
- nella separazione dei composti non prontamente biodegradabili nel trattamento delle acque reflue; tali composti vengono riavviati allo stadio biologico della depurazione
- come operazione preliminare all’osmosi inversa o allo scambio ionico

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi dei processi di micro ed ultrafiltrazione sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • elevate rimozioni • flessibilità di utilizzo 	<ul style="list-style-type: none"> • possibile intasamento, bloccaggio e sporcamento delle membrane • tendenza al compattamento • notevoli consumi di energia dovuti alle elevate pressioni operative • mancanza di stabilità meccanica (tendenza alla fessurazione delle membrane)

D.2.1.5 Separazione delle emulsioni oleose

Le emulsioni oleose vengono usualmente classificate in:

- emulsioni oleose, o emulsioni oleose grasse (circa 50% olio-50% acqua)
- emulsioni acquose, o emulsioni oleose magre (con contenuto d’olio tra il 5 e il 10%).

Nel primo caso la separazione avviene con metodi usualmente impiegati nel settore petrolifero, ovvero riscaldando l’emulsione e separando le due fasi, talvolta previa aggiunta di additivi, mediante centrifugazione; in alternativa si ricorre a separazioni a freddo, attuate in alcuni casi per semplice gravimetria, dopo aggiunta di specifici reagenti.

La rottura delle emulsioni è effettuata mediante veloce destabilizzazione della fase oleosa, in modo da ottenere, in tempi rapidi (10-15 minuti), la separazione per coalescenza dell’olio dalla soluzione

acquosa. A tal fine sono utilizzati, singolarmente o in combinazione tra loro, trattamenti di tipo chimico, fisico e meccanico.

I principali procedimenti chimici, che operano la rottura dei legami emulsivi e permettono la separazione, generalmente per decantazione, della fase oleosa dalle altre fasi (acqua e solidi) costituenti la miscela esausta, sono basati su:

- aggiunta di elettroliti cationici, quali solfato di alluminio, solfato ferroso, cloruro ferrico, ecc.
- drastica ossidazione e rottura del tensioattivo emulgatore per mezzo del reattivo di Fenton, $H_2O_2 + FeSO_4$ in ambiente acido per H_2SO_4 (indicata principalmente nel caso di tensioattivi non-ionici)
- drastica variazione dello stato ionico della dispersione per mezzo di acidi forti (in genere acido solforico). Questa tecnica è nota con la terminologia di "cracking acido"
- agglomerazione delle particelle oleose disperse nella massa liquida mediante polielettroliti anionici o cationici a catena lunga, lineare o ramificata
- neutralizzazione e precipitazione delle catene idrofile dei tensioattivi per mezzo di idrossidi e carbonati. Tipico è il trattamento a freddo, a pH 7-8, con cloruro di bario e carbonato di sodio, in presenza di sali solubili di alluminio, mediante il quale si ottiene la separazione dell'olio sulla superficie del liquido con la contemporanea sedimentazione di idrossido di alluminio e carbonato di calcio.

I diversi trattamenti sopra menzionati consentono di ottenere risultati apprezzabili solo nel caso in cui siano correttamente identificati i meccanismi originali di stabilizzazione della fase oleosa dispersa. Essi presentano, inoltre, alcuni aspetti negativi non trascurabili, tra i quali si possono elencare:

- il costo e la complessità degli impianti che devono, generalmente, prevedere reattori o vasche di destabilizzazione, sezioni di flocculazione o flottazione, attrezzature di addensamento dei fanghi o del flottato, reattori di neutralizzazione del chiarificato, ecc.
- la notevole produzione di fanghi o di flottati, da considerarsi, in genere, rifiuti pericolosi perché contenenti la gran parte dei vari additivi chimici utilizzati e difficilmente recuperabili e riutilizzabili. Si citano le difficoltà di neutralizzazione e smaltimento delle notevoli quantità di melme acide calde prodotte dal trattamento con acido solforico
- l'elevato dispendio di energia nei trattamenti a caldo
- l'emanazione di cattivi odori, spesso difficilmente captabili e contenibili.

Una rottura efficace delle emulsioni oleose per via fisica può essere ottenuta ricorrendo all'ultrafiltrazione con membrane resistenti all'azione degli emulgatori di additivazione.

La caratteristica saliente del processo di ultrafiltrazione, basato sulle caratteristiche di semipermeabilità di particolari membrane sintetiche, è che esso avviene senza cambiamento di fase, facendo scorrere a pressione l'emulsione su una superficie della membrana (che, per sua caratteristica, è permeabile all'acqua ed ai prodotti disciolti a peso molecolare basso) raccogliendo dal lato opposto tutto ciò che permea ed ottenendo sul lato di scorrimento la concentrazione delle particelle di olio e dei prodotti anche disciolti ma ad alto peso molecolare. Il permeato richiede, di norma, un'ulteriore depurazione con processi chimico-fisico-biologici, mentre il concentrato oleoso può essere utilizzato tal quale, come combustibile, od ulteriormente trattato per arricchirlo in olio. Il processo di ultrafiltrazione può operare in continuo o in discontinuo e le membrane utilizzate possono essere di diverso tipo: piane, tubolari, a spirale.

I punti di forza del trattamento sono quelli esattamente contrari ai punti di forza dei trattamenti chimici; gli inconvenienti sono costituiti dall'estrema variabilità dei prodotti oleosi da trattare, che costringe a continui cambiamenti della membrana nonché a frequenti riassetti degli standard di processo e lavaggi delle membrane stesse.

Nei processi meccanici, per rompere le emulsioni, si sfrutta la differenza di peso tra acqua ed olio ed, eventualmente, sedimenti e/o morchie.

Tra questi processi i più importanti sono quelli costituiti dai sistemi di separazione di miscugli acqua/olio e dai sistemi di rottura vera e propria dei legami emulsivi; tra primi si annoverano i disoleatori API (American Petroleum Institute) ed i disoleatori a pacco lamellare, tra i secondi i trattamenti di flottazione e centrifugazione. I disoleatori longitudinali API sono vasche a sezione rettangolare munite di speciali distributori del flusso liquido in ingresso ed in uscita, di dispositivi per il raschiamento e la raccolta dei fanghi pesanti di fondo e della fase oleosa leggera galleggiante. I disoleatori a pacco lamellare (PPI, Parallel Plate Interceptor e CPI, Corrugated Plate Interceptor), ad alta efficienza, sono apparecchiature molto compatte, dotate di una serie di setti sagomati paralleli (distanti 2-10 cm), attraverso i quali il flusso liquido rilascia le particelle di olio che, per coalescenza, risalgono in superficie, dove vengono scremate mediante l'utilizzo di canaline basculanti dotate di fessure per la regolazione del livello all'interfaccia acqua/olio. Queste apparecchiature trovano utilizzo nell'industria petrolchimica, nelle raffinerie, nelle industrie meccaniche, come strumenti di recupero primario di miscele oleose.

Con la flottazione si ricorre, invece, all'arricchimento della fase oleosa attraverso aria insufflata ed attraverso l'azione di tensioattivi celluloseici che assorbono l'olio e formano una "schiuma" molto densa ma contemporaneamente anche molto leggera, e quindi di facile separazione dalla fase acquosa e/o fangosa.

Con la centrifugazione, infine, si possono separare nettamente le tre fasi che costituiscono una emulsione oleosa esausta; si utilizza l'azione di una forza centrifuga per provocare la decantazione accelerata della miscela di solidi e di liquidi con densità e peso specifico differenti. Normalmente vengono utilizzate centrifughe che possono separare contemporaneamente le tre fasi: olio, che costituisce la fase leggera, acqua, che costituisce la fase intermedia, sedimenti, che costituiscono la fase pesante. Queste macchine hanno un "gradiente gravitazionale" molto elevato e normalmente sono del tipo a dischi conici. Dopo la rottura delle emulsioni, l'olio separato può essere avviato ad un'altra fase di ulteriore arricchimento, oppure alla rigenerazione, o alla combustione.

Dati operativi

I trattamenti di separazione olio-acqua, qualora non condotti al coperto, possono portare al rilascio di elevati quantitativi di composti organici volatili e sono, pertanto, da considerarsi tra le principali fonti di odori e di rischi per la salute. L'adozione di sistemi di copertura può garantire una riduzione delle emissioni fino al 95% ("Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector").

D'altro canto la copertura può comportare problemi operativi nella fase di scrematura; la scelta dovrà essere, pertanto, condotta sulla base delle specifiche condizioni locali. Qualora il sistema sia coperto deve, ovviamente, essere previsto il convogliamento dei gas ad un apposito sistema di abbattimento che deve comprendere adeguati dispositivi di sicurezza al fine di evitare rischi di esplosione.

Di seguito si riportano le prestazioni, in termini di rimozioni percentuali, che i trattamenti di separazione delle emulsioni oleose possono offrire per applicazioni nel settore dell'industria chimica, sulla base di quanto individuato dal documento europeo "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector":

Parametro	Rimozione (%)
Oli	90-95
Solidi	90-95

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Campo di applicazione

La separazione olio-acqua è un processo utilizzato principalmente nelle raffinerie e negli impianti petrolchimici per rimuovere oli, grassi ed altri liquidi non solubili più leggeri dell'acqua dal rifiuto liquido ed in genere è seguita da altre operazioni, tra cui, ad esempio, la flottazione.

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi dei processi di separazione delle emulsioni oleose sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • recupero olio 	<ul style="list-style-type: none"> • solo il disoleatore API può consentire di intercettare elevate quantità di oli e solidi • nel caso delle tecniche PPI (Parallel Plate Interceptor) e CPI (Corrugated Plate Interceptor) i piatti sono soggetti a sporco e, pertanto, richiede una costante manutenzione • non possono essere separate sostanze solubili

D.2.2 Separazione chimico-fisica di composti solubili non biodegradabili

I composti solubili non biodegradabili possono essere, essenzialmente, suddivisi in tre categorie:

- composti inorganici quali, ad esempio, sali di composti metallici
- composti organici refrattari al trattamento biologico
- composti organici ed inorganici con proprietà inibenti l'attività biologica.

Per la loro rimozione si può ricorrere a diverse tipologie di trattamento chimico-fisico tra cui: osmosi inversa e nanofiltrazione, elettrodialisi, adsorbimento, scambio ionico, precipitazione, stripping con aria, ossidazione chimica, evaporazione, estrazione con solvente.

D.2.2.1 Osmosi inversa e nanofiltrazione

L'osmosi inversa e la nanofiltrazione sono tecniche a membrana che consentono di separare sali e molecole organiche solubili dall'acqua, mediante l'applicazione di una differenza di pressione ai due lati della membrana stessa. Grazie alla differenza di pressione l'acqua è, infatti, costretta ad attraversare la membrana che risulta, invece, impermeabile al soluto. Le due tecniche sono, generalmente, utilizzate quando è richiesto un ricircolo completo del permeato o del concentrato.

Dati operativi

Le membrane sono disponibili in diversi materiali e configurazioni. La scelta dipenderà dalla specifica applicazione e dalla natura del rifiuto liquido da trattare; le caratteristiche di resistenza dei materiali che costituiscono la membrana sono, infatti, influenzate dalla natura delle sostanze contenute nel refluo.

Tipici materiali utilizzati per le membrane da ultrafiltrazione sono, ad esempio:

- acetato di cellulosa
- poliammide.

Le membrane utilizzate per l'osmosi inversa sono costituite da polimeri organici quali, ad esempio:

- acetato di cellulosa
- poliammide
- poliimmide
- policarbonato
- polivinilcloruro

- polisulfone
- polieteresulfone
- poliacetale
- copolimeri acrilonitrile-cloruro di vinile
- polielettroliti complessi
- alcol polivinilico a legami incrociati
- poliacrilati

Le caratteristiche tipiche delle membrane per osmosi inversa e per nanofiltrazione sono:

parametro	Nanofiltrazione	Osmosi inversa
Diametro del poro [μm]	0,01-0,001	<0,001
Pressione operativa [MPa]	0,5-3	2-100
Diametro cut-off [nm]	>1 200-1000 g/mole	<1000 g/mole
Flusso permeato [$\text{l m}^{-2} \text{h}^{-1}$]	<100	10-35
Velocità del flusso trasversale [m/s] ²	1-2	<2
Tipo di membrana	Polimerica asimmetrica o composita	Polimerica asimmetrica o composita
Configurazione della membrana	Tubolare spiral-wound	Tubolare spiral-wound

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Al fine di limitare il calo delle prestazioni del sistema filtrante è richiesta una continua pulizia delle membrane. Esse, pertanto, devono essere progettate in modo tale che sia possibile scollegarle dal ciclo di filtrazione per effettuare la pulizia meccanica o chimica.

Negli impianti di trattamento a membrana è prevista, in genere, la presenza di tre sezioni separate:

- sezione di pretrattamento dove il refluo è sottoposto a chiarificazione chimica (precipitazione, coagulazione/flocculazione o flottazione) e filtrazione, o a filtrazione ed ultrafiltrazione
- sezione di trattamento di nanofiltrazione o osmosi inversa (alta pressione)
- sezione di post trattamento dove il permeato e la salamoia concentrata vengono preparati per il riuso o lo smaltimento.

Le diverse unità filtranti possono essere disposte in parallelo, per garantire la necessaria capacità idraulica, o in serie, per incrementare l'efficienza della filtrazione.

Di seguito sono riportate le efficienze di rimozione per alcuni composti, raggiungibili mediante l'utilizzo delle tecniche di nanofiltrazione ed osmosi inversa; è necessario tenere in considerazione che tali prestazioni, riportate nel documento "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector", si riferiscono ad applicazioni nel settore chimico.

Parametro	Rimozione (%)	
	Nanofiltrazione	Osmosi inversa
Hg inorganico	>90	
Hg organico	>90	
Composti del Cd	>90	
Tetraclorometano	96	
1,2-dicloroetano	>70	
Triclorobenzene	>95	
Percloroetilene	>90	
Atrazina	>70	85-95
Esaclorocicloesano		99

Parametro	Rimozione (%)	
	Nanofiltrazione	Osmosi inversa
DDT		100
Aldrin		100
Dieldrin		100
Diclorvos		98
Simazina		95
Trifluralin		99
Fenitrothion		99
Malathion		99
Azinphos metile		98
TOC	80-90	

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Così come per l'ultrafiltrazione e la microfiltrazione anche per quanto concerne l'osmosi inversa e la nanofiltrazione si può osservare una certa vulnerabilità dei materiali di cui sono costituite le membrane ad attacco chimico da parte delle sostanze contenute nel rifiuto liquido sottoposto a trattamento. Le membrane sono, inoltre, soggette a "sporcamento", a causa della deposizione di particelle e della precipitazione e/o cristallizzazione dei soluti sulla superficie o all'interno dei pori. Il concentrato occupa, in genere, un volume pari a circa il 10% del volume entrante con una concentrazione delle diverse sostanze all'incirca 10 volte superiore rispetto alla concentrazione iniziale. Più in dettaglio, i limiti di utilizzo possono essere così riassunti:

tecnica		Limiti di utilizzo
Nanofiltrazione	Dimensioni delle particelle	Limitata capacità di separare particelle con peso molecolare <200
Osmosi inversa	Concentrazione	Nel caso di soluzioni concentrate, la pressione osmotica può essere così elevata da superare la massima pressione operativa utilizzabile oppure rendere il trattamento non fattibile da un punto di vista economico
	Solubilità dei sali	I sali poco solubili tendono a precipitare causando intasamenti delle membrane
	Polimerizzazione di monomeri	Fenomeni di polimerizzazione possono causare intasamenti delle membrane
Nanofiltrazione ed osmosi inversa	Caratteristiche delle membrane	La bassa resistenza termica e chimica limitano l'utilizzo a ristretti intervalli di pH e temperatura (18-30 °C)

Campo di applicazione

La nanofiltrazione è utilizzata per la rimozione di molecole organiche di dimensioni non eccessivamente piccole e di ioni polivalenti ed è finalizzata a ridurre il volume del rifiuto liquido e/o a renderne possibile il riciclo o il riuso nonché ad incrementare la concentrazione dei contaminanti al fine di facilitare le successive operazioni di trattamento degli stessi.

L'osmosi inversa, dal canto suo, consente di separare anche gli ioni più semplici ed è, in genere, utilizzata nei casi in cui è richiesto un elevato grado di purezza del liquido, come ad esempio:

- desalinizzazione
- rimozione finale di, ad esempio:
 - componenti degradabili se il trattamento biologico non è disponibile
 - metalli pesanti
 - composti tossici

- allontanamento di inquinanti con l'obiettivo di concentrarli o avviarli a successivo ulteriore trattamento.

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi della nanofiltrazione e dell'osmosi inversa sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • alta efficienza di separazione • sistemi modulari e conseguente flessibilità di utilizzo • possibilità di riciclaggio del permeato e del concentrato • basse temperature operative • possibilità di operazioni totalmente automatizzate 	<ul style="list-style-type: none"> • possibile intasamento, bloccaggio e sporcamento delle membrane • tendenza al compattamento • alte pressioni operative e bassi flussi di permeazione.

D.2.2.2 Elettrodialisi

Una cella di elettrodialisi è costituita da un anodo ed un catodo separati da membrane cationiche (permeabili solo ai cationi) e membrane anioniche (permeabili solo agli anioni).

Il liquido, immesso tra le membrane, è sottoposto al campo elettrico che devia verso gli elettrodi gli ioni presenti in soluzione (a seconda del segno della loro carica); in tal modo vengono a formarsi, grazie alla opportuna disposizione delle membrane selettive, un flusso concentrato e uno diluito.

Dati operativi

I sistemi di elettrodialisi possono operare sia in continuo che in discontinuo e, a seconda delle esigenze, le differenti unità possono essere sistemate in serie o in parallelo.

Per garantire la pulizia delle membrane è richiesto un continuo lavaggio con acqua. Per limitare gli effetti di sporcamento può rendersi, inoltre, necessario un pretrattamento del rifiuto liquido con carbone attivo, possibilmente preceduto da precipitazione chimica e da filtrazione.

Campo di applicazione

Questa tecnica, che consente di rimuovere solo specie di tipo ionico, si presta in modo particolare al trattamento di reflui provenienti dall'industria galvanica e da lavorazioni di finitura dei metalli.

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi dell'elettrodialisi sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • elevate rimozioni • flessibilità di utilizzo 	<ul style="list-style-type: none"> • possibile intasamento, bloccaggio e sporcamento delle membrane

D.2.2.3 Adsorbimento

Il processo, basato sul trasferimento di massa e l'adsorbimento di una sostanza da una fase liquida o gassosa ad una superficie solida, viene, preferibilmente, impiegato nella rimozione di composti organici disciolti, specialmente se non polari, con bassa solubilità e alto peso molecolare.

Dal punto di vista della composizione chimica, il carbone attivo è costituito, in gran parte, da carbonio. All'esame micrografico un granello di carbone mostra numerose porosità di diametro variabile da un minimo di 5 Å ($1\text{Å} = 10^{-10}\text{ m}$) fino ad un massimo di 10.000 Å. Oltre al volume dei pori (è sempre auspicabile che siano di grandi dimensioni), un'altra proprietà fondamentale del

carbone attivo è la superficie totale. I carboni attivi normalmente impiegati possiedono superfici specifiche variabili da 300 a 850 m²/g. Superficie totale e distribuzione del volume dei pori rappresentano, quindi, le proprietà intrinseche più importanti del carbone attivo.

I carboni attivi commerciali sono suddivisibili in due categorie fondamentali:

- carbone attivo granulare (GAC): è disponibile in diverse pezzature che vanno indicativamente da un diametro medio minimo di 0,40 mm fino ad un diametro massimo di 2,25 mm
- carbone attivo in polvere (PAC): è costituito da polvere finissima impalpabile, setacciabile per il 95% attraverso un setaccio con maglie da 0,149 mm e per il 50-70% attraverso un setaccio con maglie di 0,044 mm

L'applicazione più diffusa del carbone attivo granulare prevede l'utilizzo di colonne a letto fisso disposte in serie o in parallelo o una combinazione serie-parallelo.

Dati operativi

Le caratteristiche dei materiali adsorbenti utilizzabili per il trattamento dei rifiuti liquidi sono:

Tipo di adsorbente	Caratteristiche			
	Superficie specifica (m ² /g)	Volume micropori (ml/g)	Volume macropori (ml/g)	Peso apparente (g/l)
Carbone granulare per la purificazione dell'acqua	500-800	0,3-0,6	0,3-0,4	300-500
Carbone in polvere per dechlorazione	700-1.400	0,45-1,2	0,5-1,9	250-500
Gel di silice a porosità fine	600-850	0,35-0,45	<0,1	700-800
Gel di silice a porosità larga	250-350	0,3-0,45	0,05-0,1	400-800
Allumina attivata	300-350	0,4	Approssimativamente 0,1	700-800
Resine adsorbenti	400-500	-	-	650-700

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"

Limiti e restrizioni di utilizzo:

	Limiti/restrizioni
SS	<20 mg/l con adsorbenti a letto fisso <10 mg/l con adsorbenti a letto mobile
Concentrazione di inquinanti	<100 g/l (senza il recupero dell'adsorbente) <500 g/l (con recupero dell'adsorbente)
Massa molecolare	Efficienza diminuita con sostanze a basso peso molecolare
Lunghezza della catena carboniosa	Diminuzione dell'efficienza all'aumentare della lunghezza della catena di atomi di carbonio
Ramificazione della catena carboniosa	Diminuzione dell'efficienza all'aumentare della ramificazione
Polarità	Diminuzione dell'efficienza all'aumentare della polarità
Solubilità nell'acqua	Diminuzione dell'efficienza all'aumentare della solubilità
Grado di dissociazione	Diminuzione dell'efficienza all'aumentare della dissociazione
Macromolecole	Minore efficienza con strutture macromolecolari

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Le tipiche prestazioni del processo di adsorbimento su carbone attivo granulare, riferite ad alcuni composti di tipo organico con concentrazione, nel flusso in ingresso, di 1.000 mg/l sono riportate nella tabella seguente; si precisa che detti valori fanno riferimento ad applicazioni nel settore chimico e che le prestazioni di rimozione sono fortemente influenzate dalle caratteristiche del rifiuto in entrata.

sostanza	Rimozione [%]	Capacità [mg/g]
Benzene	95	80
Etilbenzene	84	19
Butil acetato	84	169
Etil acetato	51	100
Fenolo	81	161
Metil etil chetone	47	94
Acetone	22	43
Piridina	47	95
Dietanol ammina	28	57
Etanol ammina	7	15
Acetaldeide	12	22
Formaldeide	9	18
Alcol isopropilico	22	24
Alcol metilico	4	7

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Analoghe considerazioni vanno ripetute per quanto riguarda i seguenti valori, provenienti anch'essi dal "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector".

Elemento o composto	Rimozione (%)						Note (conc. flusso entrante, conc. PAC)
	GAC	PAC	Lignite	Al ₂ O ₃	Resina	Zeoliti	
Hg inorganico	80						29 µg/l
Hg organico	80						Basse conc.
Esaclorocicloossano	93						7,7 µg/l
		99					10 µg/l PAC= 85 mg/l
DDT	97-99,9						
Aldrin	88-93						
		90-99					PAC= 5-20 mg/l
Dieldrin	86-98						
		99 [0,1 µg/l]					10 µg/l PAC= 126 mg/l
Atrazina	84						0,61 µg/l
Endrin		<0,1 µg/l					10 µg/l PAC=70 mg/l
Diclorvos		99					
Triclorobenzene		70-93					200 µg/l PAC=20 mg/l
Fenitrothion		99					
Azinphos metile		99					
Ammoniaca						98 [0,5 mg/l]	25 mg/l

Elemento o composto	Rimozione (%)						Note (conc. flusso entrante, conc. PAC)
	GAC	PAC	Lignite	Al ₂ O ₃	Resina	Zeoliti	
COD	50						Letto mobile 5 g/l
	65-75 [<100 mg/l]						300-400 mg/l
Fenoli	75						Letto mobile 70 mg/l
	60-80 [1-2 mg/l]						5 mg/l
Composti organici clorurati	>90						Letto mobile 60 mg/l

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Con l'eccezione del PAC, che è smaltito insieme ai fanghi, il materiale esausto, quando perde la propria capacità adsorbente, viene rimpiazzato ed avviato a rigenerazione (specifica per ogni tipologia di adsorbente). In ogni caso è, comunque, richiesto l'utilizzo di agenti chimici e/o di energia. Ad esempio, il GAC, la lignite e l'ossido di alluminio attivato, utilizzati per l'adsorbimento di composti organici, sono rigenerati termicamente ad una temperatura compresa tra i 750 ed i 1.000 °C. Le resine, le zeoliti e l'ossido di alluminio attivato, utilizzati per l'adsorbimento di sostanze inorganiche, sono, invece, rigenerati mediante processi di eluizione con agenti chimici, solventi organici o soluzioni inorganiche.

Il processo di rigenerazione del GAC determina il rilascio di gas contenenti prodotti di decomposizione chimica e termica dei composti adsorbiti nonché la perdita di circa il 10% del materiale adsorbente ("Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector") che deve essere, pertanto, costantemente rimpiazzato. La continua reintegrazione con nuovo carbone dovrebbe, comunque, garantire il mantenimento dell'efficienza generale del letto adsorbente. I gas di scarico rilasciati nel corso della rigenerazione richiedono un idoneo trattamento.

Il GAC deve essere smaltito come rifiuto pericoloso, ovvero avviato ad incenerimento, qualora non possa essere rigenerato e risulti contaminato da sostanze pericolose quali PCB, diossine, metalli pesanti o diclorobromopropano.

Ulteriori impatti sull'ambiente derivanti dall'operazione di rigenerazione del materiale adsorbente possono essere legati:

- al trasporto del materiale esausto all'impianto e dall'impianto di rigenerazione
- alla rigenerazione presso l'impianto specializzato
- al consumo di energia per il processo di rigenerazione
- al rilascio di agenti contaminanti nell'acqua e/o nell'aria durante il processo di rigenerazione
- alla generazione di rumori (ad esempio, sistemi di pompaggio)

Campo di applicazione

Le categorie di composti organici efficacemente rimossi tramite adsorbimento su carbone attivo sono:

- combustibili (benzina, kerosene, oli)
- tensioattivi (alchil benzene solfonati)
- solventi aromatici (benzene, toluene, xilene)
- aromatici polinucleari (naftalene, bifenili)
- solventi clorurati (tetracloruro di carbonio, percloro etilene)
- aromatici clorurati (clorobenzene, PCB, Aldrin, Endrin, Toxafene, DDT)

- composti fenolici (fenolo, cresolo, resorcinolo)
- ammine alifatiche ad alto peso molecolare e ammine aromatiche (anilina, toluen-diammina)
- coloranti organici solubili (blu di metilene, coloranti tessili)
- acidi alifatici e aromatici (catrami acidi, acidi benzoici)

Il problema più comune che si presenta è l'eccessiva perdita di carico, causata dall'accumulo di solidi sospesi o dalla crescita batterica nel letto.

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi dell'adsorbimento sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • Alta efficienza di rimozione (non per il coke di lignite) • Permette la rimozione di composti organici refrattari e/o tossici (GAC, PAC, resine, coke di lignite) • Di solito necessita di spazi limitati • Sistemi automatizzati • Possibile recupero dei composti (preferibilmente con zeoliti) 	<ul style="list-style-type: none"> • Miscele di composti organici possono causare una significativa riduzione della capacità di adsorbimento • Un alto contenuto di composti macromolecolari diminuisce l'efficienza e può causare l'ostruzione irreversibile dei siti attivi • Progressiva abrasione in seguito ad operazioni di pulizia mediante raschiatura dei fanghi (PAC) • Gli adsorbenti esausti devono essere rigenerati (alto consumo di energia) o smaltiti (anche mediante incenerimento)

D.2.2.4 Scambio ionico

Le resine a scambio ionico sono sostanze insolubili che hanno la capacità di fissare determinati ioni presenti in soluzione acquosa, rilasciando ioni non tossici.

Sono realizzate con matrici polimeriche opportunamente funzionalizzate e possono essere distinte in due categorie principali:

- resine cationiche, se scambiano ioni positivi (cationi)
- resine anioniche, se scambiano ioni negativi (anioni)

Quando si porta a contatto il refluo da trattare con la resina, gli ioni non tossici, legati debolmente alla superficie di quest'ultima, vengono rilasciati e sostituiti dagli ioni contenuti nel refluo.

Lo scambio ionico è una tecnologia utilizzabile per la rimozione di metalli sotto forma di ioni solubili, anioni non metallici (alogenuri, solfati, nitrati o cianuri), ammine, ammine quaternarie e alchisolfati.

L'equipaggiamento di un sistema a scambio ionico è in genere composto da:

- un contenitore cilindrico ad alta pressione, opportunamente rivestito al fine di garantire resistenza alla corrosione, in cui è contenuta la colonna di resina impaccata
- valvole di controllo e condutture per il convogliamento dei reflui e della soluzione rigenerante
- un sistema per la rigenerazione della resina, che consiste in un equipaggiamento per la dissoluzione del sale e per il controllo della diluizione

Dati operativi

Il ciclo operativo prevede:

- l'operazione di scambio ionico;
- la fase di lavaggio, finalizzata alla rimozione delle particelle accumulate
- la fase di rigenerazione, in cui una soluzione a basso volume e ad alta concentrazione viene fatta passare attraverso la resina al fine di ricaricare la stessa e consentire il rilascio delle specie ioniche indesiderate

- l'operazione di risciacquo con bassi flussi d'acqua, finalizzata a spostare la soluzione rigenerante lungo il letto della resina
- la fase di risciacquo veloce, volta alla completa rimozione della soluzione rigenerante dalla resina.

Lo scambio ionico è una tecnica comunemente utilizzata come trattamento integrativo nei processi di depurazione delle acque reflue (ad esempio, come operazione di recupero delle acque di risciacquo o per il trattamento di composti chimici). Le concentrazioni dei reflui trattati sono, in genere, comprese tra i 10 ed i 1.000 mg/l. Al fine di prevenire l'occlusione della resina il materiale in sospensione non dovrebbe superare la concentrazione di 50 mg/l; operazioni preliminari allo scambio ionico potrebbero essere la sedimentazione/flocculazione o la filtrazione su membrana.

La rigenerazione della resina si conclude con l'eluizione di piccoli volumi di acido concentrato o di soluzioni saline contenenti gli ioni rimossi. Gli eluati devono, quindi, essere opportunamente trattati al fine di rimuovere gli ioni (per esempio, rimozione di metalli pesanti mediante precipitazione).

Limiti e restrizioni all'utilizzo:

	Limiti/restrizioni
Concentrazione ionica	Forze ioniche elevate possono causare una dilatazione delle particelle di resina
Temperatura	Le resine anioniche hanno, come limite termico, valori di temperatura intorno ai 60 °C
Agenti corrosivi	Acido nitrico, acido cromico, perossido di idrogeno, ferro, manganese e rame possono danneggiare le resine
Residui interferenti	Composti inorganici quali i precipitati ferrosi, o composti organici quali gli aromatici possono causare adsorbimenti irreversibili sulla resina

Secondo quanto riportato nel "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector", le prestazioni del processo di scambio ionico, in applicazioni caratterizzate da flussi entranti con concentrazioni comprese tra 10 mg/l e 1.000 mg/l, sono:

Parametro	Emissione (mg/l)	Rimozione (%)	Note
Specie ioniche	0,1 - 10	80 - 99	Concentrazione nel flusso entrante: 10 - 1.000 mg/l

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Campo di applicazione

Lo scambio ionico è una tecnica tipicamente utilizzata per la rimozione di specie ioniche e ionizzabili, quali ad esempio:

- ioni di metalli pesanti, cationici o anionici (ad esempio, Cr^{3+} o Cd e suoi componenti a basse concentrazioni e CrO_4^{2-} anche in concentrazioni più elevate)
- componenti inorganici ionizzabili, come H_3BO_3
- composti organici solubili, ionici o ionizzabili (ad esempio, acidi carbossilici, acidi sulfonici, alcuni fenoli, ammine come sali acidi, ammine quaternarie, alchilsolfati e composti organici del mercurio)

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi del trattamento sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • in teoria tutti gli ioni e le specie ionizzabili possono essere rimossi • relativamente non influenzato dalle variazioni di flusso • sono conseguibili elevate efficienze • consente il recupero di specie pregiate • consente il recupero di acqua • è disponibile una larga varietà di resine specifiche 	<ul style="list-style-type: none"> • richiede operazioni preliminari di filtrazione • crescita di batteri sulla superficie della resina e sporcamento causato da fenomeni di precipitazione o adsorbimento • fenomeni di competizione tra ioni • logorio della resina, dovuto alla rigenerazione o ad impatti meccanici • la salamoia e il fango risultante dalla rigenerazione devono essere trattati o smaltiti

D.2.2.5 Precipitazione

La precipitazione è un processo chimico finalizzato alla formazione di particolato che può in seguito essere separato con tecniche di sedimentazione, flottazione o filtrazione. Un impianto di precipitazione è, in genere, costituito da una o due vasche di miscelazione agitate meccanicamente, ove vengono aggiunti i reagenti, da un sedimentatore (o un flottatore) e dai serbatoi di stoccaggio dei reagenti.

A questi vanno aggiunte le installazioni di disidratazione e/o condizionamento dei fanghi originati dal trattamento.

Se necessario l'impianto deve essere completato con una sezione di trattamento biologico per rimuovere eventuali sostanze organiche biodegradabili non precipitabili chimicamente.

Tipici agenti precipitanti sono:

- latte di calce (per metalli pesanti)
- idrossido e carbonato di sodio (per metalli pesanti)
- sali di calcio (per solfati e fluoruri)
- solfuro di sodio (per mercurio)

Per migliorare il processo di separazione, a questi vengono spesso aggiunti altri composti con caratteristiche precipitanti e flocculanti, tra cui:

- sali ferrosi e ferrici
- solfato di alluminio
- polielettroliti
- solfuri poliorganici

Dati operativi

Le rese delle tecniche di precipitazione e di separazione liquido-solido dipendono, in genere, dai seguenti fattori:

- pH
- qualità della miscela
- temperatura e durata della fase di reazione

Ogni trattamento richiede una accurata messa a punto finalizzata ad individuare le migliori condizioni operative; l'attività di analisi chimica e di test di processo assumono particolare valenza nel trattamento di rifiuti liquidi presso piattaforme polifunzionali, ove a differenza, ad esempio, di un'industria chimica, la qualità del refluo non è costante, ma varia in funzione delle tipologie giornalmente conferite.

La quantità di agenti precipitanti richiesta cambia sensibilmente in funzione della qualità del rifiuto liquido e della concentrazione di inquinanti.

Durante il processo di precipitazione è buona norma che il valore di pH e il dosaggio di flocculanti e/o coagulanti sia attentamente monitorato e regolato.

Il fango derivante dal trattamento può contenere diversi composti chimici, almeno nel caso in cui il processo sia attuato al fine di precipitare i metalli pesanti. Esso può essere, infatti, costituito da carbonati, fluoruri, idrossidi (o ossidi), fosfati, solfati e solfuri di metalli pesanti. Nel caso di possibile rilascio di emissioni osmogene la precipitazione dovrebbe essere condotta in serbatoi chiusi o in bacini coperti ed i gas convogliati ad appositi sistemi di abbattimento.

Campo di applicazione

La precipitazione viene utilizzata nel trattamento di rifiuti liquidi contenenti metalli quali:

- Mercurio
- Cadmio
- Rame
- Nichel
- Piombo
- Cromo (III)
- Cromo (VI)
- Zinco
- Stagno
- Alluminio
- Ferro (III)
- Ferro (II)
- Solfati
- Fosfati
- Fluoruri

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi del trattamento di precipitazione con calce e con solfuro di sodio sono:

Vantaggi	Svantaggi
<u>Con calce come agente precipitante:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Riduzione del contenuto di sali nel rifiuto liquido • Incremento delle capacità tampone dell'impianto di trattamento biologico • Incremento della sedimentazione dei fanghi • Ispessimento dei fanghi • Incremento della disidratazione meccanica dei fanghi • Riduzione della durata del ciclo di disidratazione • Costi contenuti 	<u>Con calce come agente precipitante:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Difficoltà di gestione della soda • Incremento dei quantitativi di fango dovuto all'eccesso di Ca(OH)_2 • Problemi di manutenzione
<u>Con solfuro di sodio come precipitante:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Minori volumi di fango (30% in meno rispetto al trattamento con calce) • Minori quantitativi di prodotti chimici utilizzati (40% in meno rispetto al trattamento con calce) 	<u>Con solfuro di sodio come precipitante:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Rischio di formazione di H_2S per acidificazione • Emissioni osmogene legate alla presenza di H_2S

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • Minori quantitativi di metalli nell'effluente trattato • Non richiede pre- o post-trattamenti • Elevate prestazioni nella rimozione dei solidi sospesi e disciolti 	

D.2.2.6 Ossidazione chimica

L'ossidazione chimica è, in genere, utilizzata nel trattamento di reflui contenenti sostanze organiche non biodegradabili, anche tossiche e/o pericolose, e per la rimozione di composti inorganici pericolosi.

Gli agenti ossidanti, in linea generale, possono essere: ossigeno atmosferico, ossigeno puro, ozono, perossido di idrogeno, permanganato di potassio, cloro e i suoi composti e l'ossidazione può avvenire a condizioni ambiente oppure ad elevati valori di pressione e temperatura (si veda in particolare il processo di ossidazione ad umido in cui si hanno valori di pressione di 3÷25 MPa e temperature di 150÷250 °C).

La scelta dell'agente ossidante deve basarsi su aspetti tecnici ed economici. Deve essere prevenuta, in particolare, la formazione di composti tossici e/o difficilmente trattabili nelle successive fasi del processo; a tal fine possono rivelarsi molto utili prove su scala pilota, atte a stabilire i dosaggi, i tempi di reazione, la formazione di sottoprodotti, i trattamenti preliminari e successivi, ecc.

Il trattamento di ossidazione è efficace sia su sostanze organiche (fenoli, ammine, mercaptani, clorofenoli, ecc.) che su alcune sostanze inorganiche, quali solfuri (convertiti in solfati), cianuri e metalli (ad esempio, As, Fe e Mn possono essere portati ad uno stato di ossidazione che conduce alla formazione di composti meno solubili). È, inoltre, possibile effettuare l'ossidazione di composti organometallici mediante la distruzione della parte organica ed il conseguente "rilascio" del metallo, che può essere, successivamente, rimosso (ad esempio per precipitazione). Nel caso di sostanze refrattarie al processo di ossidazione tradizionale si ricorre a processi più avanzati che prevedono l'utilizzo di più agenti ossidanti accoppiati e/o di catalizzatori.

I principali agenti ossidanti sono:

- cloro
- ipoclorito di calcio o di sodio
- biossido di cloro
- ozono (in presenza o meno di radiazioni UV)
- perossido di idrogeno/radiazioni UV
- perossido di idrogeno/sali di ferro (reattivo di Fenton)

Dati operativi

I reattori utilizzati per i processi di ossidazione chimica sono progettati in funzione delle specifiche caratteristiche degli agenti ossidanti utilizzati.

Normalmente si opera a pressioni superiori a 0,5 MPa [Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector]. Qualora siano utilizzati raggi ultravioletti come acceleratori di reazione, deve essere prevista la presenza di opportune fonti di emissione (ad esempio, lampade a mercurio a bassa pressione) ed in tal caso il reattore consiste in tubi di quarzo trasparenti ai raggi UV. Le lampade possono essere sistemate all'esterno dei tubi ed il rifiuto al loro interno, o viceversa.

Gli impianti che utilizzano ozono come agente ossidante sono dotati di un apposito generatore in situ, in quanto tale reagente, essendo caratterizzato da una notevole instabilità, non può essere trasportato. Il surplus di ozono derivante dal trattamento deve essere eliminato utilizzando tutte le precauzioni necessarie.

Qualora come ossidante sia utilizzato perossido di idrogeno, per l'eliminazione del surplus del reagente deve essere adottato un sistema di adsorbimento su carbone attivo granulare.

L'uso di cloro rende, invece, necessaria la presenza di reattori costruiti in materiali particolari (ad esempio, titanio); anche in questo caso il surplus del reagente deve essere opportunamente eliminato (ad esempio, mediante la reazione con solfito).

In considerazione della potenziale pericolosità dei reagenti ossidanti utilizzati, le infrastrutture di stoccaggio devono essere sempre dotate di adeguati sistemi di sicurezza.

Nel documento europeo "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector" sono riportati i dati operativi relativi all'applicazione del processo di ossidazione a reflui provenienti dal settore chimico. I livelli di abbattimento del COD conseguibili per alcuni composti contenuti in tali reflui, mediante l'utilizzo di perossido di idrogeno, sono, ad esempio:

sostanza	Rapporto H ₂ O ₂ /COD (%)	Rimozione COD (%)	H ₂ O ₂ utilizzata (%)
Tetraidro-1,4-ossazina (Morfolina)	100	20	20
2-amminoetanolo	100	37	37
Dietilenglicole	100	45	45
Polietilenglicole	100	35	35
Esamina o esametenetetrammina	100	32	32
2,4-difluoro-5-cloro-6-metilpirimidina	100	30	30
Feniltrifluoroetilcarbammide	80	75	94

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Sempre per quanto riguarda i trattamenti sui reflui provenienti dal settore chimico, l'utilizzo di cloro o ipoclorito consente di ottenere le seguenti rimozioni, in termini di carbonio organico totale e composti organici alogenati:

Parametro	Rimozione (%)	Note
TOC	>90	TOC entrante \approx 1 g/l
AOX (composti organici alogenati)	80	Conc. AOX entranti \approx 40 mg/l

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Campo di applicazione

L'ossidazione chimica è, in genere, utilizzata per il trattamento di rifiuti liquidi contenenti sostanze non prontamente biodegradabili o totalmente non biodegradabili (ad esempio, composti inorganici), che potrebbero influenzare negativamente i processi biologici o chimico-fisici posti a valle o rappresentare un rischio per l'ambiente. Tra queste sostanze si citano:

- oli e grassi
- fenoli
- idrocarburi policiclici aromatici (IPA)
- composti organici alogenati
- coloranti (mediante reattivo di Fenton)
- pesticidi
- cianuri
- solfuri
- solfiti

- complessi di metalli pesanti

Alcuni dei composti sopra menzionati possono essere parzialmente degradati anche ricorrendo a trattamenti di tipo biologico, mediante l'utilizzo di appositi microrganismi adattati; la scelta in merito al tipo di trattamento di ossidazione da adottare (chimico-fisico o biologico) dipende, in tal caso, dalla specifica situazione locale. Il processo di ossidazione chimico-fisica è, in genere, da preferirsi qualora vengano trattati volumi limitati di rifiuto liquido.

L'ossidazione con ossigeno attivo (ozono, acqua ossigenata) è, ad esempio, utilizzata nel trattamento dei percolati di discarica o per la rimozione di COD biorefrattario, composti osmogeni e pigmenti coloranti ed è spesso accompagnata dall'utilizzo di radiazioni ultraviolette.

Qualora il processo preveda l'utilizzo di radiazioni UV è di fondamentale importanza che il rifiuto liquido non sia caratterizzato da eccessiva torbidità, affinché sia garantita una buona trasmissione delle radiazioni stesse, e che il contenuto di ammoniaca sia relativamente basso (l'ammoniaca compete con i composti organici nella reazioni radicaliche). Deve, inoltre, essere prevenuta la formazione di schiume e deve essere garantita l'ossidazione completa dei contaminanti.

I parametri che necessitano di monitoraggio durante il processo di ossidazione sono:

- pH
- potenziale redox
- concentrazione di ozono (l'ozono nell'aria, in concentrazioni pari al 15-20%, è molto instabile e tende a decomporsi)
- concentrazione dell'ossigeno (per motivi di sicurezza)
- quantità del surplus di agente ossidante nell'effluente del processo
- contenuto di composti organici alogenati (AOX) nell'effluente, nel caso di utilizzo di agenti ossidanti a base di cloro; l'eccesso di cloro o ipoclorito dovrebbe essere rimosso al fine di prevenire la formazione di composti organici clorurati che risultano scarsamente degradabili e/o tossici

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi dei trattamenti di ossidazione sono:

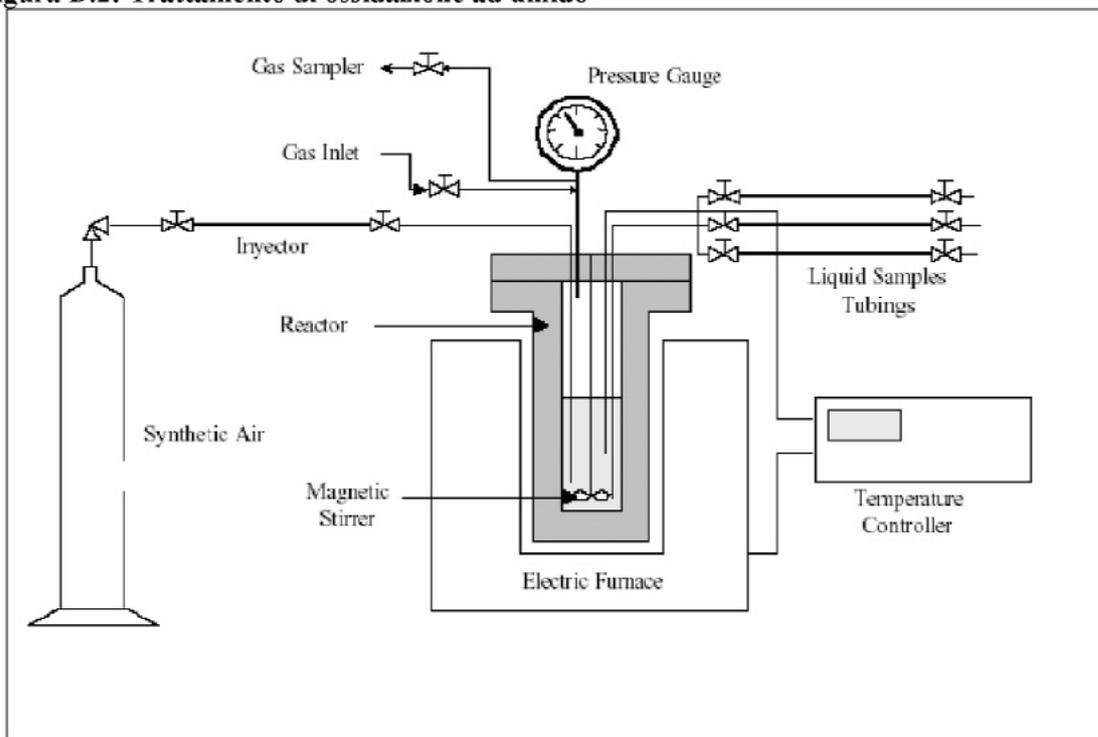
Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • trattamento di rifiuti liquidi con contenuti di COD refrattario in un range compreso tra alcuni g/l a meno di 1 µg/l [“Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector”] • trattamento di composti inorganici • permette di gestire anche elevate fluttuazioni • limitati tempi di residenza e, quindi, ridotti volumi (l'ossidazione con perossido di idrogeno richiede tempi compresi tra i 60 ed i 90 minuti a temperatura e pressione ambiente [“Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector”]) • trasformazione delle sostanze organiche complesse e/o nocive in sostanze inorganiche innocue • aumento della biodegradabilità per la 	<ul style="list-style-type: none"> • elevati consumi di energia (produzione di ozono, raggi ultravioletti e, nel caso di reazioni con cloro, alte pressioni e temperature) • è richiesta una elevata “qualità” del flusso entrante (ad esempio, bassa torbidità) • nel caso di utilizzo di cloro come agente ossidante, possibile generazione di composti organici clorurati • non efficaci nella rimozione di sostanze inorganiche come ammoniaca e cloruri

Vantaggi	Svantaggi
trasformazione delle sostanze organiche complesse in sostanze organiche semplici <ul style="list-style-type: none"> nessuna produzione di residui il processo può essere combinato con tutti gli altri trattamenti (assorbimento su carbone attivo, stripping, trattamento biologico, ecc.) 	

D.2.2.7 Processo di ossidazione ad umido (wet air oxidation)

Tra i diversi processi di trattamento dei rifiuti liquidi, l'ossidazione ad umido (wet air oxidation, WAO) è stata, negli ultimi anni, oggetto di notevole attenzione, sia per il progressivo affinamento della tecnologia, sia per l'evoluzione dei materiali che costituiscono il reattore. La WAO consiste nell'ossidazione in fase acquosa di sostanze disciolte o in sospensione; le temperature variano da 175 °C a 325 °C e le pressioni da 20 bar a 200 bar in maniera tale da garantire sempre la presenza delle fase liquida, limitare l'evaporazione dell'acqua ed avere una sufficiente pressione parziale dell'ossigeno. Il tempo di residenza del refluo nel reattore può variare da 15 a 120 minuti e la rimozione del COD è generalmente compresa tra il 75 ed il 90%. L'ossidazione viene effettuata con ossigeno fornito dall'aria (semplice o arricchita) oppure con ossigeno puro. I composti organici insolubili sono trasformati in composti organici semplici e solubili che, a loro volta, possono essere ulteriormente ossidati ad anidride carbonica ed acqua senza alcuna emissione di NO_x, SO₂, HCl, diossine, furani, ceneri, ecc. Dal punto di vista economico è, in genere, preferibile fermare l'ossidazione ad uno stadio intermedio. Le molecole semplici quali acidi acetico, propionico, metanolo, etanolo, acetaldeide, ecc. sono, infatti, caratterizzate da una elevata resistenza all'ossidazione ed è, pertanto, più conveniente avviarle a processi biologici a fanghi attivi. Lo schema del trattamento di ossidazione ad umido è riportato in figura D.2

Figura D.2: Trattamento di ossidazione ad umido



Il processo di ossidazione ad umido è regolato da due passaggi principali, il trasferimento dell'ossigeno dalla fase gassosa alla fase liquida, e la reazione chimica tra il substrato organico e l'ossigeno disciolto. La concentrazione dell'O₂ disciolto nella fase liquida dipende dalla velocità di reazione e dal processo di trasferimento dall'interfaccia gas-liquido; quest'ultimo è, a sua volta, influenzato dal grado di umidità nella fase gassosa, e/o dalla solubilità (in funzione della temperatura) dell'ossigeno in acqua. L'impiego di catalizzatori, porta ad un sostanziale guadagno su temperatura, pressione e tempo di ritenzione, permettendo di mantenere condizioni di processo meno severe con costi gestionali sensibilmente inferiori.

In molte applicazioni, in particolar modo su reflui industriali contenenti sostanze tossiche e/o non biodegradabili, la WAO viene utilizzata al fine di ridurre drasticamente la concentrazione delle sostanze tossiche e/o del COD e rendere, pertanto, il refluo adatto a successivi trattamenti di tipo biologico. In alternativa i reflui industriali contenenti sostanze organiche tossiche o non biodegradabili vengono avviati ad incenerimento; la WAO si colloca, pertanto, nella fascia dei trattamenti compresi tra il trattamento biologico e l'incenerimento, con costi nettamente inferiori rispetto a quest'ultimo.

Dati operativi

L'aria o l'ossigeno vengono miscelati con il rifiuto liquido entrante a monte dei cambiatori di preriscaldamento. Il bilancio termico del processo, e quindi la necessità di avere o meno apporto di calore dall'esterno, dipende dalle caratteristiche del refluo da trattare ed in particolar modo dal valore di COD. Dopo il preriscaldamento, il flusso liquido, addizionato di aria/ossigeno e dell'eventuale catalizzatore, viene inviato al reattore dove permane, in condizioni di temperatura e di pressione prestabilite, per un periodo di tempo sufficiente a garantire il raggiungimento del livello di ossidazione voluto. Le condizioni di ossidazione vengono scelte in funzione del tipo di refluo da trattare e del risultato che si vuole raggiungere; i parametri principali sono rappresentati dalla temperatura e dal tempo di permanenza nel reattore. In alcuni casi anche la pressione parziale dell'ossigeno può giocare un ruolo importante. Per quei trattamenti finalizzati ad elevati abbattimenti del COD, dell'ordine dell'80÷90%, o a rimozioni consistenti di composti tossici e/o non biodegradabili, sono richieste temperature tra i 250 ed i 320° C e tempi di residenza dell'ordine dell'ora o più. L'efficacia del processo aumenta con l'impiego di catalizzatori, come il solfato ferroso o i sali di rame, che permettono di operare a temperature più basse garantendo, nel contempo, rendimenti maggiori.

Condizioni più severe per i parametri temperatura e pressione vengono adottati nella Supercritical Water Oxidation dove le temperature di esercizio sono comprese nel range 380÷650 °C con pressioni da 220÷500 bar; in questo caso i tempi di ritenzione sono molto bassi, dell'ordine di 1-2 minuti. I prodotti che escono dal reattore sono normalmente non gassosi: sali o acidi inorganici (in funzione del pH) e molecole organiche a basso peso molecolare. L'azoto presente nelle sostanze organiche viene, in genere, trasformato in nitrato o azoto ammoniacale mentre i derivati dello zolfo rimangono nella fase acquosa in forma di solfati.

Nei reflui industriali la presenza della componente organica è spesso associata alla presenza di metalli pesanti in forma di ioni o di complessi.

Il trattamento WAO comporta la demolizione dei complessi liberando i metalli in forma ionica; questi ultimi possono essere, quindi, rimossi per precipitazione, flocculazione e/o sedimentazione. Il surnatante dal trattamento chimico fisico, in virtù della presenza di composti semplici e biodegradabili, viene in genere inviato a trattamento biologico.

Per il processo WAO condotto a bassa pressione si riportano le seguenti prestazioni, tratte dal "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector":

Parametro	Prestazione	Note
COD	Abbattimenti 60-90%	Ad esempio: 85% di riduzione mediante il processo WAO (a 190 °C e 2 MPa) + riduzione per chiarificazione biologica

Parametro	Prestazione	Note
		pari al 90% = rimozione del 98% del COD
AOX	Rimozioni 60-90%	Temperatura di reazione 190 °C
BOD/COD	Incremento del rapporto da 0,1 a 0,5	Temperatura di reazione 190 °C
Solfito di sodio (Na ₂ SO ₃)	Concentrazione dopo trattamento: 1 mg/l	Concentrazione iniziale: 30 g/l, T: 160 °C, P: 0,9 MPa

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Per il trattamento WAO ad alta pressione si riportano le seguenti prestazioni, tratte dal "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector":

Parametro	Rimozione (%)	Note
COD	99	Concentrazione iniziale: 30 g/l, T: 250 °C, P: 7 MPa
TOC	95	280 °C, 12 MPa
AOX	80	280 °C, 12 MPa
Acque reflue miste	77-81	TOC iniziale : 11,4 g/l, pH : 1,9, t : 280-300 °C

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Campo di applicazione

La WAO è applicabile a diverse tipologie di rifiuti liquidi contenenti composti organici ed inorganici tossici e difficilmente biodegradabili o non biodegradabili, quali ad esempio:

- cianuri organici ed inorganici
- composti alifatici, anche alogenati
- composti organici aromatici
- composti organici azotati
- bifenili policlorurati, fenoli e benzene
- alcoli aromatici e alifatici
- fanghi contaminati

Tali composti possono essere presenti in quantità rilevanti nei reflui dell'industria petrolchimica, tessile, farmaceutica e chimica.

L'impiego di scrubber a lavaggio acido e/o alcalino ed il passaggio finale su carbone attivo granulare, consentono di ridurre al minimo l'emissione di odori o di altre sostanze volatili. I costi di gestione sono imputabili, principalmente, al consumo di energia elettrica per la compressione dell'aria o dell'ossigeno e per il trattamento delle emissioni in aria. Se la concentrazione del COD rimosso dal substrato è sufficientemente elevata, tutta l'energia per il riscaldamento può essere ottenuta per scambio di calore tra flusso entrante e flusso uscente.

L'elevato grado di stress fisico-meccanico nonché l'elevata corrosione a cui sono sottoposti il reattore e l'intera sezione di trattamento (in funzione della salinità ed acidità del refluo), impongono una oculata scelta dei materiali di costruzione. Se il rifiuto liquido è libero da cloruri e da altri prodotti corrosivi, sono utilizzabili acciai inossidabili. In presenza di 400 mg/l o più di cloruri sono, invece, necessari materiali speciali come, ad esempio, il titanio. I costi d'investimento dipendono, pertanto, dalla tipologia di rifiuto liquido trattato, dalla temperatura, dalle condizioni operative e dai materiali da utilizzare.

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi dei trattamenti di ossidazione ad umido sono:

vantaggi	svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • efficace per ottenere una drastica riduzione di sostanze tossiche e COD e rendere, pertanto, il rifiuto liquido adatto a successivi trattamenti biologici 	<ul style="list-style-type: none"> • possibili emissioni in atmosfera di composti organici volatili e di ammoniaca • fenomeni corrosivi e di stress meccanico impongono l'utilizzo di particolari materiali di costruzione che risultano, generalmente, più costosi • elevati consumi energetici

D.2.2.8 Riduzione chimica

La riduzione chimica prevede la conversione di sostanze inquinanti in composti meno nocivi e pericolosi mediante l'utilizzo di agenti riducenti. I reattivi più comunemente utilizzati sono:

- anidride solforosa
- bisolfito di sodio/metabisolfito di sodio
- solfato ferroso
- solfuro di sodio e bisolfuro di sodio
- urea o acido amidosulfonico (sulfamico, a basso pH)

Dati operativi

Il processo viene, in genere, condotto in reattore a mescolamento continuo (CSTR), strutturato e dimensionato sulla base delle caratteristiche del rifiuto e delle modalità di reazione adottate; ad esempio può essere necessario rivestire il reattore con materiale resistente alla corrosione e alla pressione e/o prevedere la sua copertura nel caso di possibile rilascio di composti gassosi. In alcuni casi, gli impianti devono essere, inoltre, dotati di opportune sezioni di trattamento dell'eccesso di reattivo (ad esempio, utilizzo di ipoclorito o di perossido di idrogeno per l'ossidazione di solfito a solfato). La necessità di tali sezioni può essere in parte mitigata mediante l'adozione di adeguati accorgimenti progettuali ed il controllo di alcuni parametri operativi, quali ad esempio il pH ed il potenziale di ossidoriduzione.

Gli impianti che effettuano il trattamento di riduzione chimica non necessariamente sono caratterizzati da elevati costi o da alta complessità tecnologica. Nel caso di processi di tipo continuo/automatico, ad esempio, il costo capitale può essere elevato, ma normalmente i costi operativi risultano relativamente bassi. In tali processi la reazione è condotta in unità completamente automatizzate il cui funzionamento viene monitorato seguendo l'andamento di parametri specifici (in genere, il potenziale redox).

Campo di applicazione

La riduzione chimica è applicata nel trattamento di rifiuti liquidi contenenti sostanze non prontamente removibili o non convogliabili nel sistema fognario a causa della eccessiva pericolosità. Il processo viene, in genere, applicato a contaminanti di tipo inorganico risultando meno efficace nel trattamento di composti organici.

Esempi di contaminanti avviati a riduzione sono:

- cromo (IV), ridotto a cromo (III)
- cloro o ipoclorito, ridotti a cloruro
- perossido di idrogeno, ridotto ad acqua e ossigeno
- nitrito, usando urea o acido amidosulfonico a basso pH.

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi del trattamento sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • Possono essere trattati rifiuti in un vasto range di concentrazione (da qualche g/l a meno di 1 mg/l) 	<ul style="list-style-type: none"> • Tendenza alla formazione di emissioni gassose (ad esempio, nel trattamento del solfuro si può avere la formazione di idrogeno solforato) • Le tipologie di sostanze inorganiche trattabili sono limitate • Può essere necessario rivestire il reattore con appositi materiali resistenti alla corrosione ed alla pressione

D.2.2.9 Strippaggio con aria

Lo strippaggio con aria è un processo fisico teso a rimuovere, dai rifiuti liquidi, i composti organici ed inorganici (ad esempio, ammoniaca) volatili mediante il trasferimento degli stessi dalla fase acquosa a quella gassosa. Sebbene il processo sia, in genere, favorito dalle temperature più elevate, va rilevato che i solventi clorurati, i solventi aromatici ed i triometani, possono essere estratti anche a temperatura ambiente.

Dati operativi

Lo strippaggio con aria può essere realizzato in bacini aerati, ma le applicazioni più comuni prevedono l'utilizzo di colonne operanti a pressione atmosferica, contenenti opportuni corpi di riempimento. Il principale problema gestionale è rappresentato dal progressivo accumulo di incrostazioni (ad esempio carbonato di calcio) sui corpi di riempimento. In alcuni casi, esse possono essere rimosse mediante semplice lavaggio con getto d'acqua a pressione, mentre in altri casi è necessario ricorrere ad interventi più drastici come lavaggi acidi o rimozione meccanica. Talvolta le incrostazioni sono così elevate da richiedere la sostituzione di interi elementi dell'impianto.

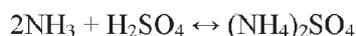
Il flusso d'aria viene di solito trattato al fine di limitare la presenza di inquinanti oppure per recuperare o ottenere prodotti chimici commercializzabili (l'ammoniaca viene, ad esempio, recuperata ed utilizzata per produrre solfato d'ammonio in un circuito chiuso; con questo sistema si elimina quasi completamente il problema delle incrostazioni).

L'efficienza del processo è strettamente correlata, oltre che alla temperatura, al rapporto liquido/gas (L/G) tra la portata di liquido da trattare e la portata di aria da utilizzare; il consumo specifico di gas varia da qualche centinaio fino ad oltre 1.000-1.200 m³ per ogni m³ di liquido da trattare. La temperatura di esercizio è compresa tra quella ambiente ed i 55-60 °C, in relazione alle caratteristiche dei componenti da strappare.

Nel caso dello strippaggio di ammoniaca in circuito chiuso la soluzione acquosa da trattare deve essere preventivamente alcalinizzata fino a pH ≈ 11,5 affinché l'equilibrio chimico, che consente la separazione, sia spostato verso sinistra:



Il flusso gassoso in uscita dalla colonna di strippaggio, ricco in ammoniaca, viene aspirato da un elettroventilatore ed inviato ad una torre di assorbimento dove l'ammoniaca viene trasferita ad una fase acida con conseguente formazione di solfato di ammonio:



Il processo richiede il monitoraggio di diversi parametri ed in particolare di:

- pH (soprattutto nel caso in cui siano presenti ammoniaca e idrogeno solforato)
- composizione e caratteristiche del flusso entrante
- pressione
- temperatura
- livello del liquido e rapporto di ricircolo

Campo di applicazione

Sostanze come solventi clorurati (cloruro di metile, tetracloroetilene, 1,1,1-tricloroetano, ecc.), solventi aromatici (come benzene, toluene, ecc.) e triometani possono essere rimosse anche a temperature ambiente; al fine di limitare i costi vengono, in genere, trattati rifiuti liquidi con concentrazioni di inquinanti inferiori a 100 mg/l, anche se tecnologicamente le efficienze di rimozione del processo possono essere elevate a concentrazioni ben superiori. Una particolare applicazione di questo principio è lo strippaggio con aria dell'ammoniaca presente in alcuni tipi di reflui industriali. Il metodo consente, infatti, di trattare soluzioni acquose con contenuto di ammoniaca anche superiore a 5-10 g/l.

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi del trattamento sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • elevata efficienza di rimozione • consente il recupero di materia • basse perdite di carico • bassi consumi di energia 	<ul style="list-style-type: none"> • in determinate condizioni (concentrazione di Fe > 5 mg/l, durezza dell'acqua > 800 mg/l) tendono a formarsi incrostazioni; è, pertanto, richiesto l'utilizzo di agenti disincrostanti • il gas proveniente dallo strippaggio deve essere trattato • sono richieste frequenti operazioni di pulizia della colonna

D.2.2.10 Distillazione/rettifica

Il processo di distillazione/rettifica consiste nella separazione dei composti più volatili da un rifiuto liquido ad elevato contenuto organico, attraverso l'ebollizione e la condensazione dei vapori ottenuti.

Le principali soluzioni impiantistiche sono la distillazione semplice, che può avvenire in batch o in continuo, e quella multipla o frazionata.

La distillazione può essere applicata efficacemente ai rifiuti contenenti sostanze organiche sufficientemente volatili da poter essere rimosse fornendo calore.

In generale, i tipici rifiuti industriali trattati per distillazione sono i liquidi organici, inclusi i solventi e ed i composti alogenati.

La distillazione semplice, se condotta "a film sottile", permette di trattare solventi di scarto provenienti dall'industria chimica, della plastica, elettronica e farmaceutica. Possono essere recuperati composti alogenati e non, nonché alcoli, chetoni, esteri, glicoli, eteri, idrocarburi aromatici, nafta, freon. Possono essere, inoltre, trattati fondami, oli lubrificanti di scarto, pigmenti e coloranti.

A differenza dei sistemi batch, caratterizzati da maggior elasticità, quelli in continuo devono essere alimentati con reflui a bassissimo contenuto di solidi, per evitare la formazione di incrostazioni che possono danneggiare il sistema.

Dati operativi

Le percentuali di abbattimento ed i livelli di emissione conseguibili per alcuni composti mediante il processo di distillazione/rettifica sono:

Parametro	Percentuale di abbattimento (%)	Livello di emissione (mg/l)	Concentrazione nell'alimentazione (g/l)
Fenoli	96	2.000	50
Metanolo	97,5	2.000	80
Epicloroidrina	90	700	7
Anilina	97,5	100	4
Clorobenzene	90	10	0,1

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Limiti di utilizzo:

	Limiti/restrizioni
Concentrazione del rifiuto liquido in ingresso al trattamento	È necessario che la concentrazione sia sufficientemente elevata affinché il processo di distillazione sia economicamente fattibile
Temperatura di ebollizione	Vi deve essere una sufficiente differenza tra la temperatura di ebollizione del reflu e quella dei contaminanti; le miscele azeotropiche, affinché possa essere condotto il processo di distillazione, necessitano di additivi

L'input deve essere costantemente monitorato al fine di impedire l'ingresso di composti solidi indesiderati che potrebbero interferire nel processo o danneggiare l'impianto. È, inoltre, richiesta una continua manutenzione per prevenire la perdita di solventi nell'ambiente.

Campo di applicazione

La distillazione/rettifica dei rifiuti liquidi ha un campo di applicazione abbastanza limitato; essa è in genere utilizzata nel:

- recupero di solventi dopo l'operazione di estrazione;
- recupero di solventi nei processi produttivi (ad es., separazione di alcol nella produzione di metil-cellulosa);
- trattamento delle emulsioni;
- pretrattamento di acque reflue per la rimozione dei principali contaminanti;
- recupero di composti organici dai residui liquidi derivanti dallo scrubber ("scrubbing liquors")

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi del processo di distillazione/rettifica sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • Consente il recupero di materia • Consente di rimuovere composti organici bio-refrattari e/o tossici 	<ul style="list-style-type: none"> • I rifiuti derivanti dal processo devono essere smaltiti, in genere mediante incenerimento • Elevati consumi di energia • Campo di applicazione abbastanza limitato

D.2.2.11 Evaporazione

Il processo di evaporazione sfrutta gli stessi meccanismi della distillazione (ebollizione di una fase liquida e condensazione dei vapori ottenuti) ma si applica quando la tensione di vapore dei componenti presenti in una soluzione, in genere acquosa, è molto minore rispetto a quella del solvente (acqua).

Esso si realizza fornendo energia termica alla soluzione acquosa, che viene portata all'ebollizione in modo da provocare una parziale vaporizzazione dell'acqua e nel contempo produrre una fase concentrata ricca di componenti "non volatili".

L'evaporazione avviene, di solito, in evaporatori "a circolazione naturale" e può essere provocata dai moti indotti dalla sola ebollizione, o per mezzo di circolazione forzata (con maggiori costi di esercizio), in cui la velocità e la turbolenza sono incrementate mediante l'utilizzo di una pompa di circolazione. Queste condizioni sono particolarmente utili nel caso vi sia pericolo di depositi e incrostazioni sulla superficie di scambio termico. Altre tipologie di evaporatori sono: STV (Short Tube Vertical) o "Calandria", evaporatori Basket Type, evaporatori a film cadente, evaporatori a film sottile agitato.

L'evaporazione è stata per lungo tempo associata ad elevati consumi energetici ma i notevoli sviluppi apportati a questa tecnologia hanno incrementato la sua efficienza termica in modo considerevole. Tra le molteplici possibilità attualmente a disposizione basta citare l'evaporazione sotto vuoto, il "multiplo effetto", che utilizza come fluido riscaldante il vapore prodotto in altri evaporatori e la termocompressione, che consente di riutilizzare il vapore, opportunamente compresso, nello stesso evaporatore in cui è prodotto.

Le applicazioni di questa tecnologia sono abbastanza vaste poiché la fase condensata presenta la quasi completa assenza di sostanze solide sospese e di sostanze non volatili (sali, metalli) e la fase concentrata (rifiuto da smaltire) subisce una drastica riduzione di volume, con evidenti benefici per i costi di smaltimento. Molte sono le analogie con i processi a membrana che, al fine di pervenire ad una elevata concentrazione della fase liquida da smaltire, possono essere efficacemente integrati dal processo di evaporazione.

Dati operativi

Il processo prevede, in genere, l'utilizzo di più unità poste in serie in cui il calore di condensazione di uno stadio viene utilizzato per riscaldare il condensato (ad esempio, il reflu) proveniente dallo stadio precedente. Normalmente si opera a pressioni intorno ai 12-20 kPa e a temperature comprese tra i 50 ed i 60 °C.

Qualora il processo sia attuato al fine di consentire il recupero di materia, è necessario ricorrere ad operazioni preliminari al trattamento di evaporazione tra cui, ad esempio:

- aggiunta di acidi, basi, ecc., al fine di ridurre la volatilità dei composti molecolari
- separazione di fasi liquide insolubili (ad es. separazione olio/acqua)
- separazione chimico-fisica dei metalli pesanti e/o di altri solidi

Il concentrato, se non è avviato a riciclaggio, deve essere ulteriormente trattato e opportunamente smaltito, ad esempio mediante incenerimento.

Il trattamento offre elevate prestazioni con performance di rimozione dell'ordine del 99%, ma richiede costanti interventi di manutenzione per evitare la formazione di incrostazioni, intasamenti e fenomeni di corrosione che ostacolano la trasmissione di calore al liquido, riducendo l'efficienza energetica. È, inoltre, richiesto un monitoraggio in continuo dei contaminanti o di parametri surrogati quali, ad esempio, TOC, pH, conducibilità, ecc.

I principali limiti di utilizzo sono:

	Limiti/restrizioni
Incrostazioni	Gli scambiatori di calore tendono a formare incrostazioni
Corrosione	Vulnerabilità alle sostanze corrosive
Sostanze	La formazione di schiume, colloidali e la presenza di particelle sospese disturba il processo; evaporazione di composti organici ed inorganici volatili

Campo di applicazione

Il processo di evaporazione viene, generalmente, utilizzato:

- per la concentrazione dei “mother liquors” e dei liquidi derivanti dal trattamento dei gas al fine di riciclare sostanze di valore;
- per l’evaporazione e la cristallizzazione dei solidi, sia ai fini del loro recupero sia per la depurazione del rifiuto liquido;
- come pretrattamento finalizzato alla concentrazione del rifiuto.

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi del processo di evaporazione sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • Consente il recupero di materia • Consente di rimuovere composti organici bio-refrattari e/o tossici • Consente di ridurre il volume del rifiuto liquido, con conseguenti benefici nelle successive fasi di gestione dello stesso • La fase condensata presenta la quasi totale assenza di sostanze solide sospese e di sostanze non volatili • Consente di ridurre il quantitativo ed il volume dei rifiuti pericolosi 	<ul style="list-style-type: none"> • I rifiuti derivanti dal processo devono essere smaltiti, qualora non riciclabili, in genere mediante incenerimento • Elevati consumi di energia • Possibile rilascio di composti volatili in atmosfera o contaminazione del condensato • Il processo è soggetto a fenomeni di incrostazione, corrosione e formazione di schiume

D.2.2.12 Estrazione con solvente

Per estrazione si intende quel processo finalizzato alla separazione di composti solubili da un rifiuto acquoso mediante il loro trasferimento in un solvente totalmente immiscibile o scarsamente miscibile con l’acqua. A tale fine un solvente dovrebbe:

- presentare bassa solubilità e miscibilità in acqua (ad es. toluene, pentano ed esano)
- avere maggiore capacità di disciogliere il contaminante rispetto all’acqua
- essere facilmente separabile dall’acqua, ad esempio, grazie ad una elevata differenza di densità
- essere facilmente separabile dai composti estratti, ad esempio, grazie ad un basso punto di vaporizzazione
- presentare bassa tossicità
- avere buona stabilità termica

Dati operativi

L'estrazione viene effettuata in apposite colonne dove il rifiuto liquido viene posto a contatto con il solvente estraente in diversi modi:

- in contro-corrente
- mediante l'utilizzo di miscelatori-sedimentatori
- mediante l'utilizzo di colonne a piatti forati o colonne impaccate
- ecc.

La fase di estrazione è seguita dall'operazione di separazione liquido/liquido e dalla distillazione del solvente. Il rifiuto liquido trattato deve essere, in genere, sottoposto ad un ulteriore trattamento per la rimozione della frazione residua dell'estraente (ad esempio, mediante strippaggio o adsorbimento su carbone attivo).

Applicabilità e limiti di utilizzo:

	Limiti e restrizioni
Solidi sospesi	Nel rifiuto liquido non dovrebbero essere presenti solidi sospesi e/o emulsioni
Solvente	La perdita di solvente causa un incremento dei costi ed un impatto ambientale; la rigenerazione del solvente può risultare molto complessa ed onerosa.

Campo di applicazione

L'estrazione con solvente viene utilizzata per la rimozione di diversi contaminanti organici e complessi metallici da soluzioni non eccessivamente diluite. A basse concentrazioni l'estrazione non è competitiva rispetto all'adsorbimento o al trattamento biologico.

Esempi di applicazioni sono:

- rimozione dei fenoli
- riciclaggio di metalli (ad es. Zn)
- riciclaggio di sostanze da acque madri
- rimozione degli esteri dell'acido fosforico
- rimozione di composti aromatici clorurati

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi del processo di estrazione con solvente sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • consente la rimozione ed il riciclaggio di composti organici bio-refrattari e/o tossici e di alcuni metalli 	<ul style="list-style-type: none"> • i rifiuti dal trattamento devono essere smaltiti (ad esempio, mediante incenerimento) • utilizzo limitato (fortemente influenzato dalle proprietà del solvente) • tecnica non competitiva, rispetto all'adsorbimento ed al trattamento biologico, a basse concentrazioni di contaminanti

D.3 Trattamenti biologici dei rifiuti liquidi

I composti organici biodegradabili vengono comunemente avviati a trattamento biologico aerobico o anaerobico. In generale, la biodegradabilità di un rifiuto liquido può essere stimata sulla base del rapporto BOD/COD; valori inferiori a 0,2 sono caratteristici di un rifiuto liquido relativamente non

biodegradabile, mentre valori compresi tra 0,2 e 0,4 individuano un rifiuto moderatamente biodegradabile e valori maggiori di 0,4 un rifiuto contraddistinto da una buona biodegradabilità.

Lo schema impiantistico più diffuso è quello a fanghi attivi che è costituito, nei suoi elementi essenziali, da una vasca aerata, un chiarificatore, una linea di ricircolo dei fanghi e una linea di trattamento dei fanghi estratti, che nel caso delle piattaforme si riduce generalmente a un semplice comparto di disidratazione. Esistono anche soluzioni impiantistiche più compatte come i reattori batch sequenziali (SBR, Sequencing Batch Reactor), nei quali le fasi di aerazione e sedimentazione avvengono in sequenza temporale in un medesimo bacino.

Per quanto riguarda gli aspetti processistici di tali trattamenti e di altri processi aerobici ed anaerobici di minore diffusione ma di consolidata applicazione in campo ambientale, quali lagune aerate, filtri percolatori, biodischi o biorulli, UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor), filtri anaerobici, digestori anaerobici e lagune coperte, si rimanda alla letteratura specializzata.

La valutazione della convenienza del trattamento biologico dei rifiuti liquidi si basa fundamentalmente sulla biodegradabilità degli stessi, capacità che risulta nota per molti composti ma che per altri deve essere valutata mediante apposite prove di laboratorio.

I trattamenti biologici che abitualmente riguardano l'ossidazione, la nitrificazione e la denitrificazione, possono essere realizzati con modalità impiantistiche differenti e possono essere in continuo o no, con biomassa sospesa, adesa oppure prevedere entrambi i sistemi.

L'ossidazione inoltre può avvenire mediante l'insufflazione di aria atmosferica o ossigeno puro o una miscela dei due, in impianti coperti o aperti, anche riscaldati.

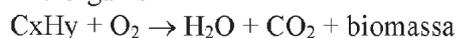
I trattamenti biologici richiedono una certa attenzione in fase gestionale in quanto si basano su cinetiche batteriche e non seguono quindi precise reazioni stechiometriche ma risultano, nel complesso, molto più economici rispetto ai processi chimici; è, comunque, spesso necessario ricorrere alla combinazione delle due tipologie di trattamento. Infatti, bisogna tenere in considerazione che:

- il trattamento biologico può non essere immediatamente applicabile per le sostanze che a priori (ad esempio, per provenienza) dovrebbero risultare biodegradabili, a causa della presenza di sostanze tossiche o inibenti l'attività biologica;
- l'assenza, nei reflui contenenti sostanza organica biodegradabile, di alcune sostanze (nutrienti) richiede una necessaria miscelazione con altri reflui (o un'aggiunta di nutrienti sotto forma di composti specifici) o rende i reflui utilizzabili per particolari processi (per esempio come fonte esterna di carbonio da utilizzare nella fase di denitrificazione);
- un'apparente non trattabilità biologica può essere superata mediante semplici pretrattamenti chimico-fisici;
- il trattamento biologico può precedere o seguire un trattamento chimico-fisico a seconda della tipologia dei reflui da trattare, tenendo presente che per ossidare materiale biodegradabile è più conveniente utilizzare l'ossidazione biologica, che, peraltro, esclude l'aggiunta di sostanze chimiche.

D.3.1 Trattamenti aerobici

I processi aerobici si basano sullo sviluppo di microrganismi aerobi o facoltativi (batteri, funghi, protozoi, alghe, ecc.) che decompongono gli inquinanti organici e inorganici non metallici in composti più semplici (acqua, CO₂, nitrati, solfati, fosfati, composti organici a basso peso molecolare) portando alla formazione di nuova biomassa. Un processo di biodegradazione aerobica può essere rappresentato dalla seguente equazione:

microrganismi



nutrienti

Durante il processo si perviene ad un accumulo di biomassa (fango) che deve essere periodicamente asportata (e smaltita) perché si mantenga l'equilibrio del sistema.

Come in precedenza accennato, il processo di tipo aerobico più utilizzato è quello definito a fanghi attivi. In tale processo i reflui entrano nel bacino di aerazione dove i microrganismi in sospensione aggrediscono gli inquinanti presenti nelle acque da trattare. L'ossigeno è fornito tramite aerazione meccanica (turbine) o tramite un sistema di insufflazione (di aria od ossigeno puro). L'agitazione provocata da questi sistemi consente anche di mantenere in sospensione la biomassa.

La miscela aerata ("mixed-liquor") passa poi al chiarificatore dove i fanghi vengono separati dall'acqua ormai depurata.

Parte della biomassa viene ricircolata nel bacino di aerazione, mentre la rimanente (fango di supero) viene estratta, mandata alla linea fanghi e smaltita come rifiuto nel rispetto delle normative vigenti.

Il processo a fanghi attivi viene attuato attraverso alcune tecniche impiantisticamente ampiamente consolidate:

- il sistema a plug flow, che usa bacini di ossidazione lunghi e stretti, per fornire una miscelazione tipica dei sistemi a pistone
- il sistema a miscelazione completa, nel quale la portata influente costituita dai liquami e dai fanghi di ricircolo viene distribuita in più punti della vasca di aerazione, per agevolare una rapida miscelazione della portata influente con tutta la biomassa contenuta nel reattore
- il sistema ad aerazione prolungata, che utilizza tempi di ritenzione idraulica elevati (18÷24 ore) e bassi rapporti di carico del fango, corrispondenti ad elevate età del fango
- i sistemi con aerazione e decantazione intermittenti, nei quali in un unico bacino vengono attuate sia la fase di ossidazione biologica, che quella di sedimentazione. Un tipico sistema di questo tipo è rappresentato dal SBR, particolarmente adatto alla rimozione di sostanze biorecalcitranti
- il sistema di trattamento a fanghi attivi, con l'impiego di ossigeno puro

Esistono anche processi biologici a biomassa adesa che consentono soluzioni impiantistiche più compatte e adatte a rifiuti liquidi dotati di alto carico, nei quali la biomassa si sviluppa su di un supporto fisso. I principali sistemi a colture adese sono rappresentati da: filtri percolatori, rotori biologici e filtri biologici sommersi.

La linea di trattamento dei fanghi di supero, in funzione dello smaltimento finale, può essere costituita semplicemente da una disidratazione meccanica (in genere con filtropressa o nastropressa) oppure può prevedere diverse fasi di trattamento aggiuntive, quali ad esempio: digestione aerobica o anaerobica, condizionamento chimico, ispessimento, essiccamento termico, combustione.

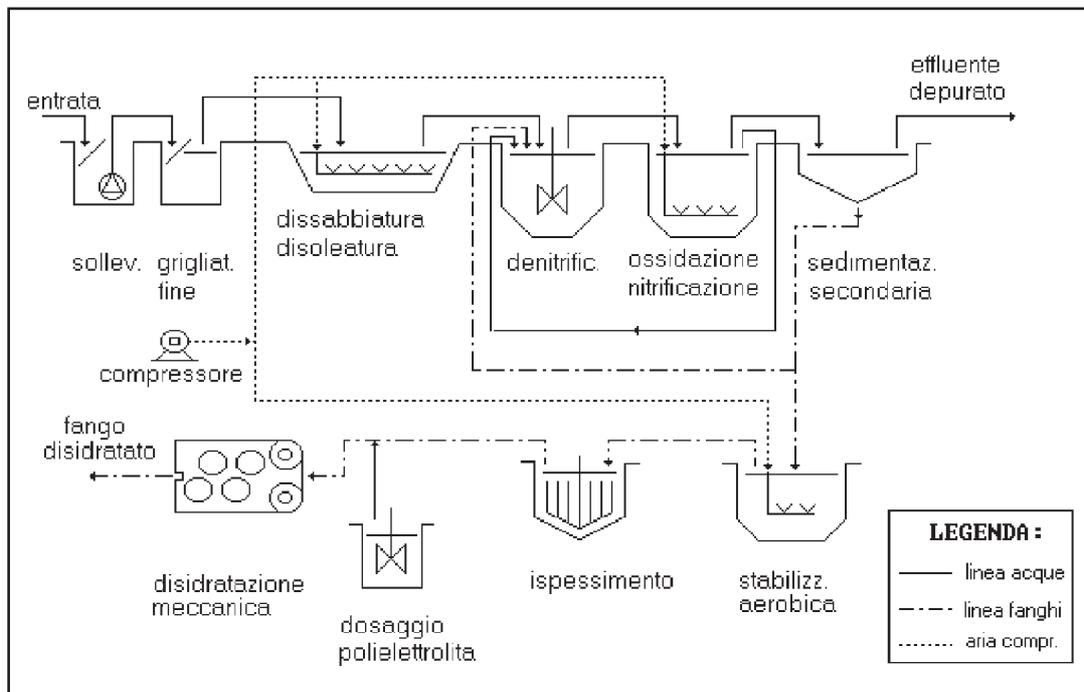
In generale, il processo a fanghi attivi è inserito in schemi di trattamento più complessi, dove ogni fase è deputata alla rimozione di particolari inquinanti. E' anche possibile dosare carbone attivo in polvere nella vasca di ossidazione per rimuovere composti non facilmente biodegradabili e sostanze tossiche per la biomassa.

Al fine di ottenere la rimozione biologica dei nutrienti (azoto e fosforo), il processo a fanghi attivi può essere realizzato in diverse configurazioni comprendenti anche fasi anossiche e/o anaerobiche.

In particolare, per la rimozione dell'azoto lo schema di processo comprende una fase aerata a basso carico per consentire l'adeguato sviluppo della flora batterica che è in grado di ossidare l'azoto ammoniacale ad azoto nitrico, ed una fase anossica nella quale alcuni ceppi batterici facoltativi riducono l'azoto nitrico ad azoto gassoso; in tale fase, poiché i batteri responsabili della denitrificazione necessitano, per svilupparsi, di essere alimentati, occorre aggiungere composti organici facilmente biodegradabili.

In alternativa, lo schema di processo di molti impianti, come quello indicato nella figura, prevede che la fase di denitrificazione preceda la nitrificazione, per cui il trattamento di denitrificazione viene condotto solo sul flusso di ricircolo del refluo prelevato a valle della ossidazione e del fango

dal decantatore finale. La rimozione del fosforo può avvenire per via chimica o biologica. La prima comprende l'impiego di reattivi chimici che inducono la formazione di composti insolubili da separare nella decantazione finale, la seconda viene condotta nei tipici processi a fanghi attivi ed ha un rendimento pari a circa il 30% (rendimenti maggiori possono essere ottenuti inserendo in modo opportuno nello schema di processo una fase anaerobica). Per ulteriori dettagli sui trattamenti biologici di rimozione dell'azoto e del fosforo si vedano i successivi capitoli F e G.



Dati operativi

I parametri che condizionano il rendimento dei tipici processi biologici a fanghi attivi sono i seguenti:

- fattore di carico organico del fango F_c [$\text{kgBOD}/\text{kgSS} \times \text{giorno}$], ovvero carico di BOD per kg di biomassa per giorno. Il valore corretto dipende dal dimensionamento dell'impianto e quindi dagli obiettivi da raggiungere. Per una efficiente ossidazione dell'azoto ammoniacale, anche a temperature relativamente basse, occorrerebbe lavorare in condizioni abitualmente definite di "aerazione prolungata" con $F_c < 0,2 \text{ kg BOD}/\text{kg SS} \times \text{giorno}$. Valori superiori, fino a circa $0,8 - 1 \text{ kg BOD}/\text{kg SS} \times \text{giorno}$, sono associati a varie configurazioni impiantistiche che consentono di rimuovere almeno le sostanze organiche.
- SS (solidi sospesi totali nella miscela aerata) [g/l] e/o [% di SS]. Questi due parametri forniscono una stima grossolana della concentrazione della biomassa batterica attiva presente nel reattore biologico dell'impianto, ovvero della quantità di batteri in grado di operare i processi di trattamento biologici. Mediamente nei processi a fanghi attivi si utilizzano valori di SS compresi tra 3 e 4 g/l , anche se in condizioni specifiche può essere necessario mantenere valori più bassi o più elevati. I limiti inferiore e superiore dipendono dalla specifica configurazione impiantistica, dalla portata e della concentrazione dei liquami da trattare. Per esempio, valori troppo elevati possono peggiorare il rendimento del decantatore finale e quindi causare l'aumento della concentrazione dei solidi sospesi nell'effluente. Il valore dei VSS è mediamente compreso tra il 60 ed il 70 % del valore degli SS. I valori più bassi sono indice di una maggiore mineralizzazione del fango e corrispondono a bassi valori di F_c .

- Ossigeno disciolto [mg/l]. Per la respirazione dei batteri aerobi è necessario fornire ossigeno. Normalmente si mantengono concentrazioni comprese tra 1,5 e 3 mg/l. Valori superiori non sono convenienti in quanto non consentono apprezzabili miglioramenti in termini di velocità della reazione o di rendimento. In presenza di situazioni particolari della flora batterica, con sviluppo predominante di fiocchi leggeri o di specifici ceppi di batteri filamentosi, è possibile, o necessario, mantenere valori anche inferiori.
- Temperatura [°C]. Tutti i processi biochimici sono influenzati dalla temperatura. In generale i processi a fanghi attivi forniscono il loro rendimento ottimale a temperature comprese tra 20 e 30 °C. Valori superiori favoriscono lo sviluppo di ceppi di microrganismi specializzati che spesso danno origine a effetti collaterali indesiderati, con sviluppo di schiume ecc.. Valori inferiori a 8 – 10 °C rallentano eccessivamente, o fermano, i processi di ossidazione dell'ammoniaca, mentre sotto i 5 °C si ha l'arresto quasi completo dell'attività biologica.
- Nutrienti. La biomassa presente nel processo a fanghi attivi necessita di azoto e fosforo per attuare la sintesi cellulare, i processi metabolici e la rimozione dei composti organici. Oltre a questi nutrienti è necessaria la presenza in tracce di altri nutrienti per assicurare una buona formazione dei fiocchi batterici. Le condizioni con carenza di nutrienti stimolano la crescita di microrganismi filamentosi. L'azoto nei liquami è disponibile per la biomassa come ammonio o come nitrato; l'azoto organico, presente nelle acque di scarico sotto forma di proteine o aminoacidi, viene, infatti, idrolizzato mediante meccanismi enzimatici, con formazione di ammonio. La velocità di rimozione dei composti organici, con ammonio come fonte di azoto, è più elevata rispetto a quella rilevata con l'impiego di nitrato come fonte di azoto. Il fosforo deve essere presente nei reflui in forma di ortofosfato solubile, affinché possa essere assimilato dalla biomassa. Il fosforo presente sotto forma di complessi inorganici, oppure legato a substrati organici, per essere disponibile per l'assimilazione deve essere preventivamente bioidrolizzato ad ortofosfato. Generalmente viene assunta la regola che per la rimozione ottimale del BOD il rapporto di massa tra i vari nutrienti debba essere di 100:5:1 (BOD:N:P). Un rapporto più elevato (ad esempio 150:5:1) comporta una riduzione della velocità di rimozione del BOD e promuove la formazione di batteri filamentosi. Nei processi in continuo la quantità di azoto e fosforo richiesta dal sistema dipende dalla crescita cellulare ovvero dalla produzione di fango. Il contenuto di azoto nei fanghi biologici, dove la quantità di azoto non è un fattore limitante, risulta pari a circa il 12,3% in peso, calcolato sui solidi sospesi volatili. Il contenuto di azoto nei fanghi diminuisce quando il fango è posto in condizioni endogene, e l'azoto rappresenta un fattore limitante la crescita batterica. Infatti il contenuto di azoto nella massa cellulare non biodegradabile scende a valori del 7%. Analogamente il contenuto di fosforo nel fango in condizioni non limitanti la crescita della biomassa è pari al 2,6 % in peso, calcolato sui solidi sospesi volatili; questo valore nella massa cellulare non biodegradabile scende all'1%.

Campo di applicazione

I trattamenti aerobici sono normalmente applicati a reflui contenenti sostanze organiche biodegradabili e alcuni inquinanti inorganici non metallici come solfuri e cianuri; non si esclude, comunque, il loro impiego anche in presenza di composti complessi.

Il trattamento biologico di sostanze organiche poco biodegradabili e, talvolta, tossiche è effettuabile solo attraverso una accurata selezione e acclimatamento della biomassa; ciò presuppone una alimentazione costante di dette sostanze sia in termini qualitativi che in termini quantitativi (procedura adottata nel caso, ad esempio, di scarichi industriali di qualità costante). In tali situazioni, se sono presenti sostanze poco degradabili e/o tossiche in concentrazioni non troppo elevate, possono svilupparsi microrganismi in grado di aggredirle e demolirle.

In ogni caso i rifiuti liquidi devono essere preventivamente caratterizzati per determinare le concentrazioni di composti che possono essere inibenti o tossici per l'attività della biomassa. Tra questi si possono includere metalli pesanti, sali disciolti, solfuri, oli e grassi, alcuni composti organici volatili (COV) e semivolatili (SCOV).

La presenza di metalli comporta una serie di problemi, quali:

- incremento della tossicità dell'effluente
- concentrazioni limite permesse allo scarico molto basse
- fenomeni di bioconcentrazione che possono portare ad elevati livelli di metalli nel fango stabilizzato con limitazioni allo smaltimento finale del fango stesso e che normalmente impongono un pretrattamento chimico-fisico del rifiuto liquido.

I metalli ed i cianuri, se in concentrazioni accettabili, possono però essere rimossi anche mediante il processo a fanghi attivi attraverso i seguenti meccanismi di rimozione:

- intrappolamento dei metalli precipitati nella matrice dei fiocchi batterici
- legame dei metalli solubili con polimeri extracellulari generati dai batteri (la produzione di polimeri extracellulari è funzione dell'età del fango)
- accumulo dei metalli all'interno delle cellule batteriche
- biodegradazione e volatilizzazione dei cianuri in funzione del tempo di ritenzione dei solidi e dell'aerazione.

Nei processi a fanghi attivi l'accumulo di metalli nel fango aumenta al crescere del tempo di ritenzione dei solidi. La rimozione dei metalli dovrebbe essere, pertanto, attuata prima dell'invio del rifiuto liquido al trattamento a fanghi attivi.

Nel caso di trattamento combinato di reflui industriali e reflui civili, in impianti a fanghi attivi, vanno considerati i seguenti aspetti:

- effetto sulla qualità del fango. I reflui rapidamente biodegradabili stimolano la crescita di filamentosi, mentre quelli lentamente degradabili frequentemente ne sopprimono la crescita. I liquami civili in sé, sono soggetti allo sviluppo di bulking filamentoso nei fanghi biologici; l'aggiunta di un refluo con substrati rapidamente degradabili incrementa ulteriormente il potenziale sviluppo di filamentosi, pertanto in questi casi sarebbe utile l'uso di un selettore biologico o di una configurazione a plug-flow
- Bioinibizione e tossicità. Molti rifiuti liquidi o reflui industriali inibiscono il processo a fanghi attivi ed, in particolar modo, la fase di nitrificazione. Essi, inoltre, possono essere fonte di potenziale tossicità per il corpo idrico recettore se gli eventuali composti tossici passano attraverso il trattamento a fanghi attivi senza subire alcuna demolizione. È, pertanto, necessario che le caratteristiche dei rifiuti liquidi o dei reflui industriali siano attentamente valutate al fine di verificarne la compatibilità con il processo di trattamento biologico a fanghi attivi
- Fabbisogno di nutrienti (azoto e fosforo). Poiché alcuni scarichi industriali presentano uno squilibrio nel rapporto tra i nutrienti BOD:N:P è necessario verificare con frequenza le determinazioni analitiche dei parametri correlati, ed eventualmente provvedere a ristabilire i corretti rapporti mediante un opportuno bilanciamento dei flussi.

Poiché la biomassa preposta ai processi biologici di trattamento è normalmente costituita da un insieme di parecchi ceppi batterici ed altri microrganismi, il cui sviluppo è depresso o agevolato dalle specifiche condizioni ambientali mantenute nell'impianto, possono divenire predominanti ceppi batterici aventi caratteristiche indesiderate, quale un peso specifico molto basso e la marcata propensione allo sviluppo di schiume biologiche sulla superficie dei reattori o dei decantatori finali.

In generale uno dei punti più critici del processo è proprio la fase di separazione dell'acqua trattata dai fanghi nella sedimentazione finale, a causa della ridotta differenza di peso specifico, per cui è frequente il problema della presenza eccessiva di solidi sospesi nell'effluente.

Molte sostanze organiche sintetiche sono scarsamente biodegradabili per cui il rendimento di rimozione di tali composti può essere inadeguato. In questi casi è possibile migliorare il rendimento ricorrendo a valori molto bassi del fattore di carico organico, a ceppi batterici selezionati o a lunghi periodi di condizionamento della flora batterica al fine di selezionare i ceppi più efficaci.

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi del trattamento biologico aerobico sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • consente di ridurre il contenuto di sostanze organiche e di alcuni elementi (azoto e fosforo) • consente di trattare elevati volumi di rifiuti liquidi a costi contenuti • comporta, in genere, minori impatti ambientali rispetto agli altri trattamenti • efficienza energetica relativamente elevata rispetto ai sistemi di trattamento chimico-fisico (l'energia è in gran parte prodotta dal metabolismo microbico) • degradazione di composti pericolosi in sostanze meno pericolose 	<ul style="list-style-type: none"> • produzione elevati quantitativi di fanghi, che necessitano di adeguati trattamenti per un idoneo recupero e/o smaltimento • rimozione limitata di sostanze scarsamente biodegradabili • costi impiantistici • elevata sensibilità ai composti tossici ed inibenti

D.3.2 Trattamenti anaerobici

Nei processi biologici anaerobici, microrganismi di vario genere (batteri, protozoi, funghi, ecc.), anaerobi o facoltativi, degradano molecole organiche complesse in assenza di ossigeno libero trasformandole, attraverso passaggi successivi, in prodotti più semplici (principalmente anidride carbonica e metano). Il processo biologico anaerobico può essere così descritto:

microrganismi



nutrienti

L'energia necessaria alla vita della biomassa viene ricavata dalle sostanze organiche. Il processo è catalizzato da enzimi e avviene se è mantenuta una idonea popolazione di microrganismi, ben bilanciata in funzione delle particolari condizioni ambientali.

Poiché i microrganismi utilizzano, come accettore di elettroni, l'ossigeno chimicamente legato ad altri elementi (ad esempio nitrati, fosfati o solfati) si ha produzione di composti di riduzione quali ammoniaca, fosfina e idrogeno solforato.

Più in dettaglio, la digestione anaerobica, supponendo di operare in discontinuo, passa attraverso tre fasi:

- 1) fase idrolitica: batteri anaerobi facoltativi scindono le sostanze organiche complesse (polisaccaridi, proteine, grassi) in sostanze più semplici (rispettivamente carboidrati semplici, aminoacidi, acidi grassi e glicerolo)
- 2) fase di fermentazione acida: le sostanze organiche formatesi precedentemente vengono in buona parte degradate e trasformate in sostanze a basso peso molecolare, per lo più acidi organici volatili costituiti per quasi l'80% da acido acetico, acido butirrico, acido propionico, nonché ammoniaca, mercaptani, idrogeno solforato, anidride carbonica, idrogeno, ecc.
- 3) fase di metanogenesi: in questa fase i microrganismi metanogeni utilizzano come substrato i prodotti della fase precedente per produrre metano ed anidride carbonica. La produzione di metano avviene, essenzialmente, attraverso due processi:
 - metanogenesi ad opera di batteri idrogenofili che operano l'ossidazione anaerobica dell'idrogeno

- metanogenesi ad opera di batteri acetoclasti che effettuano la dismutazione anaerobica dell'acido acetico con formazione di metano ed anidride carbonica.

Il processo richiede tempi lunghi, in quanto i microrganismi metanogeni sono inizialmente presenti in numero molto limitato; essi inoltre sono anaerobi obbligati, per cui anche la minima presenza di ossigeno può impedirne lo sviluppo. Infine, la loro velocità di crescita è inferiore a quella dei fornitori di acidi. In certi casi, per un controllo del processo, occorre utilizzare correttori di pH, poiché i microrganismi metanogeni, pur nutrendosi di acidi, sono inibiti da condizioni di pH troppo basso.

In realtà, operando in continuo (come frequentemente avviene), le tre fasi coesistono e per mantenere il delicato equilibrio tra la fase metanigena e quella di produzione degli acidi volatili occorre tenere il processo sotto stretto controllo.

Per velocizzare il processo si ricorre, di solito, al riscaldamento del reattore. Infatti, a seconda della temperatura a cui si opera, si sviluppano differenti ceppi batterici, ognuno dei quali ha poi un ristretto range di temperature ottimali (psicrofili, mesofili, termofili).

Le principali soluzioni tecnologiche adottate sono le seguenti:

- digestori anaerobici convenzionali. E' il sistema più vecchio nel campo dei processi biologici anaerobici. Esistono essenzialmente due tipologie di digestori: quella (ormai in disuso) che non prevede né il riscaldamento né l'agitazione (in questo caso si forma uno strato di surnatante che va asportato ed inviato a successivo trattamento aerobico) e quella (assai più usata) che prevede l'agitazione (con mezzi meccanici o ricircolando il gas stesso prodotto dalla reazione) ed il riscaldamento del fango. Una combinazione di questi due sistemi dà luogo al cosiddetto processo a doppio stadio, in cui la funzione principale del secondo stadio è quella di separare i solidi digeriti dal surnatante
- digestori anaerobici a due fasi. Le fasi del processo di digestione (fermentazione acida e metanogenesi) avvengono in due diversi compartimenti in modo che le sostanze che inibirebbero la formazione della flora metanogena vengano idrolizzate e scomposte nel primo reattore. Solo dopo esser stato degradato a sostanze più semplici e meno tossiche il rifiuto passa al secondo reattore dove avviene la fase metanogenica, che è la più delicata
- digestori anaerobici a biomassa adesa. Le fasi del processo di digestione avvengono in digestori, usualmente riscaldati a 35-37 °C, ove la biomassa anziché svilupparsi in modo sospeso, si riproduce in forma adesa su materiale di riempimento. Questi impianti, caratterizzati da minori volumi e velocità di digestione elevate, sono particolarmente indicati per reflui con pochi materiali in sospensione.

Dati operativi

Si elencano alcuni dei principali parametri che condizionano il funzionamento dei digestori anaerobici:

- pH. Come già indicato i batteri metanogeni sono inibiti dall'acidità, per cui può essere necessario, specialmente in fase di avviamento, intervenire aggiungendo calce o altri composti basici.
- Temperatura [°C]. In funzione della temperatura si selezionano diversi ceppi batterici e si ottengono diverse velocità di reazione:
 - gli impianti a basso carico sono senza riscaldamento, per cui il dimensionamento deve tenere conto di temperature minime di 8 – 10 °C
 - gli impianti a medio ed alto carico sono riscaldati a temperature comprese tra 30 e 38 °C (zona mesofila). Si può, in tal modo, ottenere una riduzione di circa il 50 % del tenore di sostanze organiche volatili in un tempo di circa 20 giorni

- per gli impianti riscaldati a circa 60 °C (zona detta termofila) possono bastare età del fango di circa 8 – 10 giorni.

Nel caso di trattamento di reflui scarsamente biodegradabili possono sorgere problemi indotti dai lunghi tempi di acclimatazione della biomassa (in certi casi addirittura di alcuni mesi) e dall'impossibilità di effettuare prove significative in laboratorio a causa della complessità delle reazioni che intervengono e della non omogeneità del rifiuto.

I reflui del processo sono maleodoranti per l'abbondante presenza di composti a basso stato di ossidazione come ammoniaca, idrogeno solforato, fosfina, ecc.

Alcuni di tali prodotti, in particolare l'idrogeno solforato, danno origine a fenomeni di corrosione di cui occorre tenere conto in fase di progettazione e realizzazione degli impianti, impiegando materiali idonei e proteggendo opportunamente i quadri elettrici.

La produzione di biogas con una elevata percentuale di metano può rappresentare un notevole vantaggio dal punto di vista energetico ma richiede l'adozione di appropriate misure di sicurezza al fine di prevenire la formazione di miscele esplosive.

I tipici parametri operativi e le efficienze di rimozione connesse all'applicazione dei processi anaerobici ai reflui concentranti sono:

Tipo di processo	COD influente (mg/l)	Tempo di ritenzione (ore)	Carico organico (kgCOD/m ³ giorno)		Rimozione COD (%)
			T= 15-25 °C	T= 30-35 °C	
Processo per contatto	1.500-5.000	2-10	0,5-2	2-6	75-90
UASB	5.000-15.000	4-12	1-3	3-10	75-85
Letto fisso	10.000-20.000	24-48	1-3	3-10	75-85
Letto espanso	5.000-10.000	5-10	1-4	4-10	80-85

Fonte: "Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane" – ANPA/Ministero dell' Ambiente e della Tutela del Territorio, ANPA 1/2001

Campo di applicazione

I processi anaerobici sono applicabili a molte tipologie di rifiuti liquidi e reflui industriali contenenti anche composti aromatici, ftalati, esteri, acidi organici, alcali, composti alogenati ed altre molecole complesse. Il rifiuto può essere in forma liquida o semi-solida.

Molto frequente è l'impiego dei processi anaerobici come trattamento preliminare alla depurazione biologica aerobica e per la stabilizzazione dei fanghi prodotti dai processi di depurazione. Il trattamento anaerobico offre il vantaggio di produrre limitati quantitativi di fanghi (circa il 10% in rapporto ai processi aerobici). La degradazione anaerobica porta alla produzione di una miscela gassosa di metano e anidride carbonica in un rapporto pari a circa 1:3, normalmente utilizzata come combustibile per la produzione di energia. Rispetto ai processi aerobici i consumi di energia risultano molto più ridotti, non essendo richiesto il rifornimento di ossigeno nel reattore. In generale, inoltre, i trattamenti anaerobici contribuiscono alla riduzione delle emissioni di CO₂. Va rilevato, tuttavia, che la produzione di gas combustibile (CH₄) e di metaboliti quali, ad esempio, acidi grassi volatili, rende necessario l'utilizzo di apparecchiature chiuse in grado prevenire emissioni osmogene nell'ambiente. Ciò implica, evidentemente, l'utilizzo di appositi sistemi di abbattimento delle emissioni.

Vantaggi e svantaggi

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • bassi consumi di energia, rispetto ai processi aerobici, dovuti all'assenza di sistemi di aerazione • produzione di biogas ad elevato contenuto di 	<ul style="list-style-type: none"> • elevata sensibilità ai composti tossici ed inibenti • possibile formazione di gas tossici, infiammabili ed osmogeni

Vantaggi	Svantaggi
<p>metano, con possibilità di recupero energetico</p> <ul style="list-style-type: none"> • minori rendimenti di crescita e, pertanto, minori volumi di fango rispetto al trattamento aerobico • i metalli pesanti, in presenza di solfato o composti organici solforati, vengono precipitati come solfuri • minore formazione di aerosol rispetto ai processi aerobici 	<ul style="list-style-type: none"> • processo di avviamento molto lento • richiede ulteriori trattamenti al fine di pervenire ad una sufficiente rimozione del carico organico entrante (il trattamento anaerobico porta a riduzioni del COD <85%) • possibili fenomeni di corrosione da parte di alcuni prodotti del processo (ad esempio, H₂S)

D.4 Stoccaggio rifiuti liquidi, linea fanghi e depurazione gas esausti

D.4.1 Stoccaggio rifiuti liquidi

Ogni piattaforma di trattamento di rifiuti liquidi deve disporre di un adeguato numero di serbatoi di stoccaggio ove il rifiuto è depositato finché non ne viene accertata l'effettiva trattabilità; in alternativa può essere prevista un'area in cui depositare le autocisterne.

Da un punto di vista gestionale lo stoccaggio consente, inoltre, di effettuare l'equalizzazione dei flussi in ingresso, al fine di alimentare le linee di trattamento con liquidi aventi caratteristiche qualitative ottimali; il numero dei serbatoi dovrebbe, pertanto, essere almeno pari alle linee di trattamento o alle tipologie di reflui trattati ed i serbatoi stessi dovrebbero essere dimensionati in funzione delle portate delle diverse linee.

D.4.2 Linea fanghi

La linea fanghi degli impianti di trattamento rifiuti liquidi è generalmente costituita da un comparto di disidratazione, preceduto da una o più vasche di accumulo, con funzione di stoccaggio provvisorio e omogeneizzazione dei fanghi provenienti dalla linea acque. Possono, inoltre, essere previste ulteriori fasi di trattamento quali: digestione aerobica o anaerobica, condizionamento fisico, ispessimento, essiccamento termico, combustione, ecc. (si veda, per maggiori dettagli, il capitolo F, paragrafo F.7).

La variabilità delle caratteristiche dei fanghi in ingresso può rendere necessaria una verifica delle modalità di condizionamento chimico utilizzate (andando in particolare a variare la quantità o il tipo di reattivo dosato). Un carico organico variabile nella linea acque comporta, inoltre, una differente portata di fanghi da trattare, con potenziali problemi nella gestione della fase di disidratazione.

Va, infine, rilevato che durante la fase di accumulo dei fanghi, eccessivi tempi di residenza possono comportare la formazione di processi anaerobici, con conseguente produzione ed emissione di sostanze tossiche e maleodoranti.

D.4.3 Linea depurazione gas esausti

Le diverse fasi di trattamento dei rifiuti liquidi comportano, in genere, l'emissione di gas tossici e/o maleodoranti, che devono essere, pertanto, collettati e trattati in un apposita linea di depurazione fumi.

Le principali fonti di emissioni gassose sono:

- i serbatoi di stoccaggio e le vasche di accumulo/omogeneizzazione

- i pretrattamenti meccanici, nei quali il rilascio in atmosfera di gas esausti può avvenire sia per effetto di turbolenze (ad es. nelle fasi di sollevamento e grigliatura), che per fenomeni di strippaggio (ad es. nelle fasi di dissabbiatura e disoleatura)
- i trattamenti chimico-fisici, soprattutto durante la conduzione di processi quali neutralizzazione, precipitazione e strippaggio con aria
- la linea fanghi, che può dar luogo principalmente ad emissioni maleodoranti.

Per il trattamento biologico a fanghi attivi, la produzione di odori risulta molto limitata ed essenzialmente dovuta a fenomeni di strippaggio e di aerosolizzazione delle sostanze odorose. Nel caso di aerazione insufficiente o di sovraccarico organico, si può avere la formazione, principalmente nei reattori del tipo "plug-flow", di sacche o depositi anaerobici con successivo sviluppo di odori. Nella fase di sedimentazione secondaria, si possono avere odori sgradevoli solo se il tempo di ritenzione del fango è eccessivamente lungo o nel caso di fenomeni di risalita e accumulo del fango in superficie.

Gli interventi adottati per il controllo delle emissioni gassose sono sia di natura gestionale che strutturale. I primi, tesi a prevenire o quanto meno limitare la formazione delle emissioni, consistono nel:

- rimuovere con frequenza i residui dei pretrattamenti e dei trattamenti e stoccare gli stessi in contenitori a tenuta;
- minimizzare le emissioni gassose durante i trattamenti, riducendo, dove e nei limiti del possibile, le turbolenze del flusso idrico, i fenomeni di stripping, ed evitando l'origine di reazioni che diano luogo a gas tossici;
- prevenire l'instaurarsi di condizioni anaerobiche nelle vasche di sedimentazione e nei comparti della linea fanghi.

Gli interventi strutturali consistono nel confinamento in ambienti chiusi delle principali fonti di emissione e nell'estrazione e successivo trattamento dell'aria esausta.

Gli impianti di ventilazione devono essere dimensionati con numero di ricambi orari che bilancino l'esigenza di ridurre i volumi da trattare, per minimizzare i costi d'impianto e trattamento, con la necessità di instaurare nei locali un ambiente che consenta il regolare svolgimento dell'attività lavorativa.

La depurazione degli effluenti gassosi può essere conseguita mediante trattamenti chimico-fisici (assorbimento ovvero adsorbimento) e/o biologici (biofiltri).

Durante il processo di assorbimento le sostanze gassose vengono trasferite in fase liquida in modo da ottimizzare il contatto gas liquido. La scelta del liquido di lavaggio e della configurazione delle apparecchiature è legata alle caratteristiche di solubilità dell'inquinante. Possono essere utilizzate soluzioni basiche (contenenti NaOH, Na₂CO₃), basiche ossidanti (contenenti NaClO, KMnO₄), ossidanti (O₃, H₂O₂) o acide (H₂SO₄, HCl).

Le installazioni più frequenti sono le torri di riempimento, le colonne a piatti e le camere a spruzzo.

Nell'adsorbimento le configurazioni impiantistiche più diffuse prevedono l'impiego di letti fissi di carbone attivo in colonne filtranti o in pannelli multistrato.

Nei biofiltri l'aria da trattare attraversa un letto filtrante costituito da diversi materiali (terreno, compost, torba, erica, ecc.) in strati singoli o multipli. La capacità di depurazione del biofiltro dipende in larga misura dallo sviluppo spontaneo di una popolazione microbica eterogenea (batteri, muffe e lieviti) che colonizza il materiale filtrante sviluppandosi soprattutto nell'acqua di umidificazione del biofiltro e costituendo un vero e proprio biofilm. Tra i diversi materiali di riempimento i rendimenti maggiori si ottengono con filtri a compost, a torba ed erica o combinati.

Particolare attenzione deve essere rivolta al controllo dell'umidità del supporto, al controllo del pH e alla protezione dei manufatti contro la corrosione. L'umidità del supporto è il parametro che più di ogni altro condiziona l'andamento del filtro.

E) INDIVIDUAZIONE DELLE BAT, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO, OVE DISPONIBILI, ALLE CONCLUSIONI DEI BREF COMUNITARI

E.1 Concetto generale delle migliori tecniche e tecnologie per lo specifico settore

Nel presente capitolo viene riportata una rielaborazione dei documenti predisposti in ambito comunitario per l'individuazione delle BAT. In particolare, nel paragrafo E.5 è presentata una elaborazione sviluppata facendo riferimento principalmente a due documenti europei: il "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries" ed il "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector". Il primo documento riporta una serie di informazioni in merito alle principali operazioni da condurre nei siti di trattamento dei rifiuti ed alle misure da adottare per una corretta gestione degli stessi, mentre il secondo fornisce una descrizione dettagliata delle migliori tecniche di depurazione dei reflui (nel caso specifico di quelli provenienti dall'industria chimica); queste ultime corrispondono, come precedentemente accennato, a quelle comunemente adottate nel trattamento dei rifiuti liquidi e possono, pertanto, essere ritenute valide ai fini della definizione delle migliori tecniche di trattamento degli stessi.

La maggior parte delle operazioni di trattamento individuate dai documenti comunitari (trattamenti chimico-fisici di composti non biodegradabili solubili ed insolubili e trattamenti biologici) sono già state ampiamente descritte nel precedente capitolo D, a cui, pertanto, si rimanda per eventuali approfondimenti ed integrazioni.

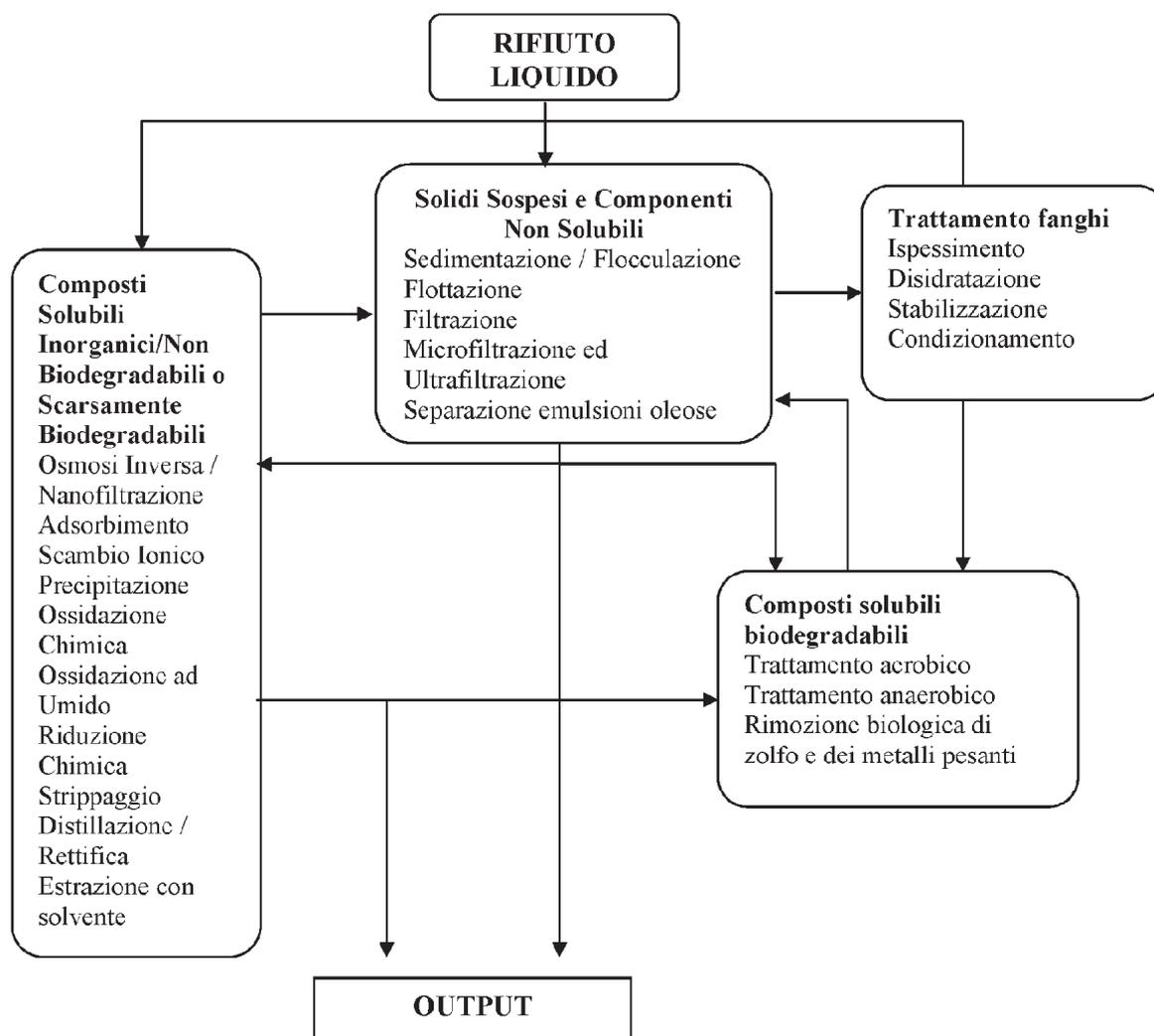
E.2 Aspetti tecnici e tecnologici dello specifico settore

Analogamente a quanto previsto per le acque reflue, anche per i rifiuti liquidi è, in genere, necessario ricorrere, al fine di pervenire alla rimozione e/o al recupero delle diverse sostanze contaminanti, alla combinazione di più operazioni di trattamento.

Alcuni impianti sono pertanto concepiti come veri e propri centri polifunzionali in grado di effettuare diverse operazioni di trattamento su più tipologie di rifiuti.

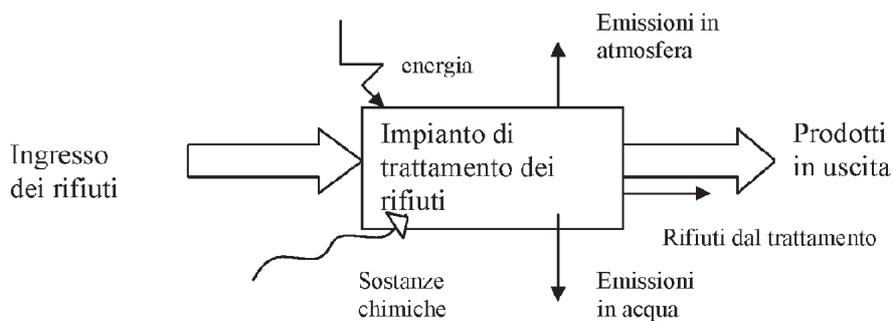
Una schematizzazione delle possibili interrelazioni esistenti tra le diverse operazioni unitarie, già dettagliatamente descritte nel precedente capitolo D, è riportata in figura E.1; per un approfondimento delle tecniche di trattamento dei fanghi e delle emissioni si rimanda, invece, al capitolo F.

Figura E.1 – Operazioni di trattamento dei rifiuti liquidi



E.3 Aspetti ambientali

Da un punto di vista ambientale qualsiasi processo di trattamento dei rifiuti, anche finalizzato al recupero energetico, deve essere sempre considerato in base allo schema seguente, in cui si mettono in evidenza ingressi e uscite di materiali ed energia e le emissioni determinate dall'attività svolta:



Al fine di analizzare gli impatti generati dal trattamento chimico-fisico dei rifiuti liquidi è opportuno prendere in esame:

- i consumi di energia e di materiali
- la produzione di rifiuti connessa all'attività di trattamento ed, in particolare, di quelli pericolosi, che richiedono particolari accorgimenti
- le emissioni in atmosfera (gas, emissioni osmogene, ecc.)
- il consumo di acqua e gli scarichi liquidi
- le emissioni di rumori
- movimentazione dei mezzi

E.3.1 Trattamenti chimico-fisici

Di seguito, nella tabella E.1, si riportano i dati relativi ai consumi di energia e di agenti chimici in impianti di trattamento chimico-fisico, tratti dal "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries". Questi dati, relativi all'anno 2001, si riferiscono ad un pool di impianti di trattamento chimico-fisico con capacità complessiva di 850 kt/a. L'età media degli impianti è di circa 17 anni (il range è compreso tra i 4 ed i 39 anni). Viene, inoltre, riportata una breve descrizione, tratta dallo stesso documento comunitario, dei consumi connessi ad alcune specifiche operazioni unitarie (precipitazione, ossidazione, adsorbimento e scambio ionico). I principali consumi connessi ai trattamenti chimico-fisici e biologici sono, invece, riportati nel successivo paragrafo E.5, tabelle E.6-E.11.

Tabella E.1: consumi dei trattamenti chimico fisico delle acque reflue

PARAMETRO	CONSUMO ANNUO* (t/a)	CONSUMO SPECIFICO* (kg/t rifiuto trattato)	CONSUMO ANNUO NEI PROCESSI INORGANICI (t/a)	CONSUMO ANNUO NEI PROCESSI ORGANICI (t/a)	CONSUMO ANNUO IMPIANTI TRATTAMENTO ACQUE REFLUE (t/a)	CONSUMO ANNUO IMPIANTI TRATTAMENTO SOLVENTI (t/a)	CONSUMO ANNUO IMPIANTI TRATTAMENTO RIFIUTI DI LABORATORIO(t/a)
Capacità media di trattamento	45.000		20.000	66.000	30.000	Solventi: 15.000 Lacche: 15.000	1.000
Consumo medio di acidi	230 ^a	5,1	HCl: 69 H ₂ SO ₄ : 48	HCl: 8 H ₃ PO ₄ : 8	HCl: 39,4		0,5
Calce	590 ^a	13,1	1.023		50		10
Agenti flocculanti	290	6,4		8	16		
Altri composti organici ^b		0,4 ÷ 3,0					
Na ₂ SO ₃			10,2		2		
Consumo idrico			759	9.900	1.788	2.700	
Consumo energetico				275 kW	369 MWh	Olio combustibile: 1.139 m ³ Elettricità: 189 MWh	
Produzione reflui			11.573	48.348	12.687		250
H ₂ O ₂			6,2				0,1
NaOCl			4,9				
Soluzioni di cloruro di ferro				118			
Ossidi di ferro					65,8		
NaOH				110			1
Carboni attivi				6			
KMnO ₄					0,4		
Additivi disaggreganti					25		

Note: Dati provenienti da impianti chimico fisico con capacità complessiva di 850 kt/a, relativi all'anno 2001. L'età media degli impianti è circa 17 anni (range 4 ÷ 39)

^a : Questi valori non comprendono i rifiuti acidi ed alcalini ricevuti e sfruttati nei processi di trattamento

^b : Agenti detossificanti, disemulsionanti, precipitanti

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"

Precipitazione/Flocculazione

I principali reagenti chimici utilizzati per le reazioni di precipitazione e flocculazione sono:

- soda caustica
- carbonato di sodio
- calce
- cloruro di ferro (II/III)
- solfato di alluminio
- solfuri

Per facilitare la formazione dei fiocchi ed incrementare le caratteristiche di sedimentabilità sono, inoltre, utilizzati appositi agenti flocculanti consistenti principalmente in polimeri non ionici, anionici o cationici ed in copolimeri di composti ionici e non ionici. Nella sottostante tabella vengono riportati i consumi teorici per diversi composti alcalini nella precipitazione di metalli pesanti. Va rilevato che tali dati si riferiscono a soluzioni pure e, nella realtà, le quantità richieste potrebbero risultare del 10-20% superiori.

Consumo teorico di composti alcalini (in grammi) per la precipitazione di 100 grammi di metallo:

Composto alcalino utilizzato per la precipitazione	Metallo da precipitare					
	Fe(II)	Fe(III)	Cu	Ni	Cr	Zn
CaO	100	150	88	96	162	86
Ca(OH) ₂	134	201	116	126	213	114
NaOH	144	216	126	136	231	122
Na ₂ CO ₃	190	285	168	181	307	162
MgO	73	110	63	69	117	62
Mg(OH) ₂	105	158	92	100	169	90

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"

Per quanto riguarda i fanghi derivanti dai processi di precipitazione sono, in genere, richiesti processi preliminari di disidratazione in funzione dei quali devono essere selezionati adeguati agenti precipitanti/flocculanti (il fango derivante da materiali contenenti alluminio, ad esempio, mostra cattive caratteristiche di disidratazione). Per maggiori dettagli sul processo di precipitazione si rimanda al precedente capitolo D.

Ossidazione/riduzione

Le reazioni di ossidazione prevedono l'utilizzo di opportuni reagenti, con conseguenti consumi degli stessi (o con consumi energetici legati alla loro produzione). I principali agenti ossidanti sono:

- Cl₂
- ipoclorito di calcio o cloro
- biossido di cloro
- ozono (consumi legati alla produzione in situ)
- perossido di idrogeno
- reattivo di Fenton

Vengono di seguito riportati i reagenti utilizzati e le condizioni di pH adottate nei processi di ossidazione e riduzione di alcuni specifici composti.

Reazione	Agente ossidante o riducente	pH	Note
Ossidazione di cianuri e nitriti	NaOCl o Cl ₂	<ul style="list-style-type: none"> Per CN ≈ 10 Per NO₂ ≈ 3 	<ul style="list-style-type: none"> Reazione relativamente veloce Contenuto relativamente elevato di sali nel refluo derivante dal processo Formazione di composti organici (AOX)
	H ₂ O ₂	<ul style="list-style-type: none"> Per CN ≈ 10, catalizzatore: sali di Fe (II) Per NO₂ ≈ 4 	Reazione relativamente lenta; trascurabile salinizzazione del refluo derivante dal processo; nessuna formazione di composti quali AOX, fanghi legata alla presenza del catalizzatore; formazione di schiume (in particolare in presenza di composti organici)
Ossidazione di nitriti	NH ₂ SO ₃ H	≈ 4	Reazione lenta; formazione di solfati e di N ₂
Riduzione di cromati	NaHSO ₃	≈ 2	Reazione veloce; formazione di sali e di fanghi
	SO ₂	≈ 2	Reazione veloce; leggera formazione di sali e di fango
	Na ₂ S ₂ O ₄	Indipendente dal pH	Reazione veloce; formazione di sali e di fanghi
	FeSO ₄ o FeCl ₂	≈ 3	Reazione lenta; formazione di sali e di fanghi

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"

Adsorbimento/assorbimento

I processi di adsorbimento richiedono periodiche operazioni di rigenerazione del materiale adsorbente esausto, con l'eccezione del carbone attivo in polvere che viene, invece, avviato a smaltimento, insieme ai fanghi, e che deve essere, pertanto, sostituito. Per ogni materiale è adottata una specifica metodologia di rigenerazione che comporta, in ogni caso, l'utilizzo e, conseguentemente, il consumo di agenti chimici e di energia.

Scambio ionico

L'utilizzo degli scambiatori comporta consumi energetici e di reattivi (rigeneranti). I rigeneranti comunemente utilizzati sono:

Scambiatore	Stabilità		Rigenerante
	pH	°C	g/l resina
Scambiatore cationico (acido debole); forma ionica: H ⁻ , PF ⁺	1-14	75-120	HCl: 70-140 oppure H ₂ SO ₄
Scambiatore cationico (acido forte); forma ionica: H ⁻	1-14	≈120	HCl: ≈80
Scambiatore anionico (base debole); forma ionica: OH ⁻ , Cl ⁻	1-14	70-100	NaOH: ≈60
Scambiatore anionico (base forte); forma ionica: OH ⁻ , Cl ⁻	1-14	35-70	NaOH: ≈80

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"

E.4 Aspetti ambientali: emissioni

Gli impianti di trattamento dei rifiuti liquidi producono emissioni di diversa natura, alcune connesse alle fasi di ricezione, trasferimento, stoccaggio, ecc., altre alla vera e propria fase di trattamento del rifiuto. Un elenco delle principali emissioni e delle relative fonti, tratto dal "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries", viene riportato nella sottostante tabella.

Emissioni	Fonti	Particolato	NO_x, SO_x, HCl	NH₃, ammine	H₂S	HCN	COV	Odori	Altre Sostanze Organiche	Metalli	Solidi Sospesi	COD
Attività comuni												
Ricezione (campionamento/ingresso impianto)	A,AQ,T	A	A				A	A				
Trasferimento (tubature, pompe, valvole)		A	A	A	A	A	A	A	AQ,T	AQ,T	AQ	AQ
Stoccaggio di solidi (es. calce)	A,AQ,T											
Stoccaggio fusti, cisterne e serbatoi di trattamento		A	A				A	A	A	AQ	AQ	AQ
Caricamento e mescolamento dei reattori	A,AQ,T						A	A	A	A,AQ,T	AQ	AQ
Rimozione dei residui solidi dai reattori	A,AQ,T						A	A	A	A,AQ,T		
Trattamenti biologici												
				A	A		A	A		AQ	AQ	AQ
Trattamenti chimico-fisici												
Precipitazione	AQ							A	AQ	AQ	AQ	AQ
Neutralizzazione Acidi		A	A	A			A	A	A,AQ	AQ		AQ
Neutralizzazione Basi			A					A	AQ	AQ		AQ
Neutralizzazione Acidi Cromici										AQ		
Trattamento Cianuri						A		A				
Stabilizzazione	A,AQ,T		A				A	A			AQ	AQ
Trattamento Oli							A	A	A			AQ

Legenda: A: in Aria, AQ: in Acqua, T: in Terra

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"

Particolare rilevanza, con riferimento alle emissioni in atmosfera, assumono i rifiuti caratterizzati da un elevato contenuto di composti organici volatili (COV) e di composti inorganici volatili, quali, ad esempio, ammoniaca, idrogeno solforato, acido cloridrico. Quando i rifiuti liquidi vengono

direttamente a contatto con l'atmosfera l'inquinante può trasferirsi dall'acqua all'aria; è pertanto evidente come, in tali circostanze, si renda necessaria l'applicazione di opportuni trattamenti delle emissioni gassose. Altri fattori rilevanti, connessi al trattamento dei rifiuti liquidi, sono i consumi energetici e la produzione di fanghi. In particolare la gestione di questi ultimi (disidratazione, incenerimento, ecc.) è responsabile di gran parte dei consumi di energia da parte dell'impianto e determina significativi impatti ambientali. D'altro canto esistono sistemi di trattamento caratterizzati da bilanci energetici positivi: tra questi si cita, ad esempio, la digestione anaerobica che produce biogas utilizzabile come combustibile, purché esso sia opportunamente captato e convogliato (in caso contrario l'emissione di biogas rappresenta un evidente impatto ambientale che si somma agli altri impatti derivanti dall'impianto).

In generale per una verifica della validità di un processo di trattamento deve essere effettuato un bilancio tra effetti positivi ed impatti negativi sull'ambiente derivanti dal processo stesso. Infatti, l'introduzione di sistemi di trattamento è a sua volta causa di impatti ambientali: il processo di ossidazione dei gas provenienti dai rifiuti, ad esempio, porta alla produzione di gas contenenti nuovi contaminanti, non presenti nella corrente entrante, la cui rimozione può richiedere ulteriori trattamenti. I principali impatti ambientali derivanti dalle diverse operazioni di trattamento di tipo chimico-fisico e biologico vengono descritti nei successivi paragrafi.

E.4.1 Trattamenti chimico-fisici

Emissioni in aria

Diversi composti organici possono passare attraverso tutto il processo di trattamento senza subire rimozioni e terminare, pertanto, nel fango o nell'effluente, mentre altri composti possono evaporare per effetto di reazioni esotermiche o in seguito ad operazioni di pressatura (ad esempio nel trattamento dei fanghi); alcuni rifiuti di natura organica possono, inoltre, contenere specie "nascoste". Gli oli lubrificanti, ad esempio, contengono naftalene, benzene, toluene, etilbenzene, xilene, fenoli, rame, azoto e, durante l'operazione di separazione dell'olio dall'acqua, possono rilasciare composti azotati e xilene in atmosfera e contaminanti di varia natura nell'effluente del processo.

Un aumento delle emissioni in atmosfera può dipendere, in generale, da rapidi cambiamenti di pH, da una repentina crescita della temperatura e da un'agitazione eccessivamente energica.

Alcuni dati relativi alle emissioni in aria derivanti da impianti di trattamento chimico-fisico, tratti dal "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries" vengono di seguito riportati.

Emissioni in aria	Valori medi annuali (mg/Nm³)	Flusso di massa (g/h)
Flusso di aria in uscita	325 Nm ³ /t	
TOC*	2,84-36	500 (534 kg/anno)
BTX	4,9	
Benzene		2,5
HCN	0,05-0,12	0,043 – 15
H ₂ S	0,31	15
Cl ₂	<0,03	15
SO ₂	1,17	0,5
HCl	0,3	0,2
Hg	0,01	0,0034

Note: Dati provenienti da impianti chimico fisici con capacità complessiva di 850 kt/a, relativi all'anno 2001. L'età media degli impianti è circa 17 anni (range 4 ÷ 39)

* Valori corrispondenti a mg di carbone

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"

Emissioni in acqua

Nei flussi in uscita dagli impianti di trattamento dei rifiuti liquidi sono, in genere, presenti numerose classi di sostanze che possiedono un certo potenziale di impatto sugli ecosistemi e sui corpi idrici recettori e la cui concentrazione deve, ovviamente, risultare conforme ai limiti previsti dalla normativa vigente.

Di seguito vengono riportati i valori relativi ad alcuni parametri rilevati negli effluenti degli impianti di trattamento chimico-fisico di reflui contaminati. Tali dati sono tratti dal "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries".

Emissioni in acqua	Intervallo dei valori medi annuali negli effluenti (mg/l)	Carico entrante (kg/anno)
pH	6,9-10,4	
Conduttività elettrica	1.150-13.500 μ S/cm	
Trasparenza	10-47 cm	
Solidi sospesi	<0,5-32 <0,1-2,1 ml/l	<0,6
TOC	2.200 – 3.800	38,061
BOD	5 – 2.490	
COD	200 – 17.870	
Idrocarburi	<0,1-19,8	89
Detergenti anionici	0,6-14,8	
Oli minerali	5-10	
Indice fenolo	0,8-25	317
AOX	<0,01-0,7	9
EOX	<0,1-0,5	
BTX	<0,1-1,2	10
Cl	3.975-35.420	
Cl libero	<0,1-0,3	
CN	<0,1-0,6	<1
CN libero	<0,01-0,1	
F	0,5-8,6	
Azoto totale	8,4 – 590	
Azoto organico	109-440	
Azoto ammoniacale	22-1.330	
Azoto nitrico	0,90 – 472	38
Azoto nitroso	0,9-10,2	
Solfati	65-3.630	
Solfuri liberi	0,1 – 0,77	<1
Solfuri	1.012	
Fosforo totale	<0,1– 14,75	
Al	<0,1-5	63
As	<0,01-0,1	<0,1
Cr totale	0,05 – 0,3	3,8
Cr (VI)	<0,01-0,1	<1
Cu	<0,1-0,4	2,5
Fe	0,2-20	253
Hg	<0,0001 – 0,02	<0,02
Mn	<0,1-2,7	
Ni	0,05 – 1,4	3,8
Pb	<0,02 – 0,7	<1
Se	<0,1-0,5	

Emissioni in acqua	Intervallo dei valori medi annuali negli effluenti (mg/l)	Carico entrante (kg/anno)
Sn	<0,1-0,4	
Zn	<0,1-3,9	12

Note: dati provenienti da impianti di trattamento chimico fisico con capacità complessiva di 850 kt/a, relativi all'anno 2001. L'età media degli impianti è circa 17 anni (range 4 ÷ 39)

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"

Alcuni settori industriali producono reflui caratterizzati dalla presenza di particolari classi di composti inquinanti, che richiedono specifiche soluzioni di trattamento. Di seguito si riportano, a titolo di esempio, alcuni dati relativi alle emissioni da impianti di trattamento chimico-fisico di solventi e vernici, contenuti nel "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries":

Materiale	Quantità prodotta (t/anno)	Composizione (mg/kg)
Materiale secco	1.000	PCB < 0,05
		BTEX 104,8
		As <1
		Cd 6,7
		Cr totale 77
		Cu 905
		Hg 0,25
		Ni 43
		Pb 339
		Tl <0,5
Cianuri totali 6.200		
Acque derivanti da processi organici	2.000	Cd <0,5
		Hg <0,5
		Zn 1,7
Recupero solvente	13.000	

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"

Emissioni al suolo

I rifiuti solidi derivano, principalmente, dalle operazioni di precipitazione/flocculazione, filtrazione con membrana, evaporazione e scambio ionico nonché dalla pulizia delle apparecchiature e dei serbatoi. La possibilità di utilizzo di tali rifiuti dipende, ovviamente, dalle caratteristiche specifiche degli stessi; gli oli, ad esempio, vengono quasi sempre riciclati, mentre i concentrati (da precipitazione, filtrazione, ecc.) lo sono soltanto in alcuni casi.

I fanghi rappresentano la principale tipologia di rifiuto solido derivante dagli impianti di trattamento chimico-fisico; essi possono essere sottoposti a pressatura ed inviati ad ulteriori trattamenti, pressati e miscelati in situ con altri fanghi, generalmente di natura organica, oppure possono essere miscelati con i residui derivanti dalle operazioni di trattamento dei gas esausti al fine di produrre un rifiuto solido. In base alle loro caratteristiche chimico-fisiche i fanghi vengono, in genere, inceneriti o avviati a smaltimento in discarica. Di seguito si riportano alcuni dati, tratti dal "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries", relativi ai rifiuti tipicamente prodotti da impianti di trattamento chimico-fisico:

Rifiuto prodotto	Quantità (kg/t di rifiuto trattato)
Oli	30 – 90
Concentrato ^a	14 – 40
Fanghi	60 – 90

Note: Dati provenienti da impianti di trattamento chimico fisico con capacità complessiva di 850 kt/a, relativi all'anno 2001. L'età media degli impianti è pari a circa 17 anni (range 4 ÷ 39)
^a: proveniente da operazioni di evaporazione, strippaggio, filtrazione con membrana ed ultrafiltrazione

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"

Emissioni derivanti dalle diverse operazioni unitarie e da specifici trattamenti di tipo chimico-fisico

Nella tabella sottostante vengono riportate le principali emissioni derivanti dalle diverse tipologie di trattamento. Tali dati sono tratti dal "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries". Il livello dell'emissione dipende, ovviamente, dai quantitativi di rifiuto liquido trattati e dai sistemi di abbattimento adottati.

Operazione unitaria	Emissione		
	Aria	Acqua	Suolo
Aggiunta di carbonato di sodio o di acido solforico per la formazione di solfato di nichel o di cromo	Emissioni di CO ₂ e di altri gas acidi (ad es. SO _x) a seconda della tipologia di soluzione iniziale.	La frazione liquida viene riciclata nel trattamento; essa rappresenta una frazione molto piccola rispetto al flusso di rifiuto entrante	Il precipitato viene lasciato raffreddare e cristallizzare prima di essere opportunamente imballato e trasportato ai fini di un suo eventuale riciclaggio che deve, in ogni caso, avvenire nel rispetto dei limiti, delle condizioni e delle procedure operative previste dalla normativa vigente
Ossidazione dei cianuri	-	HOCl	-
Strippaggio con aria	Ammoniaca e COV, inclusi solventi organici (ad esempio, cloruro di metilene, DCM)	-	-
Flottazione per dissoluzione d'aria (DAF)	-	-	I quantitativi di fanghi sono generalmente superiori al 4% calcolato sulla sostanza secca
Evaporazione	Condotta, generalmente, in sistemi completamente chiusi, ma emissioni gassose possono derivare dalle valvole di sfiato.	-	-
Filtrazione/pressatura	NH ₃ e, per reflui ad alto carico organico, COV	-	-
Scambio ionico	-	L'eluato prodotto richiede, in genere, successivi trattamenti	-
Serbatoi di miscelazione	Le emissioni possono derivare, in parte, da	-	-

Operazione unitaria	Emissione		
	Aria	Acqua	Suolo
	reazioni chimiche ed, in parte, in seguito a fenomeni di riscaldamento (riduzione della solubilità dei gas in acqua). Uno dei maggiori problemi legato alla gestione di questa fase del processo è rappresentato dalle emissioni di NH ₃		
Neutralizzazione	Si possono verificare violente reazioni esotermiche con rapidi cambiamenti di pH. Possibili emissioni di CO ₂ , HCl, Cl ₂ , NO _x e SO _x , e di NH ₃ nonché di altri composti volatili (ad es., solventi). I gas possono, inoltre, trascinare materiale particolato	Emissioni di: cloro, fosforo, composti azotati, metalli, ecc.	Emissioni di: cloro, fosforo, composti azotati, metalli, ecc.
Separazione delle emulsioni oleose	-	-	La separazione mediante utilizzo di agenti di natura organica comporta, in genere, la formazione di minori quantità di fango rispetto al trattamento con acidi.
Ossidazione/riduzione	-	Possibile salinizzazione del refluo	-
Sedimentazione	Possibili, anche se improbabili, emissioni in atmosfera	-	I fanghi sedimentati hanno, in genere, un contenuto di sostanza secca pari allo 0,5-1%. Essi, dopo essere stati rimossi, devono essere opportunamente gestiti nel rispetto dei limiti, delle condizioni e delle procedure operative individuate dalla normativa vigente
Trattamento dei fanghi (ad es., pressatura, stoccaggio)	Emissioni di COV e di diversi gas	-	-
Estrazione con solvente	Possibile emissione di solventi	Emissioni di solventi	

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"

E.4.2 Trattamenti biologici

Gli effluenti liquidi dei trattamenti contengono diverse sostanze organiche (il cui contenuto viene, in genere, misurato come TOC e COD) nonché azoto, fosforo e cloro mentre le principali emissioni in atmosfera sono, in genere, rappresentate da CH₄, CO₂ e N₂O.

Vengono di seguito riportate le principali emissioni derivanti dalle diverse sezioni di un tipico impianto di trattamento di acque reflue, individuate dal "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries".

sezione dell'impianto	emissioni		
Ricezione	Per un corretto svolgimento del processo biologico di depurazione del refluo è indispensabile che il flusso e la composizione del substrato in ingresso siano relativamente costanti; a tal fine un ruolo fondamentale è svolto dai serbatoi di ricezione e dalle vasche di equalizzazione. Essi vengono, generalmente, riempiti mediante carribotte o sono direttamente collegati ad un sistema di collettamento. Si possono verificare emissioni in atmosfera (in seguito a fenomeni di strippaggio) prevalentemente nella fase di trasferimento o in quella di miscelazione (condotta mediante l'utilizzo di sistemi di aerazione della massa liquida).		
Trattamento primario	La fase iniziale del trattamento prevede, in genere, la rimozione dei solidi mediante una selezione più o meno spinta (ad esempio, grigliatura), una sedimentazione primaria o un'operazione di flottazione (DAF). Questa fase del processo, unitamente a quella di trasferimento del refluo, rappresenta potenzialmente la fonte principale di emissioni. Alcuni composti tendono a precipitare e a concentrarsi nei solidi che vengono separati e stoccati dopo il trattamento. Va rilevato che l'aggiunta di flocculanti o di altri additivi per la chiarificazione può essere fonte di ulteriore contaminazione del refluo.		
Trattamento secondario	Questa fase comprende, in genere, un trattamento aerobico in cui il refluo viene aerato con ossigeno o aria (HRT 0,5-3 giorni) al fine di favorire i processi biologici di ossidazione che convertono la sostanza organica solubile in biomassa (fango). Possono verificarsi emissioni dovute allo strippaggio di composti volatili da parte dell'aria immessa nella vasca. Di solito si assume (anche se ciò non si verifica necessariamente) che le emissioni derivanti da un rifiuto trattabile biologicamente non siano pericolose. La determinazione di tutti i composti organici intermedi che potrebbero formarsi nel corso del processo e che potrebbero essere rilasciati in atmosfera non è di semplice attuazione. Dopo la fase di trattamento biologico l'effluente viene sottoposto ad un ulteriore trattamento di chiarificazione che può portare all'accumulo di composti organici o metallici nel fango.		
	Emissioni in aria*	Emissioni in acqua	Fanghi
Trattamento aerobico	CO ₂ , composti osmogeni (prevalentemente di natura organica), microrganismi	TOC, N, P, Cl	TOC, N, P
Trattamento anaerobico	CH ₄ , CO ₂ , microrganismi	TOC, N, P, Cl	TOC, N, P
Note: *allo stato attuale il range dei gas prodotti nei diversi processi è molto più ampio ed include, verosimilmente, NH ₃ e CO, anche se in quantità ridotte rispetto ai principali prodotti della depurazione.			

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"

Nella seguente tabella, tratta dal “Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries”, vengono effettuate alcune considerazioni, di tipo qualitativo, in merito alle principali emissioni derivanti dai trattamenti delle acque reflue e vengono riportate informazioni per una loro quantificazione.

Composto	Emissioni in aria	Emissioni in acqua	Emissioni al suolo e rifiuti solidi
Ammoniaca	Basse. Nel caso di rifiuti ad elevato contenuto di ammoniaca può essere condotto un bilancio di massa al fine di minimizzare il livello delle emissioni. L'ammoniaca può essere anche rilasciata nei processi di filtrazione sotto vuoto (per la rimozione delle particelle colloidali).		
Anidride carbonica	È possibile stimare l'emissione mediante il calcolo $TOC_{uscente} - TOC_{entrante}$		
Metano	Basse		
Protossido di azoto	Basse		
Altre specie metalliche ed organiche		Le emissioni possono essere quantificate attraverso bilanci di massa (stima dei quantitativi in ingresso mediante analisi del rifiuto e dati analitici dei flussi uscenti)	
TOC			
COD			
BOD		10 – 20 mg/l (media mensile)	
Azoto totale			L'azoto ed il fosforo nell'effluente possono derivare dal trattamento di HNO_3 , composti azotati, ammine, ecc. e di H_3PO_4
Fosforo totale			
Fluoro		Il fluoro non si ritrova comunemente nell'effluente a meno che l'impianto non riceva rifiuti contenenti questo elemento	
Metalli pesanti		Nei casi in cui la presenza di Hg e Cd non possa essere eliminata o, comunque, ridotta alla	Nei trattamenti biologici il 75-90% del Hg e del Cd si trasferisce nel fango. I quantitativi complessivi

Composto	Emissioni in aria	Emissioni in acqua	Emissioni al suolo e rifiuti solidi
		fonte, si rende necessaria la presenza di appositi sistemi di abbattimento per minimizzare il rilascio di tali elementi nelle acque.	non causano, in genere, problemi di smaltimento.

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"

E.5 Individuazione delle migliori tecniche e tecnologie per lo specifico settore in Italia

Per quanto riguarda le migliori tecniche disponibili per il settore del trattamento chimico-fisico e biologico sono al momento disponibili, a livello europeo, le analisi riportate nel "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries", e nel "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector". Va, tuttavia, rilevato che questi documenti di riferimento non definiscono, in maniera dettagliata, le migliori tecniche disponibili per gli impianti di trattamento chimico-fisico e biologico dei rifiuti liquidi; il GTR ha, quindi, sviluppato autonomamente una elaborazione di tali documenti, facendo riferimento anche ad altre fonti, al fine di individuare le migliori tecniche per la prevenzione integrata dell'inquinamento dello specifico settore in Italia. Nella presente sezione sono riportati i risultati della suddetta elaborazione.

E.5.1 Migliori tecniche e tecnologie per il trattamento dei rifiuti liquidi

E.5.1.1 Criteri generali e sistemi di monitoraggio

Sono da considerarsi Migliori Tecniche Disponibili:

1. predisporre le diverse sezioni dell'impianto ispirandosi a criteri di massima compattezza possibile, al fine di consentire un controllo più efficace sulle emissioni olfattive ed acustiche
2. ove necessario, ad esempio in prossimità di centri urbani, si devono privilegiare, in caso di possibilità di rilascio di composti osmogeni, sistemi di trattamento interrati o coperti dotati di sistemi di deodorizzazione e ventilazione
3. l'impianto di trattamento deve essere delimitato da idonea recinzione lungo tutto il suo perimetro. La barriera esterna di protezione, deve essere realizzata con siepi, alberature e schermi mobili, atti a minimizzare l'impatto visivo dell'impianto. Deve essere garantita la manutenzione nel tempo di detta barriera di protezione ambientale.
4. prevedere la presenza di appositi spazi per la realizzazione di eventuali adeguamenti tecnici e dimensionali e/o ampliamenti
5. dotare l'impianto di un adeguato sistema di canalizzazione a difesa dalle acque meteoriche esterne
6. per il trattamento presso impianti misti (impianti dotati di sezione di pretrattamento chimico-fisico e di sezione di depurazione biologica) determinare la potenzialità sulla base della capacità residua dell'impianto rispetto alla quantità prodotta in proprio o comunque convogliata tramite condotta. In ogni caso la potenzialità di trattamento in conto terzi non deve pregiudicare la capacità di trattamento dei propri reflui e/o di quelli conferiti tramite condotta rispetto alla capacità complessiva di trattamento dell'impianto
7. sulla base delle caratteristiche specifiche del rifiuto liquido da trattare e delle tipologie di trattamento messe in atto predisporre un adeguato piano di monitoraggio finalizzato a definire prioritariamente:

- a. i parametri da misurare
- b. la frequenza ed i tempi di campionamento
- c. i punti di prelievo dei campioni su cui effettuare le misurazioni, tenendo conto dei costi analitici (reagenti e strutture) e dei tempi di esecuzione
- d. le modalità di campionamento (campionamento istantaneo, composito, medio ponderato, manuale, automatico)
- e. la scelta delle metodologie analitiche.

Deve essere privilegiato l'utilizzo di campionatori automatici, preferibilmente termostatati, al fine di garantire una corretta stima dei rendimenti di rimozione dell'impianto nella sua globalità e/o delle singole unità di trattamento.

Per le attività di supervisione, analisi e prevenzione di eventuali disfunzionalità dell'impianto, può essere, altresì, utile prevedere la presenza di sensori multiparametrici collegati ad un sistema centralizzato di telecontrollo on-line

8. per impianti che scaricano i reflui depurati in corpi idrici recettori (ad esempio gli impianti di depurazione di acque reflue che ricevono rifiuti liquidi), prevedere la presenza di centraline di rilevamento per il monitoraggio delle caratteristiche dei corpi idrici stessi a monte e a valle dello scarico, in modo da poter valutare in tempo reale l'impatto ambientale esercitato dall'impianto; in particolare dovrebbe essere sempre garantito, ai fini del rispetto della normativa vigente, il monitoraggio delle diverse classi di inquinanti tra cui, ad esempio: COD, BOD, azoto ammoniacale, azoto nitrico e nitroso, pesticidi, metalli (ad es. As, Cd, Hg, Cr, Ni, Pb), composti organo metallici (tra cui dibutilstagno, tertrabutilstagno, tributilstagno, trifenilstagno, dicloruro di dibutilstagno), IPA, composti organici volatili e semivolatili, composti nitroaromatici, alofenoli, aniline e derivati, pesticidi, PCB, tensioattivi, ecc.
9. garantire, sulla base delle indicazioni contenute nel piano di monitoraggio, un adeguato livello di intervento
10. garantire che il programma di monitoraggio preveda, in ogni caso:
 - a. controlli periodici dei parametri quali-quantitativi del rifiuto liquido in ingresso
 - b. controlli periodici quali-quantitativi del rifiuto liquido/refluo in uscita
 - c. controlli periodici quali quantitativi dei fanghi
 - d. controlli periodici delle emissioni
 - e. controlli periodici interni al processo
11. ove necessario prevedere la possibilità di dotare l'impianto di un proprio laboratorio interno, fornito di attrezzature specifiche per le analisi di base. Nel caso di assenza di un laboratorio deve essere, comunque, prevista la possibilità di effettuare le analisi più semplici direttamente in impianto, ad esempio mediante l'utilizzo di kit analitici
12. per i processi di trattamento biologico garantire, all'interno dei reattori o delle vasche, condizioni ambientali di pH, temperatura, ossigenazione e carico adeguate. Per assicurare l'efficienza del trattamento è opportuno effettuare periodiche analisi biologiche volte a verificare lo stato di "salute" del fango. Tali analisi possono essere di diverso tipo:
 - a. analisi della microfauna del fango attivo per la valutazione del processo biologico-depurativo, con particolare riferimento nei processi a fanghi attivi alla identificazione e valutazione della componente filamentosa per la prevenzione e la diagnosi di problemi legati alla fase di chiarificazione
 - b. analisi metaboliche, quali la valutazione di Oxygen Uptake Rate (OUR), Ammonia Utilization Rate (AUR) e Nitrate Utilization Rate (NUR), che sono in grado di evidenziare anomalie o variazioni delle condizioni all'interno della vasca di ossidazione e consentono l'accertamento di fenomeni di inibizione del processo
13. predisporre e conservare un apposito registro dei dati di monitoraggio su cui devono essere riportate, per ogni campione, la data, l'ora, il punto di prelievo, le modalità di campionamento, le metodiche analitiche utilizzate e i relativi valori. I dati raccolti

- nell'ambito dell'attività di monitoraggio devono essere organizzati ed espressi in modo tale che sia possibile effettuare delle elaborazioni statistiche e/o matematiche al fine di quantificare i principali aspetti di gestione del processo ed incrementare costantemente la resa dell'impianto. Il trattamento e l'elaborazione dei dati acquisiti dovrà prevedere:
- a. l'effettuazione di bilanci di massa del processo riferiti ai singoli componenti
 - b. il calcolo dei rendimenti depurativi per ogni unità
 - c. il bilancio energetico e dei consumi, in funzione della tipologia di fonte (elettrica, gas, combustibili liquidi convenzionali, rifiuti), nonché la valutazione dei consumi energetici specifici di ogni operazione unitaria
 - d. la verifica dei calcoli cinetici relativamente ai processi fondamentali e valutazione complessiva dei processi mediante modelli matematici
 - e. la definizione di specifici indicatori finalizzati alla valutazione delle prestazioni del processo (es. MWh/t rifiuto trattato)
 - f. lo sviluppo di un apposito piano di efficienza
 - g. lo sviluppo di tecniche a minor consumo energetico
14. prevedere procedure di diagnosi in tempo reale dello stato del sistema in caso di disfunzioni. A tale scopo è opportuna la predisposizione di apposite tabelle di riferimento indicanti:
- a. evidenze della disfunzione
 - b. possibili conseguenze a breve e lungo termine
 - c. possibili cause
 - d. analisi e verifiche di controllo
 - e. possibilità di interventi correttivi
- Per le disfunzioni di tipo meccanico devono essere, altresì, previste:
- f. procedure per la sostituzione in tempo rapido delle apparecchiature elettromeccaniche in avaria
 - g. procedure per la messa in by-pass parziale o totale della fase interessata dall'avaria.
- Devono essere, inoltre, effettuati periodici interventi di manutenzione, ad opera di personale opportunamente addestrato, finalizzati ad assicurare il corretto funzionamento delle diverse sezioni ed apparecchiature dell'impianto
15. dotare l'impianto di un piano di gestione delle emergenze e di un registro degli incidenti
16. garantire un adeguato livello di affidabilità del sistema impiantistico affinché siano raggiunte le prestazioni richieste nelle diverse condizioni operative
17. deve essere garantita la presenza di personale qualificato, adeguatamente addestrato alla gestione degli specifici rifiuti trattati nell'impianto ed in grado di adottare tempestivamente procedure di emergenza in caso di incidenti
18. disporre di un sistema che assicuri la tracciabilità dell'intera sequenza di trattamento del rifiuto, anche al fine di migliorare l'efficienza del processo. In tal senso, un sistema efficace deve consentire:
- a. la verifica dell'idoneità del rifiuto liquido al trattamento
 - b. di documentare i trattamenti mediante appositi diagrammi di flusso e bilanci di massa
 - c. di mantenere la tracciabilità del rifiuto lungo tutte le fasi di trattamento (accettazione/stoccaggio/trattamento/step successivi)
 - d. di disporre, mediante accesso immediato, di tutte le informazioni relative alle caratteristiche merceologiche ed all'origine del rifiuto in ingresso. Dovrebbe, inoltre, essere garantita la possibilità per l'operatore di individuare, in ogni momento, la posizione di ciascuna tipologia di rifiuto lungo la sequenza di trattamento
 - e. l'identificazione dei principali costituenti chimici del rifiuto liquido trattato (anche tramite l'analisi del COD) e l'analisi del loro destino una volta immessi nell'ambiente

19. disporre di procedure che consentano di separare e di verificare la compatibilità delle diverse tipologie di rifiuto, tra cui:
 - a. test di compatibilità effettuati preliminarmente alla miscelazione dei diversi rifiuti liquidi
 - b. sistemi atti ad assicurare che l'eventuale miscela di rifiuti liquidi sia trattata secondo le procedure previste per la componente caratterizzata da maggiore pericolosità
 - c. conservazione dei risultati dei test, ed in particolare di quelli che hanno portato a reazioni potenzialmente pericolose (aumento di temperatura, produzione di gas o innalzamento di pressione, ecc.), registrazione dei parametri operativi, quali cambio di viscosità, separazione o precipitazione di solidi e di qualsiasi altro parametro rilevante (ad esempio, sviluppo di emissioni osmogene)
20. a chiusura dell'impianto deve essere previsto un piano di ripristino al fine di garantire la fruibilità del sito in coerenza con la destinazione urbanistica dell'area
21. pianificare un sistema di Benchmarking, che consenta di analizzare e confrontare, con cadenza periodica, i processi, i metodi adottati e i risultati raggiunti, sia economici che ambientali, con quelli di altri impianti e organizzazioni che effettuano le stesse attività.
22. le attività connesse con la gestione dell'impianto e le varie procedure operative che le regolamentano devono far parte di un apposito manuale di gestione al quale il gestore dell'impianto dovrà attenersi. Vanno attivate le procedure per l'adozione di sistemi di certificazione ambientale (ISO 14000) e soprattutto l'adesione al sistema EMAS.

E.5.1.2 Attività di informazione

Nell'ambito delle attività realizzative e gestionali deve essere:

23. prevista la pianificazione delle attività di formazione, informazione ed aggiornamento del personale dell'impianto in modo da fornire tutte le informazioni di carattere generale in materia di qualità, sicurezza ed ambiente nonché indicazioni relative ad ogni specifico reparto
24. garantito alle autorità competenti ed al pubblico l'accesso ai dati di funzionamento, ai dati relativi alle emissioni, ai rifiuti prodotti, nonché alle altre informazioni sulla manutenzione e controllo, inclusi gli aspetti legati alla sicurezza. Le informazioni dovranno includere:
 - a. dati e responsabile delle situazioni critiche o di emergenza
 - b. descrizione delle attività esercitate
 - c. materiali utilizzati e relative caratteristiche
 - d. procedure di emergenza in caso di inconvenienti tecnici
 - e. programmi di monitoraggio delle emissioni e dell'efficienza dell'impianto
25. resa pubblica la documentazione elaborata affinché sia garantita la trasparenza ed il coinvolgimento della popolazione in tutte le fasi di realizzazione dell'impianto attraverso relazioni periodiche di tipo divulgativo

E.5.1.3 Stoccaggio e movimentazione

Per quanto concerne le fasi di stoccaggio e movimentazione dei rifiuti, applicare le procedure standard riportate nelle "Linee guida per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili per il trattamento dei PCB, degli apparati e dei rifiuti contenenti PCB e per gli impianti di stoccaggio dei rifiuti".

E' necessario integrare le suddette tecniche con soluzioni più specifiche, individuate come migliori tecniche disponibili per lo stoccaggio e la movimentazione relativi al settore del trattamento chimico fisico e biologico dei rifiuti liquidi:

26. localizzare le aree di stoccaggio in zone distanti da corsi d'acqua e da aree sensibili ed in modo tale da ridurre al minimo la movimentazione ed il trasporto nelle successive fasi di trattamento
27. nell'impianto devono essere distinte le aree di stoccaggio dei rifiuti liquidi in ingresso da quelle utilizzate per lo stoccaggio dei rifiuti in uscita e dei materiali da avviare a recupero; lo stoccaggio dei rifiuti liquidi deve avvenire in maniera tale da evitare qualsiasi tipo di miscelazione con i rifiuti che hanno già subito il trattamento
28. dotare le aree di conferimento, di messa in sicurezza, di stoccaggio dei rifiuti liquidi di una copertura resistente alle intemperie e di superfici resistenti all'attacco chimico dei rifiuti
29. dotare l'area di stoccaggio di appositi sistemi di drenaggio al fine di prevenire rilasci di reflui contaminati nell'ambiente; il sistema di drenaggio deve, inoltre, evitare il contatto di rifiuti tra loro incompatibili
30. assicurare che i rifiuti liquidi contenenti sostanze volatili osmogene siano stoccati in serbatoi o contenitori a tenuta stagna, adeguatamente impermeabilizzati, posti in locali confinati e mantenuti in condizioni di temperatura controllata
31. i recipienti fissi e mobili, comprese le vasche ed i bacini utilizzati per lo stoccaggio dei rifiuti liquidi, devono possedere adeguati requisiti di resistenza in relazione alle proprietà chimico - fisiche ed alle caratteristiche di pericolosità dei rifiuti stessi
32. i serbatoi contenenti i rifiuti liquidi pericolosi devono essere provvisti di opportuni dispositivi antitraboccamento e contenimento
33. se lo stoccaggio dei rifiuti pericolosi avviene in recipienti mobili questi devono essere provvisti di:
 - a. idonee chiusure per impedire la fuoriuscita del rifiuto stoccato
 - b. dispositivi atti ad effettuare, in condizioni di sicurezza, le operazioni di riempimento e svuotamento
 - c. mezzi di presa per rendere sicure ed agevoli le operazioni di movimentazione
34. conservare le soluzioni acide e basiche in idonei contenitori; tali soluzioni devono essere successivamente riunite, in modo da garantirne la neutralizzazione, in appositi serbatoi di stoccaggio
35. assicurare che i sistemi di collettamento dei rifiuti liquidi siano dotati di apposite valvole di chiusura. Le condutture di troppo pieno devono essere collegate ad un sistema di drenaggio confinato (arca confinata o serbatoio)
36. dotare tutti i serbatoi ed i contenitori di adeguati sistemi di abbattimento degli odori, nonché di strumenti di misurazione e di allarme (sonoro e visivo)
37. ogni contenitore, dotato di apposito indicatore di livello, deve essere posto in una zona impermeabilizzata; i contenitori devono essere provvisti di idonee valvole di sicurezza e le emissioni gassose devono essere raccolte ed opportunamente trattate
38. limitare il più possibile i tempi di stoccaggio di rifiuti liquidi organici biodegradabili, onde evitare l'evolvere di processi fermentativi
39. garantire la facilità di accesso alle aree di stoccaggio evitando l'esposizione diretta alla luce del sole e/o al calore di sostanze particolarmente sensibili
40. nella movimentazione dei rifiuti liquidi applicare le seguenti tecniche:
 - a. disporre di sistemi che assicurino la movimentazione in sicurezza
 - b. avere un sistema di gestione dei flussi entranti ed uscenti che prenda in considerazione tutti i potenziali rischi connessi a tali operazioni
 - c. disporre di personale chimico qualificato, preposto al controllo dei rifiuti provenienti da laboratori, alla classificazione delle sostanze ed all'organizzazione dei rifiuti in imballaggi e contenitori specifici
 - d. adottare un sistema che assicuri l'utilizzo delle tecniche idonee per lo stoccaggio ed il trattamento dei rifiuti liquidi. Esistono opzioni quali etichettatura, accurata

- supervisione di tecnici, particolari codici di riconoscimento e utilizzo di connessioni specifiche per ogni tipologia di rifiuto liquido
- e. assicurarsi che non siano in uso tubature o connessioni danneggiate
 - f. utilizzare pompe rotative dotate di sistema di controllo della pressione e di valvole di sicurezza
 - g. garantire che le emissioni gassose provenienti da contenitori e serbatoi siano raccolte e convogliate verso appositi sistemi di trattamento
41. assicurare che il mescolamento di rifiuti liquidi avvenga seguendo le corrette procedure, con una accurata pianificazione, sotto la supervisione di personale qualificato ed in locali provvisti di adeguata ventilazione. A tal fine può essere utile ricorrere alla tabella E.2, che indica la compatibilità chimica ed alcune delle possibili interazioni tra le diverse classi di sostanze. In nessun caso possono, comunque, essere previste operazioni di miscelazione finalizzate a ridurre le concentrazioni degli inquinanti. Dovrebbe essere, comunque, evitata la miscelazione di rifiuti che possono produrre emissioni di sostanze maleodoranti;
42. utilizzare un sistema di identificazione per i serbatoi e le condutture, con i seguenti accorgimenti:
- a) etichettare tutti i serbatoi ed i contenitori al fine di una identificazione univoca
 - b) le etichette devono permettere di distinguere le varie tipologie di rifiuto e la direzione di flusso all'interno del processo
 - c) conservare registri aggiornati relativi ai serbatoi di stoccaggio, su cui annotare: capacità, tipologie di soluzioni stoccate, programmi di manutenzione e risultati delle ispezioni, rifiuti liquidi compatibili con ogni specifico contenitore. A tal fine è necessario prendere in considerazione le proprietà chimico-fisiche del rifiuto liquido tra cui, ad esempio, il punto di infiammabilità
43. nel caso di sostanze che richiedono uno stoccaggio separato:
- a) verificare l'eventuale incompatibilità chimica tra i diversi rifiuti
 - b) non mescolare emulsioni oleose con rifiuti costituiti da solventi
 - c) a seconda della pericolosità del rifiuto può essere necessario condurre separatamente, oltre allo stoccaggio, anche le operazioni di pretrattamento

E.5.1.4 Trattamento delle emissioni gassose

Il trattamento di alcune tipologie di rifiuti liquidi può comportare il rilascio di emissioni gassose nell'ambiente per le quali può rendersi necessario il ricorso ad appositi sistemi di abbattimento. La scelta delle tecniche relative al trattamento delle emissioni gassose deve tener conto delle caratteristiche specifiche dell'impianto, ovvero dei molteplici fattori che possono influenzarne le emissioni atmosferiche (input, tipologie di trattamenti, condizioni operative, ecc.) nonché delle caratteristiche del sito ove esso è localizzato.

Per Migliori Tecniche Disponibili si intendono:

44. prevenire il rischio di esplosioni tramite:
- a) l'installazione di un rilevatore di infiammabilità all'interno del sistema di collettamento delle emissioni, nel caso sussista un significativo rischio di formazione di miscele esplosive
 - b) il mantenimento delle miscele gassose in condizioni di sicurezza, corrispondenti al 25% del limite inferiore di infiammabilità (LEL); tali condizioni possono essere garantite mediante l'aggiunta di aria, l'iniezione di gas inerti (ad es. azoto) o il mantenimento di atmosfera inerte nei serbatoi di produzione. In alternativa si può mantenere la miscela dei gas in condizioni tali da garantire un sufficiente superamento del limite superiore di infiammabilità (HEL)

45. utilizzare attrezzature e/o equipaggiamenti idonei a prevenire l'innesco di miscele di ossigeno e gas infiammabili, o quantomeno a minimizzarne gli effetti, tramite strumenti quali dispositivi d'arresto di detonazione e fusti sigillati
46. effettuare una attenta valutazione dei consumi idrici, soprattutto nel caso di impianti localizzati in regioni particolarmente sensibili a questa problematica. Tenere in adeguata considerazione i consumi ed i recuperi di acque di processo e di raffreddamento. Nelle valutazioni sull'utilizzo delle tecniche di scrubbing ad umido devono essere considerate anche tecniche water-free
47. l'utilizzo di sistemi chiusi in depressione o dotati di apparati di estrazione e convogliamento dei gas ad appositi sistemi di abbattimento delle emissioni, in particolar modo nel caso di processi che prevedono il trattamento ed il trasferimento di liquidi volatili (incluse le fasi di carico e scarico dei serbatoi)
48. un limitato utilizzo di serbatoi con tappo superiore, nonché di vasche e pozzi garantendo, possibilmente, il collegamento di tutti gli sfiatatoi con appositi sistemi di abbattimento al fine di eliminare o, quantomeno, ridurre le emissioni dirette in atmosfera
49. l'utilizzo di sistemi di estrazione opportunamente dimensionati a servizio di tutto l'impianto (serbatoi di stoccaggio, reattori e serbatoi di miscelazione/reazione e aree di trattamento), oppure la presenza di sistemi specifici di trattamento delle emissioni gassose per ogni serbatoio e reattore (ad esempio, filtri in carbone attivo per i serbatoi a tenuta contenenti solventi, ecc.)
50. la presenza di colonne di lavaggio ("scrubber") per il trattamento dei principali composti inorganici contenuti nelle emissioni nel caso di processi o operazioni unitarie caratterizzate da emissioni puntuali
51. l'installazione di uno scrubber secondario per determinati sistemi di pretrattamento nel caso di emissioni gassose eccessivamente elevate o eccessivamente concentrate per gli scrubber principali
52. una corretto controllo operativo e una costante manutenzione dei sistemi di abbattimento, inclusa la gestione dei mezzi di lavaggio esausti
53. recupero dell'HCl quando possibile, attraverso lo scrubbing con acqua nelle fasi preliminari del trattamento, in modo da produrre una soluzione di acido cloridrico riutilizzabile nell'impianto
54. recuperare l'ammoniaca quando possibile
55. la predisposizione di un programma per l'individuazione e la riparazione delle perdite
56. una riduzione, ove necessario, delle emissioni complessive del particolato a $5 - 20 \text{ mg/Nm}^3$ [fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"] mediante l'utilizzo di una opportuna combinazione di tecniche di abbattimento e misure di prevenzione
57. una riduzione, ove necessario, delle emissioni complessive di composti organici volatili a $7 - 20^1 \text{ mg/Nm}^3$ [fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"] mediante l'utilizzo di una opportuna combinazione di misure di prevenzione e di tecniche di abbattimento illustrate in tabella E.6, valutando la specifica situazione
58. applicare, quando possibile, tecniche di recupero quali condensazione, separazione tramite membrane o adsorbimento, per recuperare materiali grezzi e solventi. Per correnti di gas caratterizzate da elevate concentrazioni di COV è indicato un pretrattamento con le seguenti tecniche: condensazione, separazione tramite membrane, condensazione. Successivamente si possono applicare adsorbimento, scrubbing ad umido o combustione. Nella valutazione comparata tra le tecniche di ossidazione catalitica ed ossidazione termica, tenere in

¹ Per bassi carichi di COV il limite superiore può essere innalzato a 50 mg/Nm^3

particolare considerazione i vantaggi associati alla prima, ovvero minori emissioni di ossidi di azoto, temperature inferiori e requisiti energetici più contenuti

59. rimuovere gli inquinanti dalle correnti gassose (acidi alogenidrici, Cl_2 , SO_2 , H_2S , CS_2 , COS , NH_3 , HCN , NO_x , CO , Hg) tramite l'applicazione delle tecniche illustrate in tabella E.6;

Riassumendo, le tecniche idonee sono:

- scrubbing ad umido (acqua, soluzione acida o alcalina) per acidi alogenidrici, Cl_2 , SO_2 , H_2S , NH_3
- scrubbing con solventi non acquosi per CS_2 , COS
- adsorbimento per CS_2 , COS , Hg
- trattamento biologico per gas per NH_3 , H_2S , CS_2
- incenerimento per H_2S , CS_2 , COS , HCN , CO
- SNCR o SCR per gli NO_x

Tabella E.2: schema di compatibilità chimica tra diversi gruppi di sostanze

N ^a	Gruppo reattivo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
1	Acidi e minerali non ossidanti																						
2	Acidi e minerali ossidanti																						
3	Acidi organici																						
4	Alcoli e glicoli																						
5	Aldeidi																						
6	Ammidi																						
7	Ammine alifatiche ed aromatiche																						
8	Composti azotati, idrazine																						
9	Carbammati																						
10	Sostanze caustiche																						
11	Cianuri																						
12	Ditiocarbammati																						
13	Esteri																						
14	Eteri																						
15	Fluoruri																						
16	Idrocarburi, aromatici																						
17	Organoalogenati																						
18	Isocianati																						
19	Chetoni																						
20	Mercaptani e solfuri organici																						
21	Metalli elementari, alcali, terre alcali																						

E.5.1.5 Gestione dei reflui prodotti nell'impianto

Le Migliori Tecniche Disponibili devono prevedere:

60. la riduzione dell'utilizzo e la minimizzazione della contaminazione dell'acqua mediante:
 - a. impermeabilizzazione del sito
 - b. controlli periodici dei serbatoi, in particolar modo di quelli interrati
 - c. la dotazione di sistemi separati di drenaggio delle acque, a seconda del relativo carico di inquinante (acque di prima pioggia, acque di processo, ecc.), provvisti di un adeguato sistema di collettamento in grado di intercettare le acque meteoriche, le acque di lavaggio dei fusti e dei serbatoi e le perdite occasionali nonché di isolare le acque che potrebbero potenzialmente risultare maggiormente inquinante da quelle meno contaminate
 - d. la presenza nell'impianto di un bacino di raccolta delle acque in caso di emergenza
 - e. verifiche periodiche del sistema idrico, al fine di ridurre i consumi di acqua e prevenirne contaminazioni
61. l'esecuzione di controlli giornalieri all'interno del sistema di gestione degli effluenti e la compilazione e conservazione di un apposito registro
62. la presenza di idonee strutture di accumulo dei reflui a valle delle sezioni di pretrattamento e trattamento

E.5.1.6 Gestione dei rifiuti prodotti dall'impianto

Per Migliori Tecniche Disponibili si intendono:

63. la caratterizzazione dei rifiuti prodotti al fine di individuare le tecniche più idonee di trattamento e/o recupero
64. il riutilizzo dei contenitori usati (serbatoi, fusti, cisternette, ecc.)
65. l'ottimizzazione, ove possibile, dei sistemi di riutilizzo e riciclaggio all'interno dell'impianto

Trattamento dei fanghi

66. per il trattamento dei fanghi all'interno dell'impianto, le migliori tecniche disponibili sono (può essere utile fare riferimento al paragrafo F.7):
 - concentrare i fanghi applicando le tecniche illustrate nel paragrafo F.7.1
 - stabilizzare i fanghi prima di una ulteriore operazione di trattamento o smaltimento, tramite le tecniche descritte nel paragrafo F.7.2
 - nel caso si effettui l'incenerimento dei fanghi, recuperare l'energia generata al fine di utilizzarla nell'impianto
67. raffreddare il fango proveniente dal processo di essiccamento ad una temperatura inferiore a 50 °C prima del suo stoccaggio. I fanghi essiccati hanno, infatti, caratteristiche alquanto spiccate di infiammabilità. Possono pertanto sussistere rischi di esplosione in presenza di un innesco di accensione o comunque ad una temperatura superiore a 140 °C ed in atmosfera con una concentrazione di ossigeno almeno pari all'8%
68. in particolar modo per i fanghi derivanti dai processi di tipo biologico, può risultare vantaggioso un trattamento integrato di essiccamento ed incenerimento che consente di minimizzare i consumi di combustibile ausiliario. Questi possono essere, infatti, limitati a quelli richiesti nelle operazioni di accensione in quanto l'autotermicità nel forno è garantita in condizioni stazionarie quando venga alimentato un fango sufficientemente concentrato

(limite di concentrazione nel caso del forno a letto fluidizzato pari al 45-50% di secco). Tale scelta tecnologica risulta vantaggiosa anche per effetto della minimizzazione della produzione di fumi con conseguenti sensibili risparmi sui costi di impianto e di esercizio per la depurazione dei fumi

69. la presenza di idonee strutture di accumulo dei fanghi residui
70. i fanghi derivanti dal trattamento dovrebbero essere sottoposti ad analisi periodiche al fine di valutarne il contenuto in metalli pesanti (quali, ad esempio, Cd, Cr (VI e totale), Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, As) e composti organici quali:
 - linear alchil benzen solforato (LAS)
 - composti organici alogenati (AOX)
 - Di(2-etilesil)ftalato (DEHP)
 - Nonilfenolo e nonilfenolo toxilato (NPE)
 - Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)
 - Policlorobifenili (PCB)
 - Policlorodibenzodiossine (PCDD)
 - Policlorodibenzofurani (PCDF)
71. l'ente territorialmente competente deve valutare l'idoneità dei fanghi trattati provenienti dagli impianti di depurazione che ricevono rifiuti liquidi, ai fini del rilascio dell'autorizzazione allo spandimento al suolo degli stessi o per un loro invio ad impianti di compostaggio o trattamento meccanico/biologico

E.5.2 Migliori tecniche e tecnologie per i trattamenti chimico-fisici

E.5.2.1 Criteri generali

72. nella conduzione delle reazioni chimico-fisiche le migliori tecniche devono garantire:
 - a. una chiara definizione, per tutte le operazioni del processo, degli specifici obiettivi e delle reazioni chimiche previste
 - b. una verifica di laboratorio preliminare all'adozione di una qualsiasi nuova combinazione di reazioni o miscelazione di rifiuti liquidi e/o reagenti
 - c. l'utilizzo di reattori specificatamente progettati per il trattamento condotto
 - d. la localizzazione dei reattori in ambienti confinati, dotati di adeguati sistemi di aerazione ed abbattimento degli inquinanti
 - e. il costante monitoraggio delle reazioni al fine di assicurare un corretto svolgimento delle stesse
 - f. che sia evitato il mescolamento di rifiuti liquidi e/o di altri flussi di rifiuti che contengono sia metalli che agenti complessati. A tal fine può essere utile fare riferimento alla tabella E.2
73. rispetto alle diverse caratteristiche dei rifiuti liquidi da trattare sono da prevedere in via indicativa i seguenti processi usualmente praticati anche secondo schemi integrati:
 - a. neutralizzazione per correggere il pH;
 - b. ossidazione e riduzione chimica per la trasformazione di sostanze tossiche (es. cianuri, fenoli, cromati);
 - c. coagulazione e precipitazione chimica per la rimozione degli inquinanti, sotto forma di composti insolubili, e dei solidi sospesi;
 - d. sedimentazione, filtrazione, adsorbimento su carboni attivi o resine;
 - e. processi a membrana e scambio ionico;
 - f. disidratazione dei fanghi;
 - g. rottura delle emulsioni oleose;

- h. distillazione, evaporazione e strippaggio dei solventi.
Eventuali altri processi di trattamento potranno essere previsti in rapporto alle caratteristiche dei rifiuti
74. nel caso in cui lo scarico sia trattato in una successiva sezione biologica la capacità di trattamento chimico-fisico viene determinata dalla necessità di non modificare significativamente le caratteristiche qualitative dello scarico finale e dei fanghi della sezione biologica stessa. Nel caso dei rifiuti liquidi pericolosi dovrebbe essere sempre previsto un pre-trattamento chimico-fisico propedeutico al trattamento biologico
75. nei processi di neutralizzazione deve essere assicurata l'adozione dei comuni metodi di misurazione ed una periodica manutenzione e taratura degli strumenti. Deve essere, inoltre, garantito lo stoccaggio separato dei rifiuti già sottoposti a trattamento i quali, dopo un adeguato periodo di tempo, devono essere ispezionati al fine di verificarne le caratteristiche
76. applicare le seguenti tecniche ai processi di ossidoriduzione:
- abbattere le emissioni gassose durante i processi ossidoriduttivi
 - disporre di misure di sicurezza e di sistemi di rilevazione delle emissioni gassose (es. rilevatori appositi per HCN, H₂S, NO_x)
77. collegare le aree relative ai trattamenti di filtrazione e disidratazione al sistema di abbattimento emissioni dell'impianto
78. aggiungere agenti flocculanti ai fanghi ed ai rifiuti liquidi da trattare, al fine di accelerare il processo di sedimentazione e promuovere il più possibile la separazione dei solidi. Nel caso siano economicamente attuabili, favorire i processi di evaporazione (capitolo D, paragrafo D.2.2.11)
79. applicare tecniche di pulitura rapida, a getto di vapore o ad acqua ad alta pressione, per i sistemi filtranti
80. in assenza di contaminanti biodegradabili, le migliori tecniche devono prevedere l'utilizzo di una combinazione di trattamenti chimici (per la neutralizzazione e la precipitazione) e di trattamenti meccanici (per l'eliminazione di sostanze non disciolte)
81. favorire le tecniche che garantiscano la rigenerazione ed il recupero delle basi e degli acidi contenuti nei rifiuti liquidi e l'utilizzo degli stessi nelle operazioni di chiariflocculazione, precipitazione, ecc. effettuate presso l'impianto (si veda, a tal proposito, la rigenerazione degli acidi forti descritta nel successivo capitolo F, paragrafo F.4)
82. nel caso in cui il rifiuto liquido non sia avviato ad un ulteriore trattamento di tipo biologico, garantire il conseguimento, mediante l'applicazione delle opportune tecniche di rimozione, dei livelli di emissione indicati alla successivo punto 97, per quanto riguarda i metalli pesanti ed, ove possibile, alla successiva Tabella E.5, per quanto riguarda la domanda chimica e biochimica di ossigeno.
83. nel caso di avvio del rifiuto liquido ad un trattamento di tipo biologico la sezione di pre-trattamento chimico-fisico dovrebbe garantire, in linea generale, il raggiungimento dei limiti previsti dalla normativa vigente per gli scarichi delle acque reflue in rete fognaria per quanto riguarda i seguenti parametri: metalli pesanti, oli minerali, solventi organici azotati ed aromatici, composti organici alogenati, pesticidi fosforati e clorurati. I fenoli non dovrebbero superare una concentrazione pari a 10 mg/l.

E.5.2.2 Tecniche specifiche per categoria di inquinante

Oli e Idrocarburi

Le BAT per rimuovere questi inquinanti sono:

84. per ottenere una rimozione di oli ed idrocarburi, nel caso in cui la loro presenza sia abbondante e tale da rendere il rifiuto liquido incompatibile con i trattamenti previsti nell'impianto, è necessario applicare un'appropriata combinazione delle seguenti tecniche:

- separazione tramite ciclone, microfiltrazione o API, o, in alternativa, attraverso l'utilizzo di sistemi a piatti paralleli o corrugati (PPI Parallel Plate Interceptor, CPI Corrugated Plate Interceptor)
- microfiltrazione, filtrazione con mezzi granulari (ad esempio, su sabbia) o flottazione
- trattamenti biologici

Per una descrizione di maggior dettaglio delle tecniche sopra riportate si veda il capitolo D. I livelli di emissione associati all'applicazione delle migliori tecniche disponibili per la rimozione degli oli ed degli idrocarburi sono riportati nella tabella E.3.

Tabella E.3: livelli di emissione associati alle BAT per la rimozione degli oli e degli idrocarburi

Parametro	Concentrazione [mg/l] ^{a 1}
Idrocarburi totali	0.05-1.5
BOD ₅	2-20
COD	30-125
^a media mensile	
¹ Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries" Febbraio 2003	

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Separazione delle emulsioni oleose

Le migliori tecniche di trattamento devono prevedere:

85. l'effettuazione delle seguenti operazioni:
 - a. test o analisi per la verifica della presenza di cianuri nelle emulsioni; se presenti, è necessario ricorrere ad appositi pretrattamenti (si veda successivo punto 79)
 - b. test di simulazione in laboratorio
86. la rottura delle emulsioni oleose ed il recupero dei componenti separati; per favorire la separazione può rendersi necessaria l'aggiunta di flocculanti e/o agenti coagulanti. L'operazione di separazione delle emulsioni oleose dovrebbe essere effettuata nelle prime fasi del trattamento al fine di prevenire effetti indesiderati e danni nei successivi stadi (per dettagli si veda il paragrafo D.2.1.5)
87. nel caso in cui la presenza di emulsioni oleose possa rappresentare fonte di danneggiamento delle strutture poste a valle ma l'operazione di disgregazione delle stesse non sia attuabile, deve essere, comunque, assicurata la loro rimozione mediante appropriate tecniche quali, ad esempio, ossidazione con aria, evaporazione o degradazione biologica.

Solidi sospesi totali (SS)

Le operazioni finalizzate alla rimozione dei solidi sospesi di seguito riportate non comprendono quelle utilizzate nel trattamento dei fanghi attivi e dei composti dei metalli pesanti, che saranno esaminate in altre sezioni.

Le BAT devono prevedere:

88. la rimozione dei solidi sospesi totali, nel caso in cui essi possano rappresentare fonte di danneggiamento delle sezioni dell'impianto poste a valle (ad esempio, raschiatura ed ostruzione di pompe e condutture, deterioramento dei sistemi di trattamento quali filtri, colonne di assorbimento, filtri a membrana, reattori di ossidazione, ecc.). A tal fine deve essere adottata una delle tecniche di trattamento riportate in tabella E.7.

I trattamenti di rimozione dei solidi sospesi prevedono, generalmente, i seguenti stadi:

1° step: sedimentazione/flottazione finalizzata ad intercettare il carico principale di SS al fine di prevenire intasamenti delle sezioni di filtrazione poste a valle e/o evitare il ricorso a frequenti operazioni di lavaggio (solitamente effettuato in controcorrente). Queste tecniche sono, in genere, sufficienti per prevenire fenomeni abrasivi e di ostruzione di pompe e tubature (posto che le emulsioni e i materiali grossolani siano stati precedentemente rimossi);

- 2° step: qualora il contenuto di solidi non sia stato sufficientemente ridotto, al fine di limitare fenomeni di intasamento dei sistemi posti a valle (filtri a membrana, sistemi di adsorbimento, reattori di ossidazione) può essere effettuata una filtrazione meccanica;
- 3° step: nel caso debba essere garantita la totale assenza di solidi (ad esempio, per trattamenti quali nanofiltrazione od osmosi inversa), si può ricorrere ad operazioni di microfiltrazione o ultrafiltrazione
89. una rimozione dei solidi sospesi dai rifiuti liquidi che privilegi tecniche in grado di consentire il successivo recupero dei solidi stessi
 90. l'utilizzo di agenti flocculanti e/o coagulanti in caso di presenza di materiale finemente disperso o non altrimenti separabile, al fine di formare fiocchi di dimensioni sufficienti per la sedimentazione
 91. la copertura o l'isolamento dei locali/sistemi di trattamento qualora gli odori e/o i rumori prodotti dal trattamento possano rappresentare un problema; le emissioni gassose devono essere convogliate, se necessario, ad un apposito sistema di abbattimento. Devono essere, altresì, applicate adeguate misure di sicurezza nel caso si prospettino rischi di esplosioni
 92. una rimozione e un appropriato trattamento e smaltimento dei fanghi derivanti dal processo

Metalli pesanti

Le operazioni di recupero e riutilizzo risultano le sole opzioni attuabili al fine di impedire il rilascio dei metalli pesanti nell'ambiente, poichè essi costituiscono una classe di inquinanti che non può essere distrutta. Tutte le altre opzioni di trattamento determinano, semplicemente, il trasferimento dei metalli da un comparto ambientale all'altro.

Le migliori tecniche di trattamento devono prevedere:

93. la conduzione del processo di precipitazione nelle condizioni ottimali ed in particolare deve essere:
 - a. portato il pH al valore di minima solubilità del composto metallico che si intende precipitare (idrossido, carbonato, solfuro, ecc.)
 - b. evitata l'introduzione di agenti complessanti, cromati e cianuri
 - c. evitata la presenza di materiale organico che potrebbe interferire nei processi di precipitazione
 - d. consentita, quando possibile, la chiarificazione per decantazione, e/o mediante l'aggiunta di additivi, del rifiuto liquido trattato
 - e. favorita la precipitazione mediante la formazione di sali di solfuro, in presenza di agenti complessanti (questa tecnica può causare un incremento della concentrazione di solfuri nel refluo trattato)
94. il trattamento separato dei rifiuti liquidi contenenti metalli pesanti e loro composti e, solo successivamente, la loro eventuale miscelazione con altre tipologie di rifiuto liquido;
95. l'applicazione di tecniche in grado di privilegiare il recupero di materia; tali tecniche sono elencate in tabella E.8
96. nel trattamento di rifiuti liquidi contenenti composti del Cromo (VI) l'applicazione delle seguenti tecniche:
 - a. evitare il mescolamento di rifiuti contenenti Cromo (VI) con altri rifiuti
 - b. ridurre il Cr(VI) a Cr(III) (si veda capitolo F, paragrafo F.3)
 - c. favorire la precipitazione del metallo trivalente
97. il conseguimento, mediante l'applicazione di una o più tecniche di trattamento opportunamente combinate tra loro, dei livelli di emissione previsti dalla normativa vigente in materia di acque e, per alcuni specifici metalli, ove possibile, dei livelli indicati in Tabella E.4

Tabella E.4: livelli di emissione associati alle BAT per la rimozione dei metalli

Parametro	Livello di emissione (mg/L)
Cr (totale)	<0,05 (comunque < 1)
Cu	<0,05 (comunque <0,1)
Ni	<0,05 (comunque < 1)
Pb	<0,05 (comunque <0,2)
Zn	<0,05 (comunque < 0,5)
As	< 0,1
Cd	<0,002 (comunque <0,02)
Cr (VI)	<0,002 (comunque <0,2)
Hg	<0,003 (comunque <0,005)

Fonte: elaborazioni su dati tratti dal "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"

98. la semplificazione dei successivi trattamenti di eliminazione dei metalli pesanti (ad esempio negli impianti centralizzati di trattamento delle acque reflue)

Sali e/o acidi inorganici

La presenza di sali e/o acidi inorganici in un rifiuto liquido o in un refluo può influenzare sia la biosfera del corpo idrico recettore (ad esempio fiumi di piccole dimensioni che ricevono input caratterizzati da elevati carichi salini) che la operatività del sistema fognario (ad esempio corrosione di tubature, pompe e valvole o malfunzionamento dei processi biologici).

Sono da considerarsi migliori tecniche disponibili:

99. un appropriato trattamento dei rifiuti liquidi contenenti sali e/o acidi inorganici, mediante il ricorso alle tecniche illustrate in tabella E.9
100. qualora attuabile, il ricorso a tecniche di trattamento che permettano il recupero ed il riutilizzo, nel rispetto delle normative vigenti, dei contaminanti separati, previa valutazione dei rispettivi effetti trasversali ed impatti ambientali

Cianuri, nitriti, ammoniaca

101. Nel trattamento di rifiuti liquidi contenenti cianuri applicare le seguenti tecniche:
- garantire l'eliminazione dei cianuri mediante ossidazione (si veda anche capitolo F, paragrafo F.2)
 - aggiungere soda caustica in eccesso per prevenire l'acidificazione della soluzione
 - evitare il mescolamento di rifiuti contenenti cianuro ed acidi
 - monitorare l'avanzamento delle reazioni tramite misure del potenziale elettrico
102. applicare le seguenti tecniche nel trattamento di rifiuti liquidi contenenti nitriti:
- evitare il mescolamento di rifiuti contenenti nitriti con altri rifiuti
 - monitorare ed evitare emissioni di NOX durante il processo di ossidoriduzione
103. applicare le seguenti tecniche al trattamento di rifiuti liquidi contenenti ammoniaca:
- utilizzare un sistema di strippaggio ad aria con scrubber acido per rifiuti contenenti soluzioni di ammoniaca fino al 20% in peso
 - recuperare l'ammoniaca dagli scrubber
 - eliminare l'ammoniaca rimossa dalla fase gassosa mediante lavaggio acido, con acido solforico, per produrre solfato di ammonio
 - effettuare campionamenti di aria anche nelle sezioni di filtropressatura o nei camini, al fine di garantire il monitoraggio completo delle emissioni di composti organici volatili

Inquinanti non idonei ai trattamenti biologici

Alcuni flussi di rifiuti liquidi possono rivelarsi non adatti ai trattamenti di tipo biologico. La presenza di quantitativi eccessivi di sostanze tossiche o valori di COD scarsamente biodegradabile troppo elevati possono, infatti, inibire o danneggiare i processi biologici al punto tale da renderli sconsigliabili.

Non è possibile prevedere esattamente quali contaminanti risultano effettivamente inibitori dei processi biologici poiché questo dipende, in larga parte, dalla specifica tolleranza sviluppata dai pool di microrganismi nei confronti delle diverse classi di contaminanti.

Per il trattamento dei composti non idonei ai processi di tipo biologico deve essere previsto:

104. qualora essi siano presenti in concentrazioni elevate, la rimozione prima di ogni altro trattamento, ricorrendo, ad esempio, ad operazioni di strippaggio
105. l'utilizzo di una delle tecniche elencate in tabella E.10 preliminarmente, o in alternativa, al trattamento biologico. La scelta della tecnica più appropriata è decisamente sito-specifica, dipendendo dalle caratteristiche dell'impianto, dalla composizione del rifiuto liquido, dal livello di adattamento dei microrganismi e dalle caratteristiche del corpo idrico recettore.
106. l'utilizzo di tecniche che consentono, qualora possibile, di recuperare le sostanze separate, tra cui (per una descrizione di maggior dettaglio delle tecniche di seguito riportate si veda il capitolo D):
 - nanofiltrazione/osmosi inversa
 - adsorbimento, applicando gli accorgimenti più appropriati
 - estrazione
 - distillazione/rettifica
 - evaporazione
 - strippaggio
107. l'utilizzo di tecniche che non richiedono combustibili addizionali, qualora il recupero di materia non sia attuabile e le tecniche di abbattimento utilizzate in altre sezioni dell'impianto garantiscano il raggiungimento di risultati soddisfacenti. Nel caso sia previsto un trattamento biologico a valle, può essere sufficiente trasformare il carico organico bio-refrattario in composti biodegradabili, mediante l'utilizzo di tecniche quali:
 - ossidazione chimica (tenendo presente che si possono formare composti organici clorurati, qualora siano utilizzati agenti ossidanti a base di cloro)
 - riduzione chimica
 - idrolisi chimica
108. si devono, inoltre, prendere in considerazione i consumi di acqua associati ai seguenti trattamenti:
 - estrazione
 - distillazione/rettifica
 - evaporazione
 - strippaggio

E.5.3 Migliori tecniche e tecnologie per i trattamenti biologici**E.5.3.1 Criteri generali**

Le migliori tecniche devono prevedere:

109. l'utilizzo di una delle seguenti tecniche per lo stoccaggio e la movimentazione:
 - a. il ricorso a sistemi automatizzati di apertura e chiusura delle porte al fine di garantire che le stesse rimangano aperte per periodi limitati
 - b. dotare l'area di sistemi di collettamento dell'aria esausta
110. il controllo delle caratteristiche del rifiuto in ingresso al fine di verificarne l'idoneità al trattamento, adattando i sistemi di separazione dei diversi flussi in funzione del tipo di

trattamento previsto e della tecnica di abbattimento applicabile (ad esempio, in funzione del contenuto di composti non biodegradabili). Al trattamento biologico dovrebbero essere ammessi esclusivamente i rifiuti liquidi non pericolosi con concentrazioni inferiori ai valori limite previsti dalla normativa vigente per lo scarico delle acque reflue in rete fognaria per i seguenti parametri: metalli pesanti (si veda anche il precedente punto 98), oli minerali, solventi organici azotati ed aromatici, composti organici alogenati, pesticidi fosforati e clorurati

111. l'utilizzo delle seguenti tecniche, nel caso sia applicata la digestione anaerobica:
 - a. sviluppo di una adeguata integrazione del processo all'interno del sistema di gestione delle acque
 - b. il riciclaggio del massimo quantitativo possibile di refluo nel reattore
 - c. garantire che il sistema operi in condizioni termofiliche
 - d. effettuare misure di TOC, COD, N, P e Cl nei flussi entranti ed uscenti
 - e. massimizzare la produzione di biogas
112. nel caso in cui il trattamento biologico sia preceduto da una sezione di pretrattamento chimico-fisico la capacità di quest'ultima deve essere determinata in modo da non modificare significativamente le caratteristiche qualitative dello scarico finale e dei fanghi della sezione biologica
113. nel caso di impianti misti, in cui la sezione di trattamento biologica è destinata anche al trattamento di acque di processo o reflui di fognatura, il quantitativo massimo di rifiuti liquidi trattati in conto terzi e convogliati al processo biologico non dovrebbe superare il 10% della quantità totale trattata dallo stesso. Il trattamento dei rifiuti liquidi in impianti di depurazione di acque reflue urbane non deve, comunque, pregiudicare il mantenimento di un'adeguata capacità residua dell'impianto valutata in rapporto al bacino di utenza dell'impianto stesso ed alle esigenze di collettamento delle acque reflue urbane derivanti dalle utenze non ancora servite
114. il conseguimento, ove possibile, dei livelli di emissione riportati in Tabella E.5 per quanto riguarda la domanda chimica e biochimica di ossigeno (tali valori limite devono intendersi validi anche nel caso di impianti che effettuano esclusivamente il trattamento chimico-fisico dei rifiuti liquidi)

Tabella E.5: livelli di emissione associati alle BAT per la rimozione del COD e del BOD

Parametro	Livello di emissione (mg/L)
COD	20 -120
BOD	2 - 20

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries"

E.5.3.2 Tecniche specifiche per alcune tipologie di sostanze ed impianti di trattamento

Sostanze biodegradabili

Le migliori tecniche di trattamento sono:

115. rimozione delle sostanze biodegradabili dai rifiuti liquidi utilizzando uno dei trattamenti biologici elencati nella tabella E.11 o una loro opportuna combinazione. Nel caso in cui siano applicati processi anaerobici, può essere richiesto un successivo trattamento aerobico. Un sistema di trattamento anaerobico può offrire il vantaggio di sfruttare l'energia derivante dalla combustione del metano prodotto, e di ottenere una consistente riduzione complessiva della produzione di fanghi attivi in eccesso (bassi rendimenti di crescita).
116. l'applicazione di tecniche di nitrificazione/denitrificazione (si veda, ad esempio, il capitolo F, paragrafo F.6) nel caso in cui il rifiuto liquido sia dotato di un elevato carico di azoto. In

presenza di condizioni favorevoli, le tecniche di nitrificazione/denitrificazione possono essere facilmente applicate ad impianti esistenti.

117. il percolato di discarica individuato come rifiuto pericoloso dal codice dell'Elenco Europeo dei rifiuti dovrebbe essere, in ogni caso, sottoposto a trattamenti preliminari di tipo chimico-fisico prima del suo avvio alla sezione di trattamento biologico (può essere utile far riferimento a quanto riportato nel capitolo F, paragrafo F.9 e nel capitolo G, paragrafo G.4). Il percolato individuato come non pericoloso dal codice dell'Elenco Europeo dei rifiuti dovrebbe essere sottoposto a preventiva analisi al fine di valutarne l'idoneità all'immissione diretta al depuratore biologico.

Impianti centralizzati di trattamento biologico

Le tecniche da applicare in un impianto centralizzato di trattamento biologico che riceve rifiuti liquidi sono:

118. evitare l'introduzione nell'impianto di rifiuti liquidi non biodegradabili o non idonei ad essere adeguatamente trattati dagli specifici sistemi presenti nell'impianto
119. miscelare opportunamente i reflui ed i rifiuti in entrata al fine di favorire l'equalizzazione dei rispettivi carichi di inquinanti e sfruttare gli effetti sinergici
120. trattare il rifiuto liquido in entrata utilizzando una combinazione dei seguenti trattamenti:
- chiarificazione primaria comprensiva di sistemi di pre-miscelamento
 - aerazione (in bacino o serbatoio) ad uno o due stadi con successiva chiarificazione
 - filtrazione o flottazione ad aria per limitare la presenza di fiocchi, non facilmente separabili, nei fanghi attivi
 - in alternativa al 2° e 3° punto, è possibile utilizzare un bacino o un serbatoio di aerazione dotato di membrane da ultrafiltrazione o microfiltrazione

In generale i livelli di emissione di BOD associati all'applicazione delle BAT risultano, a valle del trattamento, inferiori a 20 mg/l. [Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"]

Tabella E.6: Tecniche di trattamento associate con le BAT per le emissioni gassose – rimozione dei composti organici volatili (I)

	Scrubber a umido (torri di lavaggio)	Adsorbimento	Condensazione
Scopo	Trasferimento di materiale dalla fase gassosa a quella liquida	Trasferimento di materiale dalla fase gassosa a quella liquida	Liquefazione per raffreddamento
Applicazione	Primo o secondo stadio di trattamento per il controllo dei composti organici volatili, degli inorganici e delle polveri, a seconda delle specifiche tecniche dello scrubber	Rimozione di composti organici volatili, sostanze odorigene, diossine Diverse varianti tecniche	Rimozione di composti organici volatili da flussi gassosi concentrati Pretrattamento prima di sistemi di abbattimento, scrubbing, adsorbimento
Limiti di applicazione	Le temperature ottimali per lo scrubbing ad acqua, senza reagenti chimici, sono sotto i 40 °C Concentrazione polveri: a seconda delle specifiche tecniche dello scrubber	Flussi fino a 100.000 Nm ³ /h Temperature < 80 °C (GAC) < 250 °C (Zeoliti) Basso contenuto di polveri	Flussi fino a 100.000 Nm ³ /h Temperature < 80 °C Basso contenuto di polveri (<50 mg /Nm ³)
Consumi	Liquidi di scrubbing e di raffreddamento Agenti chimici (acidi, alcalini, ossidanti) Energia: 0.2-1 kWh/1000 Nm ³ Vapore per stripping (adsorbimento) Caduta di Pressione: 0.4 – 0.8 kPa	Azoto o vapore Acque di raffreddamento Caduta di Pressione: 2-5 kPa	Liquidi di raffreddamento Energia: Caduta di Pressione: 0.1-0.2 kPa
Effetti trasversali	Acque reflue da inviare a idoneo trattamento	Smaltimento materiali adsorbenti	
Prestazioni raggiungibili (% rimozione di inquinante)	COV fino al 99 (comunque superiore al 50) Composti inorganici 90-99 SO ₂ 80-99	COV 80-95 Composti odorigeni 80-95 H ₂ S 80-95	
Livelli di emissione raggiungibili (mg/ Nm³)	HF <1 HCl <10 (<50 con acqua) SO ₂ <40	Hg <0.05 Diossine < 0.1 ng/ Nm ³ TEQ	

Tabella E.6: Tecniche di trattamento associate con le BAT per le emissioni gassose – rimozione dei composti organici volatili (II)

	Ossidazione termica	Trattamenti biologici (filtrazione/scrubbing/filtri percolatori)
Scopo	Ossidazione	Degradazione biologica ad opera di microorganismi
Applicazione	Trattamento di emissioni con elevate concentrazioni di COV, trattamento finale di sostanze pericolose	Rimozione di inquinanti solubili in acqua a basse concentrazioni: NH ₃ , ammine, idrocarburi, H ₂ S, toluene, stirene, sostanze osmogene
Limiti di applicazione	Flussi fino a 86.000 Nm ³ /h Temperatura: 800-1.200 °C	Non idonei a flussi con caratteristiche discontinue Determinate condizioni ambientali (freddo, umidità, temperature elevate) possono condizionare le prestazioni e danneggiare i filtri La presenza di NH ₃ può causare problemi
Consumi	Combustibile nelle fasi di avvio Energia: 3-8 kWh/1000 Nm ³ Caduta di Pressione: 1-5 kPa	Acqua (scrubbing e filtri percolatori) Energia: < 1kWh/1.000 Nm ³ Agenti chimici (nutrienti, regolazione pH) Caduta di Pressione: 0.2-2 kPa
Effetti trasversali	CO e NO _x nelle emissioni	Smaltimento materiale filtrante Emissione sostanze osmogene (scrubbing, filtri percolatori)
Prestazioni raggiungibili (% rimozione di inquinante)	COV 95-99	COV 75-99 Composti inorganici 80-95 Sostanze osmogene 70-95
Livelli di emissione raggiungibili (mg/Nm³)	TOC 1-4	Dipendono dalla concentrazione in ingresso

Tabella E.7: Tecniche di trattamento associate con le BAT per i solidi sospesi

	Sedimentazione (paragrafo D.2.1.1)	Flottazione (paragrafo D.2.1.2)	Filtrazione (paragrafo D.2.1.3)	Microfiltrazione/ Ultrafiltrazione (paragrafo D.2.1.4)
Scopo	Rimozione solidi sospesi	Rimozione solidi sospesi	Stadio di separazione dopo sedimentazione o flottazione, per raggiungere minimi valori di particolato	Chiarificazione completa, adeguata per trattamenti finali
Applicazione	Separazione dei solidi	Separazione di solidi non sedimentabili e olio	Separazione dei solidi	Separazione di tutti i materiali solidi, soluzioni colloidali, batteri e virus
Limiti di applicazione	Nessun limite al contenuto di SS Non applicabile ad emulsioni stabili	Deve essere evitata la presenza di detergenti schiumogeni Nessun limite alla concentrazione in entrata	Evitare solidi finemente dispersi e melmosi Concentrazioni elevate di SS causano intasamenti delle membrane	Le membrane sono vulnerabili ad attacchi chimici Necessaria una bassa concentrazione di SS in entrata, al fine di evitare intasamento
Consumi	Agenti chimici: 0.5-100 g/m ³ Energia: 0.5-1.5 kW (struttura di diametro 25-35 m)	Aria compressa: 0.53-0.55 m ³ /m ³ Agenti flocculanti: 2.4-4.7 kg/t SS Energia: 20.6 kWh/1000 m ³	Coadiuvanti per la filtrazione Caduta di pressione Energia	Composti chimici anticorrosivi, coadiuvanti e di lavaggio Energia relazionata al flusso ed alla caduta di pressione: 2-20 kWh/ m ³ (MF) 1-10 kWh/ m ³ (UF) Caduta di pressione: 0.02-0.5 MPa (MF) 0.2-1 MPa (UF)
Effetti trasversali	Smaltimento fanghi Emissioni rumorose da pompe e sistema rimozione fanghi Emissioni osmogene (es. COV) da strutture scoperte	Smaltimento fanghi Emissioni rumorose da pompe e insufflatori Emissioni osmogene (es. COV) da strutture scoperte, maggiori rispetto alla sedimentazione	Smaltimento fanghi dopo il lavaggio dei filtri	Smaltimento residui Emissioni rumorose da pompe
Requisiti volumetrici	Dipende dalla tipologia della struttura	Minori rispetto alla sedimentazione		Sistema modulare Requisiti minori rispetto alle altre tecniche

	Sedimentazione (paragrafo D.2.1.1)	Flottazione (paragrafo D.2.1.2)	Filtrazione (paragrafo D.2.1.3)	Microfiltrazione/ Ultrafiltrazione (paragrafo D.2.1.4)
Prestazioni raggiungibili (% rimozione di inquinante)	SS 60-90 Solidi sedimentabili 90-95	oltre 98 (comunque non inferiore all'85) Solfuri di metalli pesanti: 95	Dipende dalle specifiche del sistema di filtrazione SS fino al 99 (comunque superiore al 50)	SS circa il 100
Livelli di emissione raggiungibili (mg/l)	SS < 10	SS 10-20 Oli 2-10	SS < 10 Oli < 5	
Applicabilità ad impianti già esistenti	A seconda della disponibilità di spazio	Possibile	Possibile	Possibile

Tabella E.8: Tecniche di trattamento associate con le BAT per i metalli pesanti

	Precipitazione/ Sedimentazione o Flottazione ad aria / Filtrazione	Scambio Ionico (paragrafo D.2.2.4)	Nanofiltrazione/Osmosi Inversa (paragrafo D.2.2.1)
Scopo	Trasferire metalli pesanti disciolti in composti insolubili e separarli dal flusso	Rimozione degli ioni dei metalli pesanti nella fase acquosa	Separazione degli ioni di metalli pesanti attraverso apposite membrane Elevati grado di rimozione
Applicazione	Rimozione dei metalli pesanti, preferibilmente per flussi con alte concentrazioni	Soluzioni contenenti ioni di metalli pesanti Consente il recupero di materia	Soluzioni contenenti ioni di metalli pesanti Consente il recupero di materia
Limiti di applicazione	Evitare la formazione di agenti complessati Importante regolare il pH Non applicabile quando la concentrazione è minore della solubilità del precipitato	Temperature massime attorno ai 60 °C Gli agenti corrosivi danneggiano le resine	Concentrazioni con pressioni osmotiche troppo elevate Bassa resistenza chimica e termica
Consumi	Agenti precipitanti Flocculanti/Coagulanti Energia per le pompe	Liquidi di rigenerazione Anti – incrostanti Energia	Agenti chimici per la pulitura Energia : 1-3 kWh/m ³ Caduta di pressione: 0.5-3 MPa (NF) 2-100 MPa (OI)
Effetti trasversali	Smaltimento dei fanghi Possibili emissioni osmogene	Il processo di rigenerazione produce soluzioni ad alta concentrazione di metalli pesanti (per il recupero o lo smaltimento)	Le soluzioni concentrate risultanti necessitano di ulteriori trattamenti (es. scambio ionico)
Requisiti volumetrici		Relativamente limitati (comparabili alla nanofiltrazione / osmosi inversa)	Relativamente limitati (comparabili allo scambio ionico)
Prestazioni raggiungibili (% rimozione di inquinante)	Precipitazione chimica: Hg: prossima al 100% con solfuro	80-99	Hg inorganico > 90 (NF) Hg organico > 90 (NF) Composti del Cd >90 (NF) Vicini al 100% con l'Osmosi Inversa
Livelli di emissione raggiungibili (mg/l)	Precipitazione chimica: Hg: 0,01-0,02 con solfuro Zn: 0,1-0,2 come idrossido; 0,02 – 0,05 se accoppiata a filtrazione su sabbia	0,1-10	Molto bassi (prossimi allo zero) con l'Osmosi Inversa
Applicabilità ad impianti già esistenti	Possibile	Relativamente semplice	

Tabella E.9: Tecniche di trattamento associate con le BAT per i sali inorganici e/o acidi

	Evaporazione (paragrafo D.2.2.11)	Scambio Ionico (paragrafo D.2.2.4)	Osmosi Inversa (paragrafo D.2.2.1)	Rimozione biologica dei solfati (paragrafo F.5)
Scopo	Distillazione di acqua con la formazione di un residuo solido concentrato	Rimozione di determinati ioni nella fase acquosa	Separazione dei contaminanti	Reazione anaerobica dei solfati a zolfo, attraverso i solfuri
Applicazione	Cristallizzazione dei sali inorganici per la loro separazione dalle acque Concentrazione di altre sostanze non volatili Consente il recupero di materia	Soluzioni contenenti sali, anche con la presenza di metalli pesanti Consente il recupero di materia	Ottenere alto grado di purezza per riciclare e riutilizzare le acque Aumento di concentrazione per ulteriori trattamenti Consente il recupero di materia	Rimozione dei solfati da acque reflue che ne contengono in abbondanza Può anche rimuovere metalli pesanti come solfuri Recupero dello zolfo generato
Limiti di applicazione	Evitare le sostanze schiumogene Non applicabile ad inquinanti volatili	Temperatura massima: circa 60 °C Gli agenti corrosivi possono danneggiare le resine	Concentrazioni con pressioni osmotiche troppo elevate Bassa resistenza chimica e termica	Reazione molto lenta, lungo tempo di residenza COD/solfati deve essere almeno 1:1
Consumi	Agenti chimici quando è necessario un pretrattamento Energia	Liquidi per la rigenerazione Antincrostanti Energia per le pompe	Agenti chimici per pulizia Energia: 1-3 kWh/m ³ Caduta di pressione: 2-100 MPa	Composti chimici (agenti neutralizzanti, flocculanti, coadiuvanti) Energia
Effetti trasversali	Il concentrato potrebbe richiedere ulteriore trattamento	Il recupero porta a soluzioni di sali ad alta concentrazione	Il concentrato richiede ulteriore trattamento (ad es. scambio ionico per il recupero)	Zolfo da riutilizzare
Requisiti volumetrici	Relativamente limitati	Relativamente limitati	Relativamente limitati	
Prestazioni raggiungibili (% rimozione di inquinante)	Rimozione completa dei sali	80-99	Fino al 100%	Solfati: intorno al 95 Zinco: > 99 Cadmio: > 99
Livelli di emissione raggiungibili (mg/l)		0,1-10	Molto bassi (prossimi allo zero)	Solfati: 75 Zinco: 0,05-0,15 Cadmio: < 0,01

Tabella E.10: Tecniche di trattamento associate con le BAT per le sostanze inquinanti non idonee ai trattamenti biologici (I)

	Ossidazione (paragrafo D.2.2.6)	Riduzione (paragrafo D.2.2.8)	Ossidazione ad aria umida – “Wet Air Oxidation” (paragrafo D.2.2.7)
Scopo	Conversione degli inquinanti tramite H ₂ O ₂ con UV o sali ferrosi, O ₃ , O ₃ /UV, Cl ₂ , ClO ₂ , ClO ⁻	Conversione degli inquinanti tramite SO ₂ , NaHSO ₃ , FeSO ₄ , NaHS	Reazione con O ₂ in fase acquosa, alta T ed alta P, normalmente in presenza di catalizzatori
Applicazione	Ossidazione di materiale inorganico Può sostituire il trattamento biologico	Riduzione di materiale inorganico	Ossidazione di composti organici Protezione dei trattamenti biologici da materiale bio-refrattario (recalcitrante) Trasformazione del COD in sostanze biodegradabili Può sostituire il trattamento biologico
Limiti di applicazione	L'irradiazione UV richiede l'assenza di solidi nelle soluzioni (reflui) Attenzioni particolari per il trattamento di agenti ossidanti clorurati ed inquinanti organici	Numero di applicazioni limitato Accurato controllo del pH e del potenziale chimico di riduzione	Non raccomandato per basse concentrazioni di COD Fluoruri < 10 mg/l Basse concentrazioni saline (corrosione)
Consumi	Agenti ossidanti Agenti deputati alla distruzione del surplus di ossidanti Energia	Agenti riducenti Agenti deputati alla distruzione del surplus di riducenti Energia	Aria o Ossigeno Energia richiesta per T e P
Effetti trasversali	Gli agenti ossidanti contenenti cloro possono creare con gli inquinanti organici ulteriori composti organici alogenati	Il rilascio di sostanze gassose deve essere convogliato verso adeguati trattamenti	I coprodotti di reazione gassosi e liquidi possono richiedere un adeguato trattamento a valle
Prestazioni raggiungibili (% rimozione di inquinante)	TOC > 90		COD: fino al 90 (comunque >60) nei processi a bassa pressione, 90 nei processi ad alta pressione

Tabella E.10: Tecniche di trattamento associate con le BAT per le sostanze inquinanti non idonee ai trattamenti biologici (II)

	Nanofiltrazione / Osmosi Inversa (paragrafo D.2.2.1)	Adsorbimento (paragrafo D.2.2.3)	Estrazione (paragrafo D.2.2.12)
Scopo	Separazione della maggior parte dei contaminanti	Trasferimento degli inquinanti solubili dalla fase acquosa ad un adsorbente	Trasferimento degli inquinanti solubili dalla fase acquosa ad un solvente
Applicazione	Raggiungimento di un elevato grado di purezza per riciclare e riutilizzare le acque Aumento di concentrazione degli inquinanti per ulteriori trattamenti successivi Consente il recupero di materia	Rimozione di inquinanti organici non biodegradabili, odorigeni e tossici Consente il recupero di materia	Rimozione di inquinanti organici non biodegradabili, odorigeni e tossici Consente il recupero di materia Non indicato come trattamento finale
Limiti di applicazione	Concentrazioni con pressioni osmotiche troppo elevate Bassa resistenza chimica e termica	Basso carico inquinante, altrimenti l'adsorbente si esaurisce troppo velocemente Limitate concentrazioni di SS Efficienza dipendente dalle proprietà fisiche dell'inquinante (basse efficienze associate a basso peso molecolare, alta polarità ed alta solubilità)	Rifiuti liquidi preferibilmente liberi da solidi sospesi ed emulsioni Dipende dalla idoneità del solvente
Consumi	Agenti chimici per la pulizia Elevati consumi energetici	Adsorbenti Agenti chimici per la rigenerazione Energia per le pompe ed i processi di rigenerazione (temperature elevate)	Utilizzo di solventi per l'estrazione Energia per le pompe Energia per il recupero successivo del solvente (ad es.: distillazione / rettifica)
Effetti trasversali	La concentrazione di inquinanti richiede ulteriori trattamenti	I gas coprodotti durante la rigenerazione richiedono trattamento La rigenerazione porta alla produzione di residui	I reflui residui necessitano di trattamento per eliminare i solventi disciolti (ad es.: strippaggio) I residui di trattamento da recupero del solvente, se non recuperati, vanno inceneriti I gas coprodotti durante la rigenerazione richiedono trattamento
Prestazioni raggiungibili	Efficienza elevata	Efficienza elevata, a seconda dell'inquinante	Buona efficienza per particolari inquinanti con elevate concentrazioni all'input

Tabella E.10: Tecniche di trattamento associate con le BAT per le sostanze inquinanti non idonee ai trattamenti biologici (III)

	Distillazione / Rettifica (paragrafo D.2.2.10)	Evaporazione (paragrafo D.2.2.11)	Strippaggio (paragrafo D.2.2.9)
Scopo	Trasferimento dei contaminanti volatili dalla fase acquosa, con successiva condensazione dei vapori arricchiti	Distillazione di acqua con la formazione di un residuo solido concentrato	Trasferimento di inquinanti volatili nella fase gassosa tramite un lavaggio del rifiuto liquido con aria
Applicazione	Pretrattamento per rimuovere i contaminanti principali prima di ulteriori step di trattamento Rimozione di composti bio-refrattari e/o tossici	Concentrazione del refluo al fine di ottenere sostanze riciclabili, o precedentemente al trattamento termico Concentrazione di altre sostanze non volatili Consente il recupero di materia	Rimozione di composti volatili organici ed inorganici Consente il recupero di materia
Limiti di applicazione	Utilizzo limitato Necessaria l'assenza di solidi Richiede elevate concentrazioni di inquinante nel flusso in entrata Necessaria una adeguata differenza tra i punti di ebollizione degli inquinanti volatili e l'acqua	Evitare sostanze schiumogene Non applicabile ad inquinanti volatili	Reflui con basso contenuto di solidi sospesi
Consumi	Vapore per il riscaldamento Energia	Agenti chimici quando è necessario un pretrattamento Energia	Agenti anti-incrostanti Energia
Effetti trasversali	Richiede ulteriori trattamenti I gas prodotti devono essere convogliati ad un sistema di trattamento delle emissioni	Il concentrato potrebbe richiedere ulteriore trattamento	I flussi gassosi necessitano di adeguato trattamento
Prestazioni raggiungibili (% rimozione di inquinante)	Buone prestazioni per determinati inquinanti sotto particolari condizioni	Rimozione quasi completa dell'inquinante, eccetto per le sostanze volatili	Elevata efficienza

Tabella E.11: Tecniche di trattamento associate con le BAT per i trattamenti biologici

	Trattamento anaerobico (paragrafo D.3.2)	Trattamento aerobico (paragrafo D.3.1)	
		Fanghi attivi	Filtro percolatore
Scopo	Conversione del materiale organico tramite microorganismi in assenza di aria (ossigeno)	Conversione del materiale organico tramite microorganismi in presenza di ossigeno disciolto, iniettato come aria od ossigeno puro	
Applicazione	Pretrattamento di reflui caratterizzati da elevato carico organico e flussi di caratteristiche costanti	Pretrattamento di reflui caratterizzati da elevato carico organico Utilizzato come sistema centrale di trattamento biologico	Pretrattamento o primo stadio del trattamento biologico, al fine di rimuovere i contaminanti più facilmente degradabili e migliorare la qualità dei fanghi
Limiti di applicazione	Processo molto sensibile alla presenza di sostanze tossiche o inibenti	Sensibili agli agenti inibitori, sebbene ceppi di microorganismi particolarmente adattati possono operare in presenza di moderate concentrazioni Temperature massime 30-35 °C	
Consumi	Agenti chimici per la neutralizzazione Energia	Aria od Ossigeno Agenti chimici per la neutralizzazione Agenti flocculanti Nutrienti: 23-42 kg/t COD Energia : 9.5 kWh/m ³	Aria Agenti chimici per la neutralizzazione Energia
Effetti trasversali	Il biogas può essere utilizzato come gas combustibile Rispetto ai processi biologici produce solo il 10% di fanghi in eccesso	Produzione di fanghi in eccesso circa 10 volte maggiore rispetto al trattamento anaerobico, necessario un trattamento adeguato Alto input energetico, per via del sistema di aerazione Emissioni odorigene e sonore	Fanghi in eccesso
Requisiti volumetrici	Minori rispetto ai trattamenti biologici	Consistenti	Relativamente modesti
Prestazioni raggiungibili (% rimozione di inquinante)	COD: 75-90 In combinazione con un processo biologico aerobico: COD: oltre 95 BOD: oltre 99 (comunque > 95)	BOD: oltre 99 (comunque > 95) COD: oltre 95 (comunque > 75) oltre 95 (membrana, comunque > 90) Indice fenoli: > 99 Azoto totale inorganico: >80 (membrana) NH ₄ -N: oltre 95 (membrana)	BOD: fino al 90, comunque > 40 (1 stadio) 85-95 (2 stadi)
Livelli di emissione raggiungibili (mg/l)		Solidi sospesi totali: 10	

	Trattamento anaerobico (paragrafo D.3.2)	Trattamento aerobico (paragrafo D.3.1)	
		Fanghi attivi	Filtro percolatore
Applicabilità ad impianti già esistenti	Necessario convogliare il metano prodotto in appositi serbatoi, o provvedere adeguatamente alla sua combustione	Dipendente dalle dimensioni	Semplice

F) APPROFONDIMENTO, OVE NECESSARIO, DELLE TECNICHE ANALIZZATE NEI BREF COMUNITARI E DEFINIZIONE, OVE POSSIBILE, DEL RANGE DI PRESTAZIONE DELLE DIVERSE TECNICHE

F.1 Introduzione

Nel presente capitolo vengono approfonditi, sulla base di quanto riportato nel “Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries” e nel “Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water Gas Treatment/Management System in the Chemical Sector”, i trattamenti dei rifiuti liquidi contenenti specifiche tipologie di inquinanti (quali, ad esempio, cromo esavalente, cianuri, acidi forti ecc.), i processi di rimozione biologica dell’azoto, dello zolfo e dei metalli pesanti ed i trattamenti dei fanghi. Viene, inoltre, effettuato un approfondimento della tecnica di ossidazione con ozono, già menzionata tra i trattamenti di ossidazione chimica, nel capitolo D, paragrafo D.2.2.6.

F.2 Trattamento di rifiuti liquidi contenenti cianuri

I cianuri devono essere rimossi dai reflui, prima che questi ultimi vengano avviati ai successivi trattamenti.

Il processo da adottare è quello di ossidazione dei cianuri a cianato e successiva idrolisi in ambiente alcalino per idrossido di sodio; l’agente ossidante scelto è il sodio ipoclorito in soluzione al 14-15% in cloro attivo.

La rimozione dei cianuri è propedeutica ai successivi trattamenti dei reflui industriali che li contengono ed è condizione essenziale per rendere i corpi d’acqua superficiali acque di buona qualità.

Dati operativi

La reazione iniziale, istantanea per ogni valore di pH, forma clorocianato (CNCl), composto volatile, tossico e di odore caratteristico.

Con l’idrolisi, il clorocianato si trasforma in cianato (CNO⁻), sale solubile che possiede una tossicità valutata in un millesimo rispetto a quella del cianuro.

La cinetica della reazione di idrolisi del clorocianato dipende dal pH e diminuisce considerevolmente per valori di pH inferiori a 8. Per pH maggiori di 8,5 la reazione avviene in modo completo in circa 40 minuti: il tempo di reazione è, comunque, sensibilmente influenzato dalla natura dei metalli, sempre presenti nelle soluzioni, che complessano i cianuri. La reazione avviene a temperatura ambiente: le modeste variazioni di temperatura che si possono verificare non modificano in modo sensibile l’andamento del processo. L’ossidazione a cianato è abbastanza veloce per i metalli Zn, Cd e Cu (3-5 minuti), mentre per Ag, Ni e Fe è più lenta. Per il Ni occorrono 40 minuti.

Il raggiungimento dell’equilibrio di reazione può, comunque, essere accelerato dalla presenza di un eccesso di ipoclorito. Il dosaggio supplementare di ipoclorito ossida il cianato a biossido di carbonio e azoto; la cinetica della reazione rallenta notevolmente per valori di pH maggiori di 8,5.

Per far avvenire la reazione in modo completo occorre utilizzare dosaggi di ipoclorito con un eccesso che supera molto raramente il 20% rispetto al fabbisogno stechiometrico (2,5 equivalenti di NaOCl per ogni equivalente di CN⁻).

La reazione viene seguita mediante controllo in continuo del pH, del potenziale RedOx e della temperatura.

All’aggiunta di ipoclorito si possono registrare diminuzioni di pH tali da dover adottare un’azione correttiva. L’aggiunta di soda, che si effettua nella seconda parte della reazione, serve, invece, per l’idrolisi. I conseguenti elevati valori di pH rallentano notevolmente la reazione, che va a

completezza per una concentrazione di cianuri di circa 1.000-1.500 ppm in tempi in genere non inferiori ai sessanta minuti.

Il controllo in continuo del potenziale RedOx è fondamentale per seguire l'andamento della reazione. In genere, all'inizio della reazione il potenziale è di poche decine o al massimo di qualche centinaio di mV e inizia a salire già dalle prime aggiunte di ipoclorito; l'aggiunta di ipoclorito, che viene dosato contemporaneamente alla soda, viene bloccata quando il potenziale raggiunge valori superiori a 400 mV. L'avvenuta ossidazione deve, comunque, essere sempre confermata da un controllo analitico sul refluo trattato.

I reflui trattati hanno già in partenza un pH fortemente alcalino, per cui non si rende mai necessario l'aggiustamento del pH nella fase iniziale del processo.

Da rilevare che l'ossidazione dei cianuri deve avvenire in un reattore batch munito di agitatore meccanico ed alimentazione automatica: l'impianto deve essere allocato in una struttura sotto aspirazione e l'intero sistema (carico del reattore, dosaggio dei reattivi, NaOH al 30% e NaOCl al 14-15%, e controllo di pH, rH e temperatura) deve essere monitorato in continuo.

Campo di applicazione

Gli impianti di trattamento di queste tipologie di rifiuti, costituiti da bagni galvanici di zincatura, argentatura, ramatura, cadmiatura contenenti cianuri e cromati, soluzioni contenenti cianuri, bagni di sgrassaggio da cianuri ecc., non sono molto numerosi e richiedono una accurata messa a punto del processo.

Le caratteristiche chimiche orientative dei reflui generalmente trattati sono riportate nel seguente schema:

Tipologia	pH	CN ⁻ (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Ni (ppm)	Cr(VI) (ppm)	Zn (ppm)	MBAS (ppm)
Bagni galvanici (ramatura)	>12	1000- 2000	7000- 50000	N.R.	N.R.	70-100	N.R.	N.R.	N.R.
Bagni galvanici (zincatura)	>12	1000- 2000	4000- 5000	N.R.	N.R.	70-100	N.R.	10000- 20000	N.R.
Bagni sgrassaggio	10- 12	500- 800	100- 500	N.R.	N.R.	30-40	N.R.	100- 500	100- 1000

Trattamenti complementari

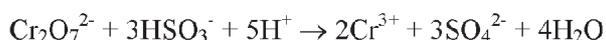
L'ossidazione dei cianuri contenuti in reflui industriali deve, solitamente, essere seguita da trattamenti complementari atti a rimuovere le altre sostanze inquinanti presenti.

Il trattamento successivo maggiormente usato è quello chimico-fisico per l'abbattimento dei metalli, dal quale si producono acque che possono essere successivamente avviate in impianti di trattamento biologico e quindi scaricate in corsi d'acqua, e fanghi liquidi, che, sottoposti a disidratazione, vengono, generalmente, smaltiti in discarica.

F.3 Trattamento di rifiuti liquidi contenuti cromo esavalente

Il cromo esavalente deve essere rimosso dal rifiuto liquido prima che quest'ultimo venga avviato ai successivi trattamenti di depurazione.

Il processo prevede la riduzione del Cr VI per via chimica in ambiente acido, in cui il cromo è presente in forma ionica come ione bicromato, e successiva precipitazione del Cr III come idrossido. L'agente riducente scelto per questo processo è il sodio metabisolfito e lo schema di reazione è il seguente:



La cinetica della reazione è notevolmente influenzata dalla temperatura e dal pH. La velocità della riduzione, che si avvia già a temperatura ambiente, aumenta sensibilmente con la temperatura; l'ambiente di reazione deve, inoltre, essere acido.

Benefici ambientali

I problemi legati alla elevata tossicità del cromo esavalente e alla sua caratteristica di bioaccumulabilità vengono, in genere, ampiamente risolti dal trattamento di riduzione che consente di effettuare lo smaltimento dei reflui industriali senza pericolo per i corpi d'acqua superficiali e la salute dell'uomo e senza l'uso di procedimenti o metodi che potrebbero recare pregiudizio all'ambiente.

Dati operativi

Per ottenere risultati soddisfacenti in tempi accettabili la riduzione deve essere condotta ad un pH non superiore a 4. Comunemente si opera a valori intorno a 2,5, ricorrendo a correzioni di pH, quando necessario, mediante aggiunta di acido solforico diluito. L'aggiunta di tale acido provoca un aumento di temperatura con sensibile aumento della velocità di reazione.

La reazione viene seguita mediante controllo in continuo del pH, della temperatura e del potenziale redox.

All'aggiunta dell'agente riducente si osserva un incremento di pH che richiede, il più delle volte, azioni correttive. La durata della reazione è, in genere, non superiore ai quaranta minuti. Prove effettuate senza la correzione di pH nel corso della reazione, hanno evidenziato che la riduzione, procede, seppur con una cinetica più bassa, anche per valori intorno a 3-3,5: in questi casi la durata del processo non supera, comunque, i sessanta minuti.

Il punto finale della riduzione, oltre che dalla osservazione della variazione cromatica dal giallo arancio al verde bottiglia, può essere individuato anche monitorando il potenziale RedOx. Va però, in tal caso, evidenziato che, sebbene in letteratura siano riportati valori di potenziale intorno ai 300 mV per il punto finale, all'atto pratico si sono riscontrati andamenti molto vari del potenziale, per cui è stato possibile standardizzare la variazione dello stesso col procedere della reazione solo per miscele note di rifiuti, più volte trattate e quindi monitorate.

L'avvenuta riduzione dei cromati viene sempre confermata da un controllo analitico.

I quantitativi di metabisolfito impiegati sono in genere in eccesso rispetto al fabbisogno stechiometrico: l'eccesso supera molto raramente il 20% (2,5 equivalenti di bisolfito per ogni equivalente di CrVI).

Le acque derivanti dal processo di trattamento sono fortemente acide (pH 1,5-3,0) e devono essere stoccate in serbatoio idoneo (es. cisterna di vetroresina bifenolica).

Da rilevare che la riduzione del cromo esavalente ha luogo in un reattore batch munito di agitatore meccanico ed alimentazione automatica: l'impianto deve essere allocato in una struttura sotto aspirazione dotata di opportuno sistema di abbattimento fumi e l'intero sistema (carico del reattore, dosaggio dei reattivi, H₂SO₄ al 50% e NHSO₃ al 25% di SO₂, e controllo di pH, rH e temperatura) deve essere monitorato in continuo.

Campo di applicazione

Gli impianti di trattamento di rifiuti di questo tipo, costituiti da bagni galvanici di cromatura, contenenti cianuri e cromati, soluzioni acide contenenti cromo esavalente ecc., non sono molto numerosi e richiedono una accurata messa a punto del processo.

Le caratteristiche chimiche orientative dei reflui trattati sono riportate nello schema seguente:

Tipologia	pH	Cr(VI) (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
Bagni galvanici (cromatura)	1-3	5000-10000	N.R.	<100	40-100	100-200	50-100
Acque da lavaggio metalli	3-5	100-5000	N.R.	N.R.	<100	<100	<100

Trattamenti complementari

La riduzione del cromo esavalente contenuto nelle rifiuti liquido deve essere seguita da trattamenti complementari atti a rimuovere il cromo trivalente formatosi e le altre sostanze inquinanti presenti. Il trattamento a valle maggiormente utilizzato è quello chimico-fisico per l'abbattimento dei metalli, dal quale si producono acque che possono essere successivamente avviate in impianti di trattamento biologico e quindi scaricate in corsi d'acqua, e fanghi liquidi, che, sottoposti a disidratazione, vengono, generalmente, smaltiti in discarica.

F.4 Riutilizzo di acidi forti esausti nei trattamenti di rifiuti liquidi

L'acido solforico esausto può essere rigenerato per la produzione di nuovo acido solforico attraverso processi industriali di riduzione a SO_2 o riutilizzato, con o senza separazione delle impurità, come reagente nei trattamenti dei reflui industriali e dei rifiuti liquidi.

Gli acidi forti esausti utilizzati nel trattamento delle acque reflue provengono nella quasi totalità dei casi da operazioni di decapaggio di acciai e altri materiali ferrosi.

In questo tipo di lavorazioni viene impiegato soprattutto acido solforico al 20%, mentre l'impiego di acido cloridrico è caduto in disuso.

La soluzione acida, durante la lavorazione del metallo, si arricchisce in ferro, trasformandosi in una soluzione di solfato ferroso caratterizzata da una minore capacità di decapare i prodotti immersi.

In funzione dei valori di concentrazione di ferro raggiunti e di acidità libera in acido solforico residua e del tipo di lavorazione in atto, il bagno viene considerato esausto.

In tempi recenti la diffusione di sistemi di decapaggio a secco con graniglia metallica sta portando ad una progressiva riduzione dei quantitativi di acido solforico impiegato in questa attività, il che si riflette su una riduzione dei quantitativi di acidi esausti disponibili per il trattamento di acque reflue.

Benefici ambientali

Fino a pochi anni fa era prassi diffusa depurare con calce gli acidi esausti da decapaggio; tale operazione comportava impiego di energia, mano d'opera e un quantitativo di calce tale da far aumentare fino a tre volte il volume iniziale del bagno.

Il fango di risulta, una volta disidratato, veniva avviato a discarica.

Il riutilizzo dell'acido solforico esausto quale agente flocculante nei trattamenti chimico-fisici dei reflui industriali ha oggi di fatto totalmente sostituito il trattamento con calce; esso può avvenire in forma diretta (o previa concentrazione) qualora il contenuto di impurezze lo consenta, o attraverso la cristallizzazione di solfato ferroso e il suo impiego in forma di sale.

Il riutilizzo degli acidi esausti di decapaggio solforico, per le ragioni sopra esposte, assume una indubbia valenza di tipo ambientale, sia per la riduzione di energia e di materie prime impiegate nel trattamento di rifiuti liquidi, che per la riduzione di conferimenti alle discariche da parte del settore metalmeccanico e metallurgico.

Dati operativi

L'impiego dei sali di ferro (solfati e cloruri) contenuti negli acidi esausti quali agenti di chiariflocculazione è ampiamente diffuso nei trattamenti di reflui industriali.

La composizione e la concentrazione di detti sali può variare in misura marcata dalla presenza del solo solfato ferroso a una miscela dello stesso con cloruro, mentre la concentrazione varia da soluzioni a 20 g/l fino al sale recuperato in forma solida per cristallizzazione.

La concentrazione di ferro maggiormente in uso varia tra gli 80 e i 200 g/l, il che corrisponde solitamente a una acidità libera in acido solforico inferiore a 60 g/l.

Campo di applicazione

L'utilizzo del solfato ferroso liquido da bagni esausti nei processi di chiariflocculazione ha un meccanismo di azione analogo a quello di altri prodotti quali il solfato ferroso eptaidrato.

Quest'ultimo viene normalmente impiegato nella depurazione delle acque unitamente a idrossido di calcio o altri prodotti alcalini, che, innalzando il pH, causano la formazione di fiocchi di idrossido di ferro, provocando l'aggregazione e l'addensamento delle sostanze sospese e colloidali e in parte di quelle disciolte.

L'acido esausto deve essere stoccato presso il depuratore d'impiego in serbatoi plastici (PVC, PE, poliestere, ebanite, polipropilene, resine epossidiche e fenoliche) o in ferro rivestito con ebanite grafitata.

In tempi recenti il solfato ferroso liquido da bagni esausti è stato impiegato con successo anche presso impianti di depurazione biologica per la rimozione del fosforo attraverso la co-precipitazione nella vasca a fanghi attivi.

Possibili effetti indesiderati

Nell'impiego degli acidi esausti è importante prestare particolare attenzione alla presenza e alla concentrazione dei metalli pesanti (in particolare Cu, Zn, Cr e Pb) che trae origine dalla composizione dei materiali decaupati e che può rendere più difficile ed oneroso lo smaltimento dei fanghi di risulta.

Trattamenti complementari

Nella maggior parte dei casi i trattamenti chimico-fisici di chiariflocculazione delle acque industriali presso piattaforme polifunzionali sono seguiti da una fase di trattamento biologico dei reflui.

L'impiego di acidi esausti in qualità di agenti di flocculazione non arreca danni al successivo trattamento biologico.

F.5 Rimozione biologica dello zolfo e dei metalli pesanti

La rimozione biologica dei composti contenenti zolfo in forma ossidata e dei metalli pesanti rappresenta una particolare applicazione dei processi di trattamento anaerobico. Essa viene effettuata in tre stadi che consistono in:

- riduzione biologica anaerobica del solfato, o di altri composti contenenti zolfo in forma ossidata, a solfuro, per mezzo di specifici batteri
- precipitazione dei metalli pesanti e del solfuro mediante la formazione di sali
- un secondo stadio biologico (aerobico) in cui l'eccesso di solfuro è convertito in zolfo.

L'efficacia del processo si basa sulla solubilità notevolmente inferiore dei solfuri di metalli pesanti rispetto a quella dei corrispondenti idrossidi.

Dati operativi

Il processo prevede l'utilizzo di:

- un reattore UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor) in cui ha luogo la riduzione del solfato a solfuro
- un sistema di gestione del biogas generato nel reattore UASB
- un reattore a biomassa adesa in cui l'eccesso di solfuro è convertito aerobicamente in zolfo
- un sedimentatore per la separazione dello zolfo
- un trattamento finale di filtrazione (ad es. filtro a sabbia)

Il processo biologico richiede la presenza di sostanza riducente, in genere costituita dai composti organici contenuti nel refluo (misurabili, ad esempio, come COD). Qualora il contenuto di COD

non sia sufficiente a garantire il completo svolgimento delle reazioni deve essere, ovviamente, aggiunto un ulteriore donatore di elettroni.

Elementi o composti riducenti sono, ad esempio:

- H₂
- Amido
- Etanolo
- Acido formico
- Sali o esteri di acetato
- Sali o esteri di propionato
- Lattato

Oltre a questi possono essere utilizzati, come donatori di elettroni, anche residui di vario genere quali, ad esempio:

- Segatura
- Melasse

Poiché la conversione del solfuro a zolfo tende a determinare un incremento dell'alcalinità può rendersi necessario, ai fini di una neutralizzazione della soluzione, il ricircolo di parte del refluo derivante dall'operazione di sedimentazione o di filtrazione.

Limiti di applicabilità:

tempo di residenza nel reattore UASB	6 ore
Rapporto COD/solfato	1:1; se il contenuto di COD risulta inferiore è richiesta l'aggiunta di donatori di elettroni
Dosaggio di flocculanti nel sedimentatore	Va opportunamente determinato al fine di garantire una sedimentazione ottimale

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Rimozione percentuale ed emissioni:

parametro	Rimozione (%)	Emissioni (mg/l)	Concentrazione nell'influente (mg/l)
Zn	>99	0,05-0,15	100
Cd	>99	<0,01	1
SO ₄ ²⁻	~95	75	1.170 (in presenza di metalli pesanti)

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Va rilevato che, a fine trattamento, i solfuri dei metalli pesanti e lo zolfo risultano, rispettivamente, miscelati con l'eccesso di fango derivante dal reattore UASB e con il materiale solido in uscita dal sedimentatore.

Campo di applicazione

Il trattamento biologico è applicabile a tutti i reflui contenenti una certa quantità di solfati.

Va, infine, rilevato che la rimozione dei solfati è attuabile anche in assenza di metalli pesanti, mentre per l'allontanamento di questi ultimi è richiesta la presenza di un quantitativo di solfato sufficiente a garantire la successiva precipitazione dei solfuri.

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi della rimozione biologica dello zolfo e dei metalli pesanti sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • trattamento dei solfati senza dover ricorrere all'aggiunta di precipitanti chimici • rimozione simultanea di solfati e di metalli pesanti • i metalli pesanti, allontanati come solfuri, possono essere recuperati • minor solubilità dei solfuri dei metalli pesanti rispetto ai relativi idrossidi e, pertanto, migliori rimozioni • lo zolfo può essere recuperato e riutilizzato • rimozione di COD e di nitrati • processo relativamente stabile 	<ul style="list-style-type: none"> • spesso è richiesta l'aggiunta di donatori di elettroni con conseguente aumento dei costi operativi • i solfuri metallici sono miscelati con il fango nel reattore UASB • non consente di rimuovere metalli pesanti in assenza di solfato

F.6 Rimozione biologica dell'azoto

L'azoto, o più precisamente, l'ammonio presente in un refluo può essere rimosso mediante apposito trattamento biologico che consta, essenzialmente, di due fasi:

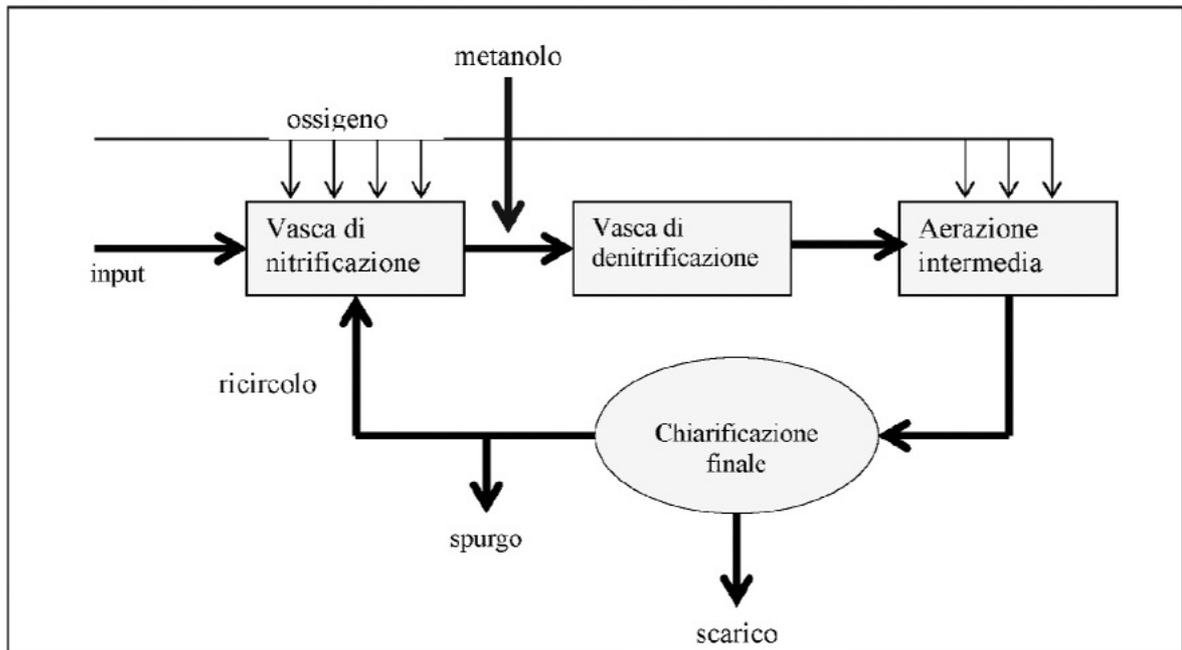
- nitrificazione aerobica, attuata da microrganismi che convertono l' NH_4^+ in NO_2^- e, successivamente, quest'ultimo in NO_3^-
- denitrificazione anossica attuata da microrganismi che convertono il nitrato in azoto elementare.

Come tutti i processi biologici anche la nitrificazione/denitrificazione è vulnerabile alla presenza di sostanze inibenti; va, però, rilevato che concentrazioni sufficientemente basse di sostanze tossiche possono portare ad un progressivo adattamento da parte dei microrganismi e, quindi, ad una graduale perdita dell'effetto inibente (ovviamente la presenza di tali sostanze è "tollerata" fino a determinate concentrazioni, oltre le quali l'effetto inibente si manifesta in ogni caso). Per una analisi più dettagliata dei principali composti inibenti si rimanda alla letteratura di settore o al "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector".

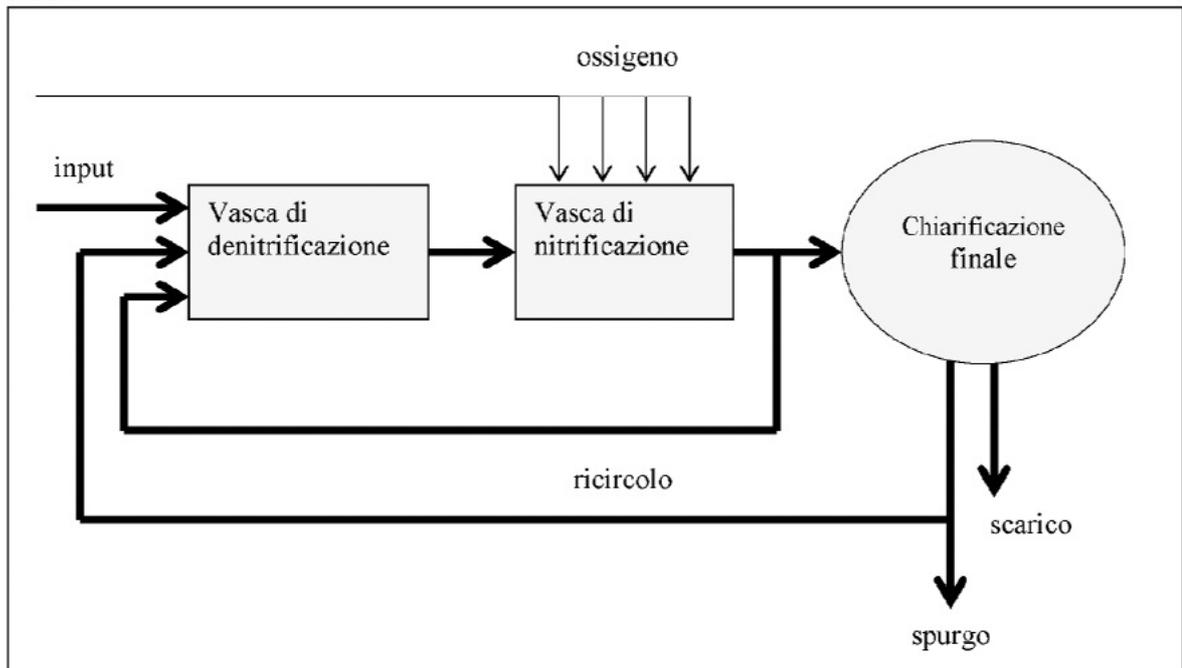
Dati operativi

Il trattamento di nitrificazione/denitrificazione, quando attuato, viene generalmente incorporato nei processi di depurazione condotti negli impianti centralizzati di trattamento biologico delle acque reflue. Affinché il processo di nitrificazione/denitrificazione abbia efficacia deve essere garantito un corretto bilanciamento tra azoto (in forma di nitrato/nitrito) e COD. A tal fine possono essere adottate due diverse modalità operative:

1. la nitrificazione, facente parte dello stadio aerobico del processo, rappresenta la prima fase del trattamento di rimozione dell'azoto; il rapporto N/BOD può essere corretto, nella successiva fase di denitrificazione, addizionando composti organici prontamente biodegradabili (ad esempio, metanolo, figura F.1)
2. la denitrificazione, in cui il refluo non trattato viene utilizzato come fonte di BOD, viene posta come primo stadio del processo seguita dalla nitrificazione in ambiente aerato; in questo caso deve essere previsto il ricircolo di gran parte del refluo nella sezione di denitrificazione (Figura F.2).

Figura F.1: processo di nitrificazione/denitrificazione

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Figura F.2: processo di nitrificazione/denitrificazione con la denitrificazione come primo stadio

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Va rilevato che gli impianti non costruiti in previsione di un trattamento di nitrificazione/denitrificazione possono essere facilmente adattati mediante il ricorso a semplici modifiche strutturali tra cui, ad esempio:

- costruzione di pareti divisorie all'interno delle vasche di depurazione al fine di dedicare parte delle stesse al trattamento di nitrificazione /denitrificazione;
- costruzione di sistemi di collettamento per il ricircolo dei reflui ricchi di nitrati;
- modifiche ai sistemi di controllo del processo.

Limiti di applicabilità:

Temperatura (°C)	>12-15 (temperature inferiori ostacolano la crescita batterica nello stadio di nitrificazione)
Sostanze tossiche	Effetto inibente da parte di diversi composti
Rapporto BOD/N	Intorno a 12:1
Rapporto TOC/N	Intorno a 10:1
Concentrazione di cloruri (g/l)	< 5 g/l

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Rimozione percentuale ed emissioni:

parametro	Rimozione (%)	Emissioni (mg/l)
N inorganico totale	70-80	10-20

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Campo di applicazione

La nitrificazione/denitrificazione è applicata ai reflui caratterizzati da un elevato contenuto di azoto, in particolare ammine e composti ammoniacali. Il controllo delle emissioni di ammonio nei corpi idrici recettori rappresenta un aspetto di particolare rilevanza ai fini della tutela delle risorse idriche; l' NH_3 , che può formarsi dall'ammonio in seguito a riduzione di pH, rappresenta, infatti, un elemento tossico per la fauna ittica.

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi della rimozione biologica dell'azoto sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • rimozione effettiva di composti azotati • facilmente integrabile negli impianti di trattamento biologico pre-esistenti 	<ul style="list-style-type: none"> • processo sensibile alle variazioni delle condizioni operative, al pH, alla temperatura, alla presenza di composti inibenti e alla composizione del refluo • rilascio di emissioni gassose in atmosfera

F.7 Trattamenti dei fanghi

La maggior parte dei processi di trattamento biologico di rifiuti liquidi determina la produzione di quantitativi più o meno consistenti di fanghi le cui caratteristiche variano, anche notevolmente, a seconda della tipologia di rifiuto e della tecnica di trattamento adottata. In linea generale il fango appare come un liquido o come un liquido semi-solido con un contenuto di solidi variabile tra lo 0,25 ed il 12% in peso [fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"].

Nel caso specifico dei trattamenti biologici esso è, essenzialmente, costituito dai prodotti di mineralizzazione, dal tessuto batterico e da inquinanti quali, ad esempio, i metalli pesanti.

Il fango non trattato non può essere direttamente smaltito o utilizzato, in particolar modo per le seguenti ragioni:

- contenuto di sostanze inquinanti volatili dannose per l'atmosfera;
- contenuto di sostanze inquinanti dannose per i corpi idrici;
- elevato contenuto di acqua che ne rende difficoltoso, ad esempio, l'incenerimento diretto.

Sulla base delle considerazioni sopra riportate appare evidente come il fango necessiti di opportune operazioni di trattamento finalizzate a ridurre quanto più possibile l'impatto ambientale e a favorirne un corretto smaltimento. Con particolare riferimento agli impianti di trattamento biologico centralizzati, che generano ingenti quantitativi di fanghi e che richiedono, di conseguenza, sistemi particolarmente efficienti per la gestione degli stessi, possono essere adottate diverse tecniche variamente combinate. Le operazioni gestionali dei fanghi possono essere, in estrema sintesi, così schematizzate:

- operazioni preliminari quali:
 - macinazione
 - miscelazione
 - stoccaggio
 - dissabbiatura
- operazioni di ispessimento quali (si veda paragrafo F.7.1):
 - ispessimento per gravità
 - ispessimento per centrifugazione
 - ispessimento per flottazione
 - ecc.
- stabilizzazione del fango mediante (si veda paragrafo F.7.2):
 - trattamento chimico (calce)
 - trattamento termico
 - digestione anaerobica
 - digestione aerobica
- condizionamento del fango mediante (si veda paragrafo F.7.2):
 - trattamento chimico
 - trattamento termico
- disidratazione del fango mediante (si veda paragrafo F.7.1):
 - centrifugazione
 - filtropressatura
 - nastropressatura
- essiccamento attraverso l'utilizzo di:
 - essiccatori rotativi
 - essiccatori a spruzzo (spray dryers)
 - essiccatori a flash (flash dryers)
 - evaporazione
 - multiple heart dryers
- ossidazione termica mediante, ad esempio (si veda paragrafo F.7.3):
 - incenerimento su letto fluidizzato
 - incenerimento a tamburo rotante
 - incenerimento in miscela con altri rifiuti
 - ossidazione ad umido (wet air oxidation)
 - ossidazione in reattore a "pozzo profondo" (Deep Shaft Reactor)
- smaltimento o riutilizzo nel rispetto delle normative vigenti

F.7.1 Ispessimento e disidratazione dei fanghi

Le operazioni di ispessimento e di disidratazione sono finalizzate ad incrementare il contenuto di solidi dei fanghi ovvero a ridurre il quantitativo di acqua. Esse consentono, in tal modo, di ottenere un rifiuto caratterizzato da volumi notevolmente inferiori e, pertanto, più facilmente gestibile nelle successive fasi di trattamento. Le due operazioni differiscono, essenzialmente, per i differenti livelli conseguibili di rimozione della componente acquosa.

Per una descrizione maggiormente dettagliata delle tecniche di ispessimento e disidratazione più comunemente adottate (ad esempio, sedimentazione, flottazione, nastropressatura, filtropressatura, ispessimento mediante l'utilizzo di tamburo rotante, ecc.) si rimanda al capitolo D.

Nel presente paragrafo si riportano, invece, le performance delle diverse tecniche nonché i relativi vantaggi e svantaggi, con specifico riferimento al trattamento dei fanghi.

Dati operativi

Tecnica	Concentrazione fanghi (%)	Solidi trattieneuti (%)	Note
Ispessimento gravitazionale	2-10	80-92	In funzione della tipologia di fango
Ispessimento per centrifugazione	3-8	80-98	
Ispessimento mediante flottazione (DAF)	2-10	80-98	
Disidratazione per centrifugazione	10-35	85-98	Mediante l'utilizzo di additivi chimici
Ispessimento mediante tamburo rotativo	3-4		
	15-30	90-98	Trattamento sotto vuoto
Nastropressatura	15-30	85-98	Mediante l'utilizzo di additivi chimici
Filtropressatura	20-50	90-98	Mediante l'utilizzo di additivi chimici

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi delle operazioni di ispessimento dei fanghi sono:

Tecnica	Vantaggi	Svantaggi
Ispessimento gravitazionale	<ul style="list-style-type: none"> prestazioni eccellenti con i fanghi primari non trattati risultati soddisfacenti per impianti di piccole dimensioni e con concentrazioni di fanghi comprese tra il 4 ed il 6% bassi consumi di energia 	<ul style="list-style-type: none"> prestazioni marginali in grandi impianti solo basse concentrazioni di solidi nel trattamento di fanghi attivati
Ispessimento per centrifugazione	<ul style="list-style-type: none"> efficiente produzione di fanghi essiccati e buone capacità di separare solidi difficilmente filtrabili richiesta di spazio relativamente bassa rispetto alle altre tecniche di ispessimento 	<ul style="list-style-type: none"> elevati consumi di energia per unità di fango trattato minore rimozione di acqua rispetto ai trattamenti di disidratazione genera vibrazioni e rumori richiede personale specializzato per

Tecnica	Vantaggi	Svantaggi
	<ul style="list-style-type: none"> • facilità di installazione • limitati problemi in termini di emissioni osmogene 	la manutenzione
Ispessimento per flottazione (DAF)	<ul style="list-style-type: none"> • buone efficienze nel trattamento dei fanghi provenienti dai processi biologici 	<ul style="list-style-type: none"> • sensibile alle basse temperature (possibilità di congelamento delle valvole di immissione dei getti d'aria) • rilascio di emissioni osmogene per strippaggio
Ispessimento mediante tamburo rotativo	<ul style="list-style-type: none"> • bassa richiesta di manutenzione, spazio e bassi consumi energetici 	
Nastropressa	<ul style="list-style-type: none"> • elevate efficienze di disidratazione • semplicità di manutenzione 	<ul style="list-style-type: none"> • limitazioni di tipo idraulico • molto sensibile alle caratteristiche del fango • vita media limitata rispetto alle altre tecniche di disidratazione
Filtropressa	<ul style="list-style-type: none"> • elevata efficienza di disidratazione e basso contenuto di solidi nel filtrato 	<ul style="list-style-type: none"> • operazione batch • richiede particolari accorgimenti progettuali e personale specializzato • vita media limitata dei tessuti filtranti

F.7.2 Stabilizzazione e condizionamento

Le operazioni di stabilizzazione e condizionamento di un fango sono finalizzate ad eliminare, o quantomeno a ridurre, il contenuto di composti osmogeni e biodegradabili, con particolare riferimento a quelli facilmente putrescibili, nonché a limitare la presenza di microrganismi patogeni ed il contenuto di acqua. Le tecniche comunemente adottate, per conseguire i suddetti obiettivi, sono, come già precedentemente menzionato: la stabilizzazione ed il condizionamento chimico (ad esempio, mediante l'utilizzo di calce), la stabilizzazione ed il condizionamento termico, la digestione aerobica ed anaerobica.

Dati operativi

Le modalità operative delle diverse tecniche sono:

- stabilizzazione chimica: viene addizionata calce, o come pretrattamento o come post trattamento rispetto alle operazioni di disidratazione, al fine di portare il pH a valori superiori a 12 ed eliminare, in tal modo, gli organismi patogeni contenuti nei fanghi
- stabilizzazione termica: il fango, posto in un apposito reattore, viene portato a condizioni di temperatura e pressione rispettivamente superiori a 260 °C ed a 2,8 MPa, per un periodo approssimativamente pari a 30 minuti; la stabilizzazione termica viene anche utilizzata come tecnica di condizionamento dei fanghi
- digestione aerobica: il fango viene posto in un apposito reattore, simile a quello comunemente adottato nel processo biologico a fanghi attivi utilizzato per la depurazione delle acque reflue, in presenza di aria o ossigeno puro e di una adeguata agitazione. Il trattamento consente di pervenire a riduzioni del contenuto di fanghi intorno al 75-80%.

Parametri caratteristici della digestione aerobica a freddo e termofila sono:

parametro	A freddo	Termofila
T di esercizio (°C)	10-20	40-50

parametro	A freddo	Termofila
Tempo di residenza dei fanghi:		
- fanghi attivi (giorni)	10-15	5-8
- fanghi misti primari + attivi (giorni)	15-20	8-15
- fanghi attivi prodotti da impianti privi di sedimentazione primaria (giorni)	12-18	4-6
SV (kg/m ³ giorno)	1,5-3	3-6
Richiesta di ossigeno (kg/kgSV)	1,5-2,3	1,5

Fonte: "Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane" – ANPA/Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, ANPA 1/2001

- digestione anaerobica: viene condotta in un reattore completamente privo di ossigeno in condizioni di temperatura mesofile (30-38 °C) o termofile (49-57 °C) e porta alla produzione di una miscela gassosa contenente metano ed anidride carbonica, in percentuali rispettivamente, pari al 60-65% e 30-35%, e piccoli quantitativi di altri gas quali N₂, H₂, H₂S, ecc.. Il potere calorifico del gas è pari a circa 22 MJ/Nm³. I principali parametri relativi alla digestione anaerobica ad alto carico sono:

Parametro	Valore caratteristico
Tempo di permanenza (giorni)	20
Carico di SV (kgSV/m ³ giorno)	1-5
Caratteristiche biogas	60-65% CH ₄ , 30-35% CO ₂ , tracce di H ₂ e H ₂ S
Potere calorifico del biogas (kcal/Nm ³)	5.000-5.500
Produzione biogas (Nm ³ /kgSV rimossi)	0,75-1,1
Abbattimento SV (%SV)	40-45

Fonte: "Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane" – ANPA/Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, ANPA 1/2001

Ai fini della stabilizzazione del fango può essere, inoltre, prevista una combinazione del trattamento aerobico con quello anaerobico.

Le tecniche di condizionamento prevedono, invece:

- condizionamento chimico: utilizzo, ad esempio, di calce, cloruro di ferro (III), polimeri organici (coagulanti e flocculanti)
- condizionamento termico: il fango viene portato ad una pressione di 1-2,5 MPa e ad una temperatura di 60-80 °C (condizionamento termico a bassa temperatura) o di 180-230 °C (condizionamento termico ad alta temperatura).

Va, infine, rilevata la possibilità di avviare i fanghi derivanti dai processi di depurazione al compostaggio, purchè tali fanghi rispettino, ovviamente, determinati requisiti qualitativi (ad es., contenuto di metalli pesanti).

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi dei processi di stabilizzazione e condizionamento dei fanghi sono:

Tecnica	Vantaggi	Svantaggi
Stabilizzazione e condizionamento chimico	<ul style="list-style-type: none"> • tecnica di trattamento standardizzata che non richiede particolari accorgimenti tecnologici • metodo efficace per favorire le successive operazioni di filtrazione e per abbattere il contenuto di organismi patogeni e di composti osmogeni 	<ul style="list-style-type: none"> • incremento consistente del contenuto di solidi (ad esclusione del condizionamento mediante polimeri)

Tecnica	Vantaggi	Svantaggi
Stabilizzazione e condizionamento termico	<ul style="list-style-type: none"> • richiesta di spazio limitata • consente di pervenire all'eliminazione dei batteri e alla disidratazione del fango senza utilizzare additivi chimici • applicabile a fanghi biologici difficilmente stabilizzabili o condizionabili per altre vie 	<ul style="list-style-type: none"> • costi di investimento superiori rispetto alle altre tecniche • elevati consumi di energia • rilascio di composti osmogeni
Digestione aerobica	<ul style="list-style-type: none"> • elevate riduzioni dei solidi volatili (paragonabile a quelle conseguibili con la digestione anaerobica) • produzione di un materiale privo di odori, simile all'humus, e stabile • operazione di trattamento relativamente semplice • minori costi di investimento rispetto al trattamento anaerobico 	<ul style="list-style-type: none"> • costi energetici elevati per l'agitazione ed il rifornimento di aria o ossigeno • il fango digerito presenta basse proprietà meccaniche di disidratazione • processo influenzato dalle condizioni ambientali (ad es., temperatura, materiale di costituzione del reattore, ecc.)
Digestione anaerobica	<ul style="list-style-type: none"> • possibilità di utilizzo del biogas prodotto dal processo • non necessita, in genere, di additivi chimici • elevati tempi di permanenza e buone mineralizzazioni del fango 	<ul style="list-style-type: none"> • elevate richieste di spazio

F.7.3 Ossidazione termica

Le tecniche comunemente utilizzate per l'ossidazione termica (incenerimento) dei fanghi sono:

- incenerimento su letto fluidizzato: il combustore a letto fluido è costituito da una camera di combustione all'interno della quale viene mantenuto un certo quantitativo di materiale inerte (il "letto"), di solito sabbia, tenuto in sospensione ("fluido") da una corrente ascendente di aria (che funge anche da comburente), immessa attraverso una griglia di distribuzione posta sul fondo. Il movimento del letto di sabbia garantisce un buon contatto comburente-combustibile, oltre a una notevole uniformità di temperatura e di miscelazione, che contribuiscono a garantire una combustione costante e completa. L'aria viene immessa ad una pressione di circa 20-35 kPa, mentre la temperatura del letto è mantenuta tra i 760 e gli 820 °C [Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector"]
- incenerimento a tamburo rotante: è costituito da una camera cilindrica leggermente inclinata (in genere 1-3 %) che ruota lentamente attorno al proprio asse. La combustione del letto di rifiuti avviene direttamente a contatto con la parete del forno, nella maggior parte dei casi rivestita di materiale refrattario; l'alimentazione del materiale avviene tramite opportune testate, collocate in corrispondenza di una estremità del forno, mentre lo scarico delle scorie e dei residui avviene all'estremità opposta
- ossidazione ad umido (wet air oxidation): il trattamento consiste, come già riportato in dettaglio nel capitolo D, paragrafo D.2.2.7, nell'ossidazione in fase acquosa di sostanze disciolte o in sospensione; le temperature variano da 175° C a 325° C e le pressioni variano di conseguenza

da 20 bar a 200 bar in modo tale da avere sempre una fase liquida, limitare l'evaporazione dell'acqua ed avere una sufficiente pressione parziale di ossigeno

- ossidazione in reattore a pozzo profondo: il fango pompabile viene fatto passare, a pressione e temperatura controllate, in un tubo sospeso in un apposito pozzo. L'ossigeno o l'aria sono iniettati nella corrente di fango, ad una temperatura di circa 290 °C e ad una pressione compresa tra i 10 ed i 14 MPa. L'ossidazione in reattore a pozzo profondo può essere considerata come una applicazione particolare della wet air oxidation
- incenerimento in miscela con altri rifiuti: presenta il vantaggio di ridurre i costi consentendo il trattamento dei fanghi e degli altri rifiuti nel medesimo impianto; in tal modo può essere sfruttato il calore prodotto dalla combustione dei rifiuti per l'evaporazione dell'acqua contenuta nei fanghi.

Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi e svantaggi dell'ossidazione termica dei fanghi sono:

Tecnica	Vantaggi	Svantaggi
Incenerimento su letto fluidizzato	<ul style="list-style-type: none"> • efficiente rimozione della sostanza organica • basso contenuto di incombusti nelle scorie (0,2-0,3 %) • unità compatte (maggiori carichi termici specifici applicabili) • ridotti tempi di avviamento e possibilità di funzionare anche in discontinuo • ridotto numero di parti meccaniche in movimento • possibilità di operare con ridotti eccessi d'aria, con conseguente migliore rendimento di recupero e minori dimensioni dei sistemi di depurazione dei fumi • parziale rimozione di gas acidi in fase di combustione, tramite l'iniezione di reagenti alcalini 	<ul style="list-style-type: none"> • richiede personale qualificato • richiede spesso l'aggiunta di combustibile ausiliario • emissioni gassose ed osmogene
Incenerimento a tamburo rotante	<ul style="list-style-type: none"> • possibilità di trattare rifiuti in qualsiasi stato fisico (solidi, liquidi, pastosi), anche in combinazione tra loro • scarsa sensibilità al variare di composizione, umidità e pezzatura dell'alimentazione • semplicità di costruzione ed elevata affidabilità di funzionamento 	<ul style="list-style-type: none"> • presenza di parti in movimento, con problemi di tenuta ed usura • incompleta ossidazione dei fumi nella camera primaria, necessita di camera di post-combustione • eccessi d'aria elevati • consumo di refrattario piuttosto rapido • ridotte efficienze di recupero energetico
Wet air oxidation	<ul style="list-style-type: none"> • il processo può essere autosufficiente e può, talvolta, consentire il recupero di energia 	<ul style="list-style-type: none"> • richiede personale qualificato • possibili emissioni in atmosfera di composti organici volatili e di ammoniaca • fenomeni corrosivi e di stress meccanico impongono l'utilizzo di

Tecnica	Vantaggi	Svantaggi
		particolari materiali di costruzione che risultano, generalmente, costosi
Reattore a pozzo profondo	<ul style="list-style-type: none"> • richiesta di spazio limitata • elevate efficienze di rimozione dei solidi sospesi e dei composti organici • processo totalmente esotermico • ridotte emissioni di odori e di gas 	<ul style="list-style-type: none"> • richiede personale qualificato
Incenerimento in miscela con altri rifiuti	<ul style="list-style-type: none"> • il calore necessario per l'evaporazione dell'acqua contenuta nei fanghi è fornito totalmente dalla combustione degli altri rifiuti e non è, pertanto, richiesta l'aggiunta di combustibili ausiliari 	<ul style="list-style-type: none"> • può generare elevate emissioni di diossine e furani e di metalli pesanti nel caso in cui le condizioni di combustione e le tecniche di abbattimento delle emissioni gassose non siano adatte alla specifica miscela.

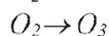
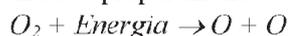
F.8 Ossidazione chimica con ozono

L'ozono è un potente agente ossidante che ha il pregio di non formare prodotti indesiderati. Il principale motivo di interesse nei confronti di tale reagente consiste nella rapida ed energica azione ossidante nei confronti di numerosi composti organici e inorganici (COD, tensioattivi, colore, fenoli, idrocarburi, ecc.), nonché microorganismi.

I numerosi vantaggi associati all'impiego dell'ozono sono:

- elevato potere ossidante e disinfettante;
- completa mineralizzazione di alcuni inquinanti;
- possibilità di recupero dell'ossigeno in altre fasi di trattamento;
- miglioramento delle caratteristiche di biodegradabilità del rifiuto liquido.

La sua preparazione avviene mediante scariche elettriche:

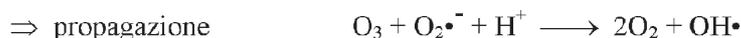
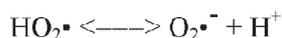


In pratica si tratta di far passare aria (e ossigeno) opportunamente essiccata attraverso le armature di un condensatore, ottenendo aria ozonizzata, che viene fatta gorgogliare nel rifiuto liquido da trattare.

L'ozono agisce chimicamente essenzialmente per due vie principali:

- un'azione diretta dell'ozono molecolare che ossida i composti (M) presenti nel rifiuto liquido;
- un'azione indiretta risultante dall'attacco da parte di radicali $OH\cdot$ e $HO_2\cdot$ fortemente reattivi, formati per decomposizione dell'ozono in acqua.

La decomposizione in acqua dell'ozono può essere rappresentata con le seguenti reazioni fondamentali :



Il processo a catena risulta limitato dalla velocità della prima reazione di iniziazione che è generalmente più bassa rispetto alle altre. Di conseguenza il pH diventa un parametro fondamentale ai fini della velocità di decomposizione: infatti quanto più il pH è elevato, tanto più l'equilibrio della prima reazione di iniziazione è spostato verso destra.

La decomposizione dell'ozono in acqua può essere influenzata anche dalla presenza di sostanze disciolte; tra queste giocano un ruolo fondamentale i bicarbonati (HCO_3^-) ed i carbonati (CO_3^{2-}), la cui presenza inibisce la decomposizione stessa sottraendo alla catena i radicali $\text{OH}\cdot$.

La reazione di ossidazione di un composto disciolto (M) in acqua da parte dell'ozono può avvenire o per via diretta, con l'ozono solubilizzato, o per via indiretta, mediante una serie di reazioni radicaliche a catena (reazioni indirette). Tra i radicali coinvolti, $\text{OH}\cdot$ è a sua volta in grado di ossidare la molecola M e/o reagire con altre sostanze disciolte in competizione con M.

La cinetica di ossidazione diretta, è descritta da una cinetica del primo ordine sia rispetto all'ozono che rispetto alla sostanza.

L'ossidazione indiretta consiste nell'attacco della sostanza M da parte di radicali formati per decomposizione dell'ozono in acqua (il più reattivo è senza dubbio $\text{OH}\cdot$).

Una delle differenze principali tra l'ossidazione diretta e quella indiretta è che l'ozono molecolare è un ossidante molto selettivo, al contrario di quanto avviene per il radicale $\text{OH}\cdot$.

Quando si desidera ossidare un composto organico particolarmente refrattario all'ossidazione diretta è conveniente aumentare la concentrazione di radicali $\text{OH}\cdot$ in soluzione per potenziare i meccanismi di ossidazione indiretta. Per ottenere ciò, oltre a ridurre il più possibile la concentrazione di inibitori, si deve incrementare la decomposizione dell'ozono in acqua rispetto a quanto avverrebbe spontaneamente. A tal fine si possono utilizzare le seguenti tecniche: dosaggio di perossido di idrogeno, fotolisi con radiazioni UV, innalzamento del pH.

L'esposizione ai raggi ultravioletti incrementa l'efficienza del processo e consente la rimozione di composti organici clorurati e pesticidi (come fenoli clorurati, pentaclorofenolo, dicloruro di etile, cloruro di metile, PCB, Kepone, Aldrin, Dieldrin, Endrin, DDT) molti dei quali non reagiscono col solo ozono.

In rifiuti liquidi contenenti molte varietà di composti organici, è possibile che determinate reazioni non abbiano luogo, per cui risulta vantaggioso l'utilizzo combinato di perossido di idrogeno, ozono e raggi UV così da avere a disposizione un più ampio spettro di reazioni possibili.

Dati operativi

Alcuni fattori da considerare nelle applicazioni con ozono sono:

- l'instabilità, che ne rende necessaria la produzione in situ
- la scarsa solubilità, che rende necessari adeguati sistemi di miscelazione
- la tossicità per l'uomo, che richiede adeguati sistemi di captazione e distruzione dell'ozono residuo.

Ne deriva che le fasi principali del trattamento di ossidazione con ozono sono:

- produzione di ozono
- contatto e miscelazione
- distruzione dell'ozono residuo.

La corrente di ossigeno, prodotta nel generatore di ozono, deve essere inviata al sistema di contatto/miscelazione con il rifiuto liquido da trattare, detto normalmente reattore di ossidazione. Qui avvengono le reazioni chimiche con tempi di contatto differenti a seconda delle sostanze da rimuovere. I reattori di ossidazione sono generalmente costituiti da colonne in acciaio o vasche chiuse in calcestruzzo.

Il gas ozono viene iniettato nella parte inferiore del bacino di contatto, in controcorrente all'acqua proveniente dall'alto. La miscelazione dell'ozono con l'acqua rappresenta l'operazione di maggiore importanza al fine di garantire adeguate rese di depurazione. Normalmente la miscelazione è

condotta mediante diffusori porosi a microbolle posti alla base delle colonne/vasche di contatto. Inoltre, per avere una buona miscelazione, la colonna d'acqua deve avere altezza di almeno 4 m. La corrente esausta può contenere ancora alcune tracce di ozono che vengono conferite ad un apposito apparecchio, comunemente detto distruttore di ozono residuo. Il distruttore può essere termico o termico/catalitico; nel primo caso la distruzione avviene esclusivamente per effetto termico ad una temperatura di circa 300 °C, nel secondo caso si utilizzano catalizzatori che abbattano l'ozono già a basse temperature. Complessivamente, un impianto di ozonizzazione da ossigeno risulta costituito da: generatore di ozono, sistema di contatto ozono/rifiuto liquido, distruttore di ozono.

Campo di applicazione

Le principali finalità dell'utilizzo di ozono nei trattamenti dei rifiuti liquidi sono:

- rimozione di molecole organiche: l'ozono risulta particolarmente efficace nei confronti di molecole organiche complesse con doppi legami (coloranti, tensioattivi e sostanze organiche biorefrattarie) per la capacità di tale ossidante di spezzare i doppi legami. Inoltre, quando il trattamento è seguito da una fase biologica, si ha la formazione di molecole più semplici e più facilmente degradabili. In fase acquosa ed in particolare in presenza di acqua ossigenata si formano radicali ossidrilici OH• particolarmente reattivi nei confronti di composti con legame C-H forte;
- rimozione di colore: il colore è dovuto ad organocomposti con doppi legami coniugati chiamati gruppi cromofori. L'ozono è particolarmente reattivo verso molecole con gruppi insaturi; esso, infatti, distrugge il doppio legame C=C e il colore, dopo la rottura del gruppo cromoforo, normalmente scompare. Il problema del colore nelle acque di scarico riguarda soprattutto i reflui dell'industria tessile, ecc.. La rimozione del colore, che non può avvenire per via biologica data la scarsa biodegradabilità dei coloranti utilizzati, può avvenire o con trattamenti di coagulazione/flocculazione oppure con ossidazione con ozono. Il primo trattamento, poco costoso, ha comunque il limite di offrire rese medio-basse e di produrre dei fanghi mentre con l'ozono si ha una degradazione completa. Di solito nell'industria tessile (e affini) la rimozione del colore con ozono viene effettuata sull'effluente in uscita dall'impianto di depurazione, con rimozione che arriva al 90-100%;
- rimozione dei tensioattivi: i tensioattivi sono molecole organiche complesse con funzione detergente, poco biodegradabili (soprattutto quelli non ionici). La rimozione di tali composti dopo il trattamento biologico e l'ossidazione finale con ozono può essere pressoché completa, con rese prossime al 98-99%. La concentrazione di tensioattivo generalmente derivante da un'industria tessile è di 30-80 mg/l;
- trattamento di specifiche tipologie di rifiuti liquidi: alcune specifiche categorie di rifiuti liquidi (industria fotografica, farmaceutica, percolati di discarica) risultano difficilmente trattabili con il normale processo biologico, che invece potrebbe risultare più idoneo dopo l'ossidazione con ozono, grazie all'aumento di biodegradabilità della sostanza organica.

Per produrre 1 kg di ozono servono mediamente 10 kWh e 10 kg di ossigeno puro.

Le concentrazioni delle sostanze inquinanti, nei rifiuti liquidi da trattare, non possono superare di molto i 500-800 mg/l espressi come COD, al fine di evitare costi specifici troppo elevati.

F.9 Trattamento dei percolati di discarica

Le caratteristiche di un percolato da discarica possono variare entro ampi range in funzione dei parametri chimici, fisici e ambientali; in particolare assumono un ruolo determinante: la natura del rifiuto, il grado di decomposizione dei materiali depositati, le caratteristiche del terreno di copertura, le caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua percolante e le condizioni metereologiche della zona.

In molti casi il percolato di discarica presenta caratteristiche che non ne consentono l'avvio diretto ad un trattamento di tipo biologico; in tali casi si rende, pertanto, necessario effettuare una o più operazioni di pretrattamento finalizzate ad incrementarne la biodegradabilità.

Dati operativi, campo di applicazione e principali vantaggi e svantaggi

I volumi di percolato e le sue caratteristiche qualitative sono fortemente influenzati dall'età della discarica e dalle variazioni meteorologiche della zona. L'impianto di trattamento dovrà essere, pertanto, strutturato in maniera flessibile affinché sia garantita la possibilità di trattare volumi variabili di rifiuto contraddistinti, nel contempo, da caratteristiche chimico-fisiche variegate.

Il trattamento del percolato in impianti di depurazione biologica di acque reflue presenta una serie di limitazioni. In primo luogo va evidenziata la scarsa capacità di adattamento del depuratore biologico alle variazioni qualitative del percolato nel corso del tempo.

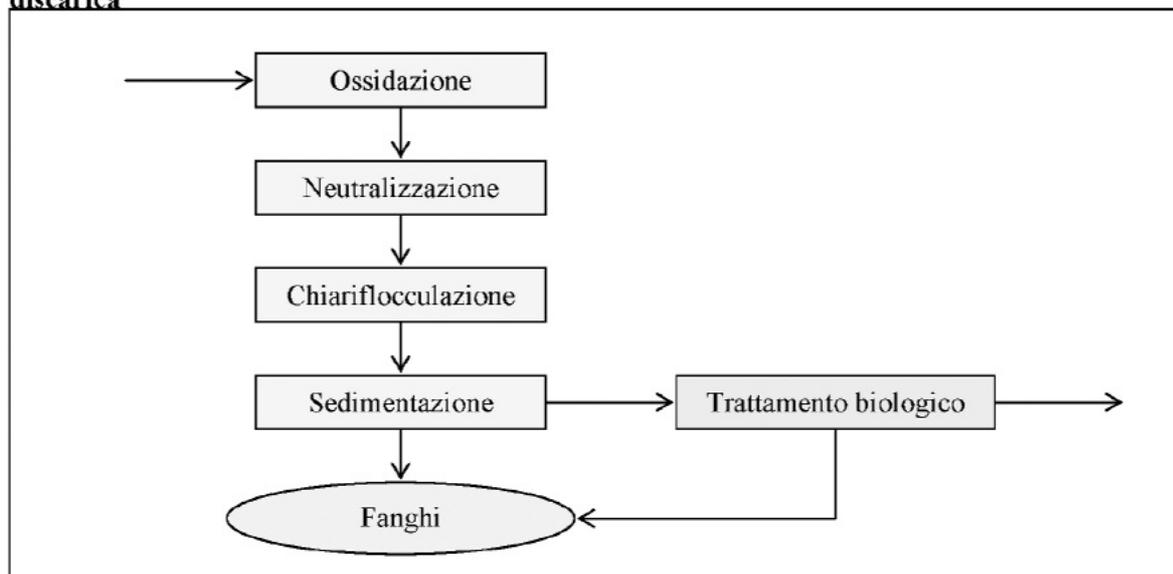
In generale, i principali fattori di criticità connessi alla depurazione biologica del percolato, possono essere così riassunti:

- bassi valori di BOD (nel caso di percolati vecchi);
- elevata concentrazione di azoto organico ed ammoniacale;
- contenuto quasi nullo di fosforo;
- elevate concentrazioni saline;
- presenza, talvolta marcata, di metalli pesanti e di idrocarburi alogenati, tale da inibire il corretto svolgimento dei processi metabolici della flora batterica;
- tendenza, in determinati periodi dell'anno, alla produzione di schiume.

L'adozione di tecniche di pre-trattamento chimico-fisico, come, ad esempio, l'ossidazione chimica, la neutralizzazione, la chiariflocculazione, possono, senza dubbio, incrementare la biodegradabilità del percolato. Ciò diventa particolarmente rilevante nel caso in cui l'impianto tratti percolati vecchi, ovvero provenienti da discariche in fase operativa avanzata o in fase post operativa. In linea di principio i processi di tipo biologico possono essere ritenuti direttamente applicabili solo nel trattamento di percolati giovani, non caratterizzati da contenuti significativi di sostanze tossiche o inibenti la flora batterica. Senza dubbio il trattamento biologico diretto non può essere applicato a percolati contraddistinti da elevate concentrazioni di cloruri.

Un esempio di schema impiantistico per il trattamento di un percolato di discarica non idoneo al trattamento biologico diretto è riportato in figura F.3.

Figura F.3 - Schema di trattamento integrato chimico-fisico e biologico del percolato di discarica



Va rilevato che il percolato si caratterizza spesso per un certa salinità che può essere rimossa o, comunque, ridotta mediante l'applicazione di ulteriori operazioni unitarie, oltre a quelle indicate nello schema; tra queste si cita, ad esempio, l'osmosi inversa (si veda anche capitolo D, paragrafo D.2.2.1).

Tale tecnica consente, in generale, di rimuovere numerosi composti solubili non biodegradabili, caratterizzandosi per una estrema flessibilità di utilizzo (sistemi modulari) e per un'elevata efficienza di separazione. Essa risulta, pertanto, applicabile a diverse tipologie di percolato. Un ulteriore vantaggio è legato alla possibilità di effettuare il trattamento in maniera totalmente automatizzata.

L'osmosi inversa può essere combinata con un successivo trattamento di evaporazione (si veda capitolo D, paragrafo D.2.2.11) volto ad incrementare il più possibile il rapporto di concentrazione (il volume del concentrato derivante dall'osmosi inversa è, infatti, generalmente troppo elevato).

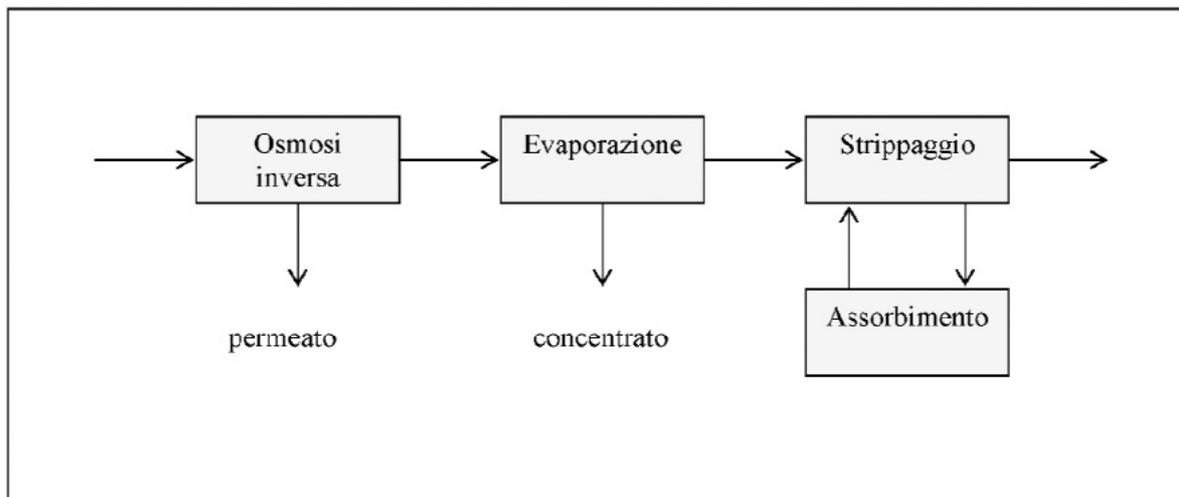
Un parametro che richiede un'attenta valutazione nella fase di evaporazione è rappresentato dal pH. Il percolato si caratterizza, infatti, per una certa presenza di acidi grassi volatili (VFA) ed ammoniaca che tendono a volatilizzare a differenti valori di acidità. In particolare, l'ammoniaca si concentra nel distillato a valori alcalini mentre gli acidi organici a valori bassi di pH.

La scelta di condurre l'evaporazione in ambiente acido o basico dipenderà dalle caratteristiche specifiche del percolato; percolati vecchi sono più ricchi in ammoniaca e presentano basse concentrazioni di acidi grassi volatili mentre percolati giovani tendono ad essere maggiormente ricchi in VFA.

A valle dell'evaporazione, sulla corrente del condensato, può essere inserita, qualora la concentrazione di ammoniaca risulti eccessivamente elevata, una fase di strippaggio/assorbimento (si veda capitolo D, paragrafo D.2.2.9).

L'insieme dei trattamenti di osmosi inversa, evaporazione, strippaggio e assorbimento, opportunamente combinati ed eventualmente integrati con ulteriori trattamenti, può rappresentare un valido schema di trattamento di tipo chimico-fisico del percolato di discarica (Figura F.4).

Figura F.4 - Schema di trattamento chimico-fisico del percolato di discarica



G) IDENTIFICAZIONE DI EVENTUALI TECNICHE ALTERNATIVE E DEFINIZIONE, OVE POSSIBILE, DEL RANGE DI PRESTAZIONE DI TALI TECNICHE

G.1 Reattori biologici sequenziali (SBR Sequencing Batch Reactors)

Descrizione del processo²

I reattori discontinui sequenziali (SBR: *Sequencing Batch Reactor*) hanno incontrato negli anni più recenti sempre maggior favore nell'applicazione al trattamento biologico delle acque di scarico. Essi operano con colture miste in fase sospesa o adesa su supporti di varia natura e possono essere progettati per realizzare la degradazione di composti bioresistenti, la nitrificazione, la denitrificazione, la rimozione del fosforo organico.

Rispetto agli impianti convenzionali a fanghi attivi, in cui la sequenza delle operazioni si sviluppa nello spazio, l'SBR è un sistema ad orientazione temporale ossia con fasi che si succedono nel tempo e pertanto opera in stato non stazionario, il che comporta una serie di vantaggi nel trattamento delle acque di scarico, che vengono illustrati nel seguito.

Nella sua forma base, un sistema SBR consiste di uno o più unità ciascuna delle quali dopo la fase iniziale di riempimento, opera come un reattore discontinuo.

Il tempo totale di processo è il parametro di base per il dimensionamento di un sistema SBR così come lo è il volume di un sistema tradizionale che opera in sequenza spaziale. La frazione di tempo che compete ad una specifica fase dell'SBR equivale al volume della corrispondente vasca di un sistema convenzionale. Pertanto, il tempo che spetta ad esempio alla aerazione o alla sedimentazione può essere ridistribuito facilmente modificando opportunamente la distribuzione dei tempi mentre in un sistema convenzionale a fanghi attivi con flusso continuo, i volumi dei vari recipienti sono fissati e non possono essere divisi o ridistribuiti così facilmente come in un SBR.

Un sistema di trattamento SBR può essere progettato usando un singolo reattore o più reattori in parallelo.

Il ciclo tipico di ogni unità in un SBR è suddiviso nelle sei fasi in sequenza temporale come mostrato in figura G.1: alimentazione, reazione, sedimentazione, scarico dell'effluente, spurgo dei fanghi, stasi.

Diverse condizioni possono essere indotte durante ciascuna fase in funzione dei requisiti del particolare obiettivo del trattamento.

Fase di alimentazione

Nella fase di carico il refluo industriale viene alimentato nel reattore. Tale fase può essere statica, agitata o aerata, in funzione delle finalità del trattamento.

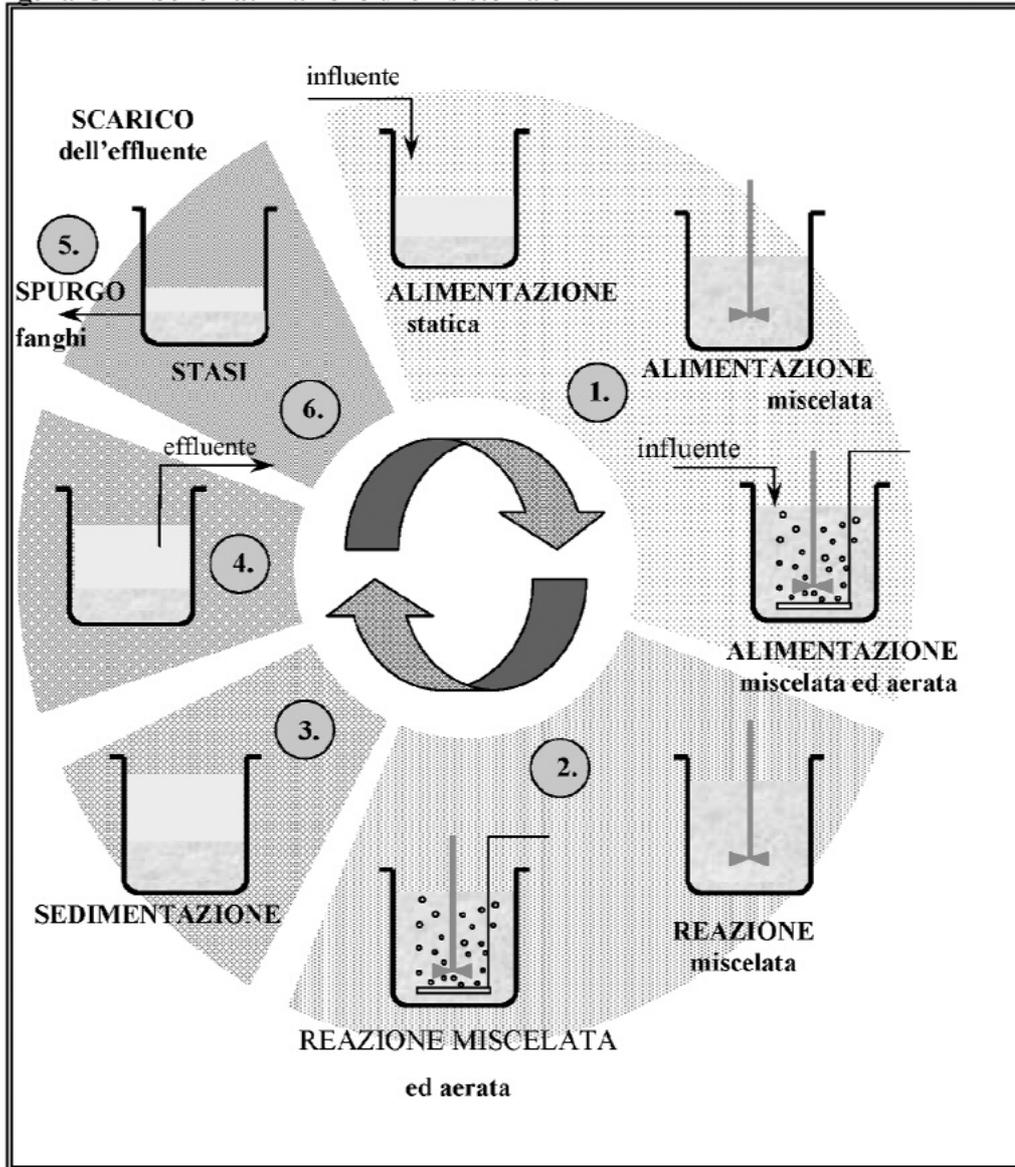
Durante l'alimentazione, l'influente è addizionato alla biomassa sedimentata e al volume residuo di effluente del ciclo precedente. Il volume di liquido cresce dal livello iniziale, fino ad un massimo del 100% del volume utile.

Il volume iniziale è stabilito in base ad una serie di fattori quali il carico desiderato, il tempo di residenza e le caratteristiche di sedimentabilità dei fanghi.

Il tempo di alimentazione dipende dal volume di ogni unità, dal numero di unità in parallelo e dall'ampiezza delle variazioni giornaliere della portata dell'acqua di scarico.

² Relazione tecnica Ramadori-Tomei, 2002, IRSA-CNR

Figura G.1 - Schematizzazione di un sistema SBR



Fase di reazione

Le reazioni iniziate durante il periodo di alimentazione sono completate nella fase di reazione. Come nell'alimentazione, è possibile alternare condizioni di concentrazioni ridotte di O_2 disciolto (reazione miscelata senza aerazione) a concentrazioni elevate (reazione miscelata ed aerata). Nelle applicazioni industriali, il tempo di reazione può variare da un minimo di zero ad un massimo del 50% del tempo totale del ciclo (Irvine e Ketchum, 1989).

Fase di sedimentazione

In un SBR la separazione dei solidi avviene in completa quiete in quanto non si hanno né correnti influenti né effluenti. Pertanto la fase di sedimentazione avviene a velocità ascensionale nulla e ciò garantisce un'elevata efficienza di separazione. Inoltre, siccome tutta la biomassa rimane nel reattore non occorre effettuare il riciclo dei fanghi, che è invece necessario in un sistema convenzionale.

Il tempo di sedimentazione varia normalmente tra 0.5 h e 1.5 h. Tempi di sedimentazione troppo lunghi possono causare l'affioramento in superficie dello strato di biomassa sedimentata (dovuto a processi di denitrificazione con produzione di azoto gassoso) la quale verrebbe in parte persa durante la successiva fase di scarico dell'effluente.

Fase di scarico dell'effluente

Alla fine della sedimentazione, il chiarificato viene scaricato dal sistema.

Il tempo di scarico può variare dal 5 al 30% del tempo totale del ciclo e generalmente non può essere aumentato oltre questo valore per i problemi di risalita dei fanghi di cui si è parlato a proposito del tempo di sedimentazione.

Fase di spurgo dei fanghi

Lo spurgo dei fanghi è un'operazione di primaria importanza in quanto consente di controllare l'età dei fanghi, parametro fondamentale nella progettazione e nella gestione del sistema SBR, che può essere realizzata a fine reazione, in condizioni di completa miscelazione oppure, sul fango sedimentato

Tale fase, richiede un tempo trascurabile rispetto ai tempi in gioco per le altre fasi.

Fase di stasi

Dopo la fase di scarico, il reattore è pronto per ricevere altra acqua da trattare. Il periodo tra lo scarico e l'alimentazione del ciclo successivo è denominato stasi o fase inattiva.

La fase di stasi si basa sulla necessità di equalizzare il flusso e sull'incertezza delle fluttuazioni di portata. Essa può essere completamente eliminata per quei sistemi in cui le fluttuazioni sono ben definite.

I vantaggi del sistema SBR

I vantaggi offerti dai reattori sequenziali sono:

- la natura batch di tali reattori, indipendentemente dalle dimensioni e dal tipo di refluo trattato, consente alla vasca di reazione stessa di fungere da bacino di equalizzazione evitando in tal maniera picchi di concentrazione e/o di portata che potrebbero inficiare la qualità dell'effluente.
- Per la stessa ragione, gli SBR non presentano problemi di vie preferenziali (short circuiting) e la fase di sedimentazione avviene a velocità ascensionale nulla garantendo un'ottima efficienza di separazione. A tale proposito, va sottolineato che la durata della fase di sedimentazione può essere variata in funzione delle caratteristiche di sedimentabilità del fango attivo e che, poiché la superficie di sedimentazione è pari alla superficie dell'intero reattore, normalmente il carico di solidi per unità di superficie è estremamente ridotto.
- Notevole flessibilità di funzionamento si riscontra anche nella fase di reazione che può essere modificata semplicemente variando i tempi di durata e le modalità di conduzione. Essa può essere infatti condotta in ambienti differenti (in termini di mescolamento e aerazione), consentendo la rimozione del carbonio organico, nutrienti ed inquinanti persistenti.
- Un altro vantaggio è rappresentato dall'assenza di pompe per il riciclo dei fanghi, essendo questi ultimi sempre presenti nel reattore a differenza di ciò che accade nei sistemi continui in cui il ricircolo coinvolge portate confrontabili con quelle di alimentazione.

A livello pratico, può essere realizzato un gran numero di strategie operative per manipolare la velocità di crescita differenziale, la selezione e la formazione di bioflocchi per cui, in conclusione, si può affermare che il principale vantaggio dei reattori SBR risulta essere proprio la flessibilità operativa, che consente un rapido adattamento alle più varie esigenze di conduzione.

Benefici ambientali

Un sistema SBR viene usualmente impiegato per realizzare la degradazione del carbonio organico (anche di composti bioresistenti), la nitrificazione, la denitrificazione, la rimozione del fosforo organico.

La sua capacità di rimozione di sostanze organiche bioresistenti lo rende particolarmente indicato nel trattamento dei reflui di natura industriale, rispetto ai tradizionali processi stazionari a fanghi attivi.

Dati operativi

Il *sequencing batch reactor* (SBR) appartiene alla categoria dei sistemi non stazionari controllati a funzionamento periodico e, grazie alla possibilità di imporre una vasta gamma di condizioni e strategie operative, rappresenta, nell'ambito dei processi biologici, uno strumento assai versatile per l'arricchimento della biocenosi di ampie varietà di microrganismi e per l'induzione di percorsi metabolici necessari per la rimozione biologica di nutrienti ed inquinanti persistenti dalle acque di scarico.

La tecnologia SBR si basa su un funzionamento ciclico a partire dalla fase di carico e concludendo con lo scarico dell'effluente e dei fanghi. In questo modo, i microrganismi sono sottoposti a variazioni controllate e regolari delle condizioni di processo capaci di mitigare l'impatto delle irregolari e impreviste variazioni dell'influente.

L'ampiezza e la frequenza della periodicità del sistema possono essere regolate in base agli specifici risultati che si vogliono ottenere a lungo termine (ad es. la sedimentabilità dei fanghi, le frazioni delle popolazioni nitrificanti e denitrificanti, ecc.) controllando i parametri fondamentali che caratterizzano il funzionamento del processo a fanghi attivi di tecnologia SBR:

- *tempo di residenza idraulico*

Un tempo di ritenzione idraulico di 12 ore viene normalmente impiegato laddove l'obiettivo del trattamento è far fronte alle sostanze organiche e limitare i solidi sospesi, mentre tempi di 18-24 o più ore si utilizzano in genere per la rimozione di sostanze particolarmente bioresistenti o per portate altamente variabili.

Infatti una breve fase di alimentazione e un elevato rapporto di scambio volumetrico sono indicati per la rimozione del carbonio facilmente degradabile in quanto l'elevata concentrazione di substrato che si ha a fine alimentazione permette un'elevata velocità di crescita che facilita la selezione dei microrganismi con ottime qualità di sedimentazione (microrganismi fioccoformatori).

Per contro un tempo di alimentazione lungo può essere impiegato per quegli scarichi industriali che contengono concentrazioni elevate di substrato inibente. In questo modo si limita il raggiungimento dei livelli tossici di concentrazione di substrato.

- *concentrazione della biomassa*

Tale parametro può essere espresso con riferimento sia ai solidi sospesi totali (MLSS o SS) che ai solidi sospesi volatili (VSS). Generalmente assume valori superiori ai 1000 mg/l di SS.

- *carico organico riferito alla biomassa o carico dei fanghi*

L'intervallo di variabilità del carico dei fanghi è 0.2-1.5 gBOD/(gSS·d)

- *età dei fanghi*

L'età dei fanghi (SRT) o tempo di residenza idraulico della biomassa è il parametro chiave per definire il sistema biologico richiesto per conseguire il particolare obiettivo del trattamento e in funzione di quest'ultimo assume valori che variano da 5-6 giorni a 30 o più.

- *efficienza di rimozione del substrato*

$$\eta(\%) = \left(1 - \frac{S_e \cdot V_r}{S_i \cdot V_f} \right) \cdot 100$$

dove S_i e S_e sono rispettivamente le concentrazioni di substrato nell'influente e nell'effluente. Sia per un SBR che per un impianto continuo, tale parametro è superiore al 80%.

- *rapporto di scambio volumetrico e durata del ciclo*
Tali parametro consente di determinare la quantità di scarico da trattare in quanto rappresenta di fatto il tempo di ritenzione idraulico del sistema:
- *durata delle diverse fasi*
La durata e la sequenza delle fasi sono stabilite in base all'obiettivo del trattamento e per garantire lo sviluppo, il controllo e il mantenimento della biomassa nel sistema.
- *numero e volume degli SBR*
Per il trattamento di reflui di natura industriale vengono usualmente impiegati più impianti SBR in parallelo e il loro numero è determinato essenzialmente dall'entità delle portate influenti. L'utilizzo di una singola unità SBR è più frequente presso piattaforme polifunzionali e richiede l'esistenza di uno stoccaggio dell'influente a monte per poter regolare la portata dei reflui alimentati all'impianto secondo le fasi stabilite.

Campo di applicazione

Gli impianti SBR trovano impiego nel trattamento di una vasta gamma di acque industriali: praticamente tutti i reflui a matrice organica e in assenza di sostanze tossiche, in analogia a quanto già descritto per gli impianti continui a fanghi attivi.

Rispetto a quest'ultimi la tecnica SBR consente una maggiore rendimento nella rimozione di sostanze particolarmente recalcitranti e di largo impiego, quali ad esempio i tensioattivi non ionici.

Possibili effetti indesiderati

La tecnica SBR consente, come sopra visto, rendimenti di rimozione elevati rispetto ad altri sistemi soprattutto nei confronti di sostanze organiche bioresistenti.

Il processo depurativo impiegato richiede per contro professionalità e controlli di livello più accurato dei sistemi tradizionali, senza i quali l'efficienza di rimozione dell'impianto può raggiungere livelli insoddisfacenti, con conseguenti problemi di rispetto dei valori di norma richiesti allo scarico.

Trattamenti complementari

Generalmente il trattamento biologico delle acque industriali secondo la tecnica SBR è preceduto da un pretrattamento chimico-fisico di chiariflocculazione e precipitazione che ha lo scopo di rimuovere dai reflui le sostanze, i metalli pesanti in particolare, che possono esercitare un'attività biotossica o biostatica sulla biomassa dell'impianto, impedendone l'attività o rallentandone alcuni processi quali ad esempio la nitrificazione.

G.2 Bioreattori (MBR)

La tecnologia del bioreattore, in seguito denominata "MBR", è di recente sviluppo e rappresenta una delle tecnologie più interessanti attualmente applicabili. Il vantaggio di questa tecnologia è di rendere possibile un retrofit di un impianto esistente e di occupare molto meno spazio rispetto ai sistemi tradizionali nonché di poter essere utilizzata sia per il trattamento di acque reflue urbane che per il trattamento di quelle industriali. Il processo MBR usa membrane denominate "Low Pressure Microfiltration" in grado di rimuovere il materiale biodegradabile dalle acque reflue.

Il sistema a fanghi attivi è principalmente costituito da un reattore biologico che viene ossigenato mediante un sistema a turbina o a microbolle: la massa di fango + acqua viene poi separata dall'acqua depurata tramite sedimentazione.

Un bioreattore a membrane "MBR" è un sistema biologico ad elevata concentrazione cellulare in cui la separazione viene effettuata mediante il passaggio della massa fango+acqua attraverso una membrana filtrante, per cui non è più la velocità di sedimentazione come in un sedimentatore tradizionale, che assicura l'efficienza del processo di depurazione: con l'impiego di membrane

ultrafiltranti si possono sfruttare i vantaggi del trattamento biologico senza preoccuparsi dell'efficienza del decantatore e quindi superando quello che era spesso uno dei fattori limitanti del processo nei tradizionali sistemi di depurazione.

Dall'impianto di ultrafiltrazione si ottiene così un refluo con un contenuto di SS inferiore a 2-5 mg/l.

Da un confronto tra il nuovo processo e la tradizionale tecnologia, è risultato che, a fronte di un aumento di energia elettrica consumata pari al 45% circa, si può ottenere una diminuzione del 28% circa dei costi di manutenzione e personale, nonché del 20% circa di quelli relativi allo smaltimento dei fanghi.

Dati operativi

Le membrane possono essere a fibra cava o piana. Lo sporco viene controllato mediante sistema di insufflazione di aria che garantisce, attraverso una maggiore turbolenza in prossimità delle fibre cave, di minimizzare il deposito di biomassa sulle fibre stesse.

Il permeato fluisce esternamente dall'interno delle membrane, aiutato anche da una pompa centrifuga di estrazione che crea una leggera depressione internamente (circa 10-15 kPa).

Il processo non richiede stadi di sedimentazione primaria né secondaria e nessun trattamento terziario o sterilizzazione mediante UV. Il permeato ha normalmente le seguenti caratteristiche in uscita all'impianto :

- BOD₅: 5 ppm max
- SS: 5 ppm max
- Ammoniaca: 5 ppm max.
- Sterilizzazione: non richiesta

Vantaggi

- Bassa sensibilità alle variazioni delle caratteristiche dell'influente
- controllo dell'età del fango.
- riduzione della produzione di fango.
- miglioramento della qualità dell'effluente.
- limitata richiesta di spazio.
- possibilità di riciclare l'effluente.
- modularità dei sistemi

G.3 Sistemi di arricchimento ossigeno

Nei sistemi di trattamento acque, la parte vitale dell'impianto è quella che riguarda la ossidazione del liquame: è lì che, in un ambiente ricco di ossigeno, si instaurano complessi fenomeni fisici, chimici e soprattutto biologici.

La stima del quantitativo di ossigeno che occorre fornire per l'efficiente sviluppo delle reazioni biologiche, è particolarmente importante, essendo il dato fondamentale per il dimensionamento delle apparecchiature di aerazione.

Come è noto la durata dell'aerazione in giorni, è correlata dalla domanda biochimica di ossigeno (DBO) che è a sua volta funzione del BOD₅. Per garantire il rifornimento di O₂, si devono, spesso, installare compressori di elevate dimensioni o, in alternativa, devono essere predisposti sistemi di stoccaggio di ossigeno puro con conseguenti problemi gestionali e di trasporto.

Al fine di ridurre i volumi dei compressori esistono sistemi a membrana che permettono di migliorare il rapporto ossigeno/aria trattata, sino a valori di elevata purezza.

La permeazione a membrana è un processo di separazione che involve il trasporto selettivo delle molecole di gas attraverso una superficie polimerica permeabile. Come la maggior parte dei

processi di separazione chimici che sono governati dai rapporti di equilibrio di fase, la separazione a membrana è basata principalmente sui rapporti relativi di trasferimento di massa.

Dati operativi

La tecnologia si basa sull'utilizzo di membrane permeabili che consentono di separare selettivamente i gas più "veloci" (l'ossigeno) da quelli più "lenti" (l'azoto). L'arricchimento dell'aria non viene effettuato mediante l'aggiunta di ossigeno puro, ma attraverso l'eliminazione dell'azoto in essa presente; la tecnica consente di pervenire a valori di purezza di ossigeno estremamente elevati, ma in questo caso gli impianti di produzione ossigeno arricchito, possono diventare non più economicamente validi nella filosofia di un impianto di trattamento di acque reflue e di rifiuti liquidi.

Il "filtro" è composto da numerose fibre a membrana, internamente cave e permeabili ai gas, racchiuso in un contenitore cilindrico. La maggiore trasferibilità dell'ossigeno rispetto all'azoto consente di separare i due gas. Il sistema è, inoltre, dotato di un filtro per l'eliminazione dei residui di idrocarburi e di eventuali contaminanti presenti nell'aria da "trasformare" ed, eventualmente, di una resistenza elettrica per il riscaldamento dell'aria ad una temperatura di 40°C, al fine di garantire un migliore rendimento delle fibre.

Il funzionamento del sistema presuppone la sua alimentazione con aria già filtrata proveniente dai compressori; l'aria entra nel sistema passando, dapprima, nel filtro di purificazione, successivamente, all'interno di un primo cilindro dove è sottoposta a riscaldamento mediante apposita resistenza elettrica ed, infine, in un secondo cilindro, in cui avviene l'arricchimento.

L'aria scorre all'interno delle fibre cave che compongono la membrana e, durante il tragitto (in genere dall'alto verso il basso) una parte di essa permea verso l'esterno. Poiché l'ossigeno presente nell'aria risulta maggiormente "trasferibile" rispetto all'azoto, all'esterno della membrana si raccoglie un'aria più ricca di O₂ e più povera di N₂.

All'estremità finale delle fibre l'aria più ricca di azoto viene espulsa all'esterno attraverso un foro d'uscita dove è installata una valvola di regolazione della velocità di flusso. L'aumento della velocità di flusso dell'aria si traduce in una maggiore percentuale di ossigeno nella miscela che fuoriesce dalla membrana, al contrario, una diminuzione della velocità determina una minore percentuale di ossigeno. Il livello di purezza può essere incrementato effettuando più passaggi del flusso gassoso sulle membrane.

Vantaggi

- possibilità di utilizzare i compressori già in dotazione
- buona durata di vita della membrana.
- si evitano i rischi tipicamente connessi ai sistemi di stoccaggio dell'ossigeno puro

G.4 Trattamento anaerobico del percolato di discariche di rifiuti urbani con reattori a biomassa adesa

I due processi anaerobici a biomassa adesa maggiormente utilizzati per il trattamento dei reflui e dei rifiuti liquidi sono i filtri anaerobici (a letto fisso) ed i processi a letto espanso. Questi sempre, tali trattamenti consentono di evitare una fase di sedimentazione a valle in virtù del ridotto apporto di solidi sospesi nell'influente e della bassa produzione di fango. Solitamente, richiedono, invece, il ricircolo di una certa aliquota dell'effluente, affinché siano raggiunti i valori di portata richiesti per ottenere una certa diluizione dell'influente. La tecnica a biomassa adesa può essere efficacemente utilizzata per il trattamento dei percolati di discarica.

Dati operativi

Si elencano alcuni dei principali parametri che regolano e condizionano il funzionamento dei digestori anaerobici a biomassa adesa:

- i batteri metanigeni sono molto sensibili all'acidità, per cui si rende necessario un controllo analitico accurato del percolato stoccato, o in alternativa all'uscita del sistema di pretrattamento chimico-fisico, per una eventuale correzione di pH prima della sua alimentazione al digestore.
- il percolato viene alimentato dalla sommità del digestore e sparso sulla massa di riempimento. Per una maggiore resa depurativa, dopo avere attraversato la massa di riempimento, il percolato viene prelevato dal fondo e, mediante pompe di ricircolo, ricircolato dopo termoregolazione in testa al reattore con l'alimentazione.
- il biogas in uscita dalla sommità dei reattori viene accumulato in un gasometro, da cui viene poi prelevato sia per l'alimentazione della caldaia del sistema di termoregolazione, sia per il funzionamento del sistema di detassaggio del materiale di riempimento del digestore. Questa operazione viene eseguita periodicamente insufflando biogas sotto i materiali di riempimento per smuoverli ed evitare che tendano ad intasarsi.
- il digestore anaerobico a biomassa adesa rientra tra gli impianti anaerobici ad alto carico (30-35 kg di COD/m³ di volume utile) e viene mantenuto a temperature comprese tra 32 e 38 °C (zona mesofila). In tali condizioni e con tempi di permanenza di circa 48 ore si raggiungono rese di abbattimento del BOD₅ superiori al 90%.
- la produzione di biogas varia tra 0,6 e 0,8 mc/kg di BOD₅ alimentato. Il tenore di metano nel biogas varia tra il 70 e il 75%. Buona parte del biogas viene impiegata per mantenere il sistema in temperatura.
- in molti casi nel percolato da scarica RU si riscontra la presenza di sostanze a bassa tensione di vapore e di gas in grado di formare con l'aria miscele esplosive; per tale ragione si rende necessario adottare delle coperture con gas inerte nelle vasche di stoccaggio del refluo in testa all'impianto

Campo di applicazione

La digestione anaerobica a biomassa adesa è un processo che trova diverse applicazioni per il trattamento di reflui del settore agroalimentare e per la depurazione di percolati di risulta delle discariche di rifiuti urbani.

Considerate le modalità di gestione delle discariche e i sistemi di raccolta dei percolati, le caratteristiche di quest'ultimi consentono talvolta di evitare pretrattamenti chimico-fisici a fronte del basso contenuto di solidi sospesi.

Vantaggi dei processi a biomassa adesa

Rispetto ai processi anaerobici tradizionali a biomassa sospesa, i sistemi a biomassa adesa presentano alcuni vantaggi:

- richiesta più limitata di spazio, a fronte di elevate velocità di reazione
- superiore produzione specifica di metano con possibilità di recupero energetico
- generazione di fanghi di risulta molto contenuta
- la tecnica di digestione anaerobica a biomassa adesa presenta per contro alcune limitazioni:
- la necessità di alimentare un refluo privo di materiali in sospensione, e quindi la necessità in alcuni casi di un pretrattamento chimico-fisico
- la trasformazione dell'azoto contenuto nei reflui in azoto ammoniacale con conseguente necessità di un successivo trattamento dei reflui per la sua rimozione.

Ulteriori vantaggi offerti dal sistema a biomassa adesa sono:

- alti rendimenti depurativi in termini di abbattimento di COD e BOD₅
- ridotti volumi di reazione a fronte dei minori tempi di ritenzione idraulica (1-2 giorni)

Effetti indesiderati

I reflui del processo sono maleodoranti per l'abbondante presenza di composti a basso stato di ossidazione come ammoniaca, idrogeno solforato, ecc..

La produzione di biogas con una elevata percentuale di metano, se dal punto di vista energetico può essere un notevole vantaggio, comporta l'adozione di appropriate misure di sicurezza al fine di prevenire la formazione di miscele esplosive.

Trattamenti complementari

Il trattamento per digestione anaerobica dei percolati di discarica RU deve essere completato integrando l'impianto con trattamenti complementari di vario tipo:

- un pretrattamento chimico-fisico con calce e polielettrolita a pH 11, che di solito conduce alla formazione di fiocchi dotati di elevata velocità di sedimentazione e consente di ottenere un refluo limpido e privo di materiali in sospensione; raramente è richiesto anche l'impiego di sali di ferro per raggiungere i risultati voluti. Il COD del percolato rimosso durante il trattamento può raggiungere il 25-30%, ma normalmente non supera il 10%
- un post-trattamento del refluo risultante dalla digestione anaerobica si rende necessario a seguito dell'elevata presenza di NH₃ originata dalla riduzione dell'azoto nella fase di digestione. Ciò può essere realizzato o per stripping dell'ammoniaca, come descritto in altro capitolo della relazione, o per alimentazione a un sistema di depurazione aerobico dotato di sezioni nitro-denitro.

G.5 Rimozione biologica del fosforo

Un tipico impianto per la rimozione biologica del fosforo è costituito da un comparto anaerobico (provvisto di dispositivi di miscelazione per evitare la sedimentazione dei solidi), un comparto anossico/aerobico o aerobico (a seconda che venga effettuata o meno la rimozione simultanea dell'azoto) e da un comparto di sedimentazione disposti in serie, con ricircolo del fango attivo in testa al comparto anaerobico.

Dal punto di vista impiantistico, la rimozione biologica del fosforo è quasi sempre combinata con i processi di nitrificazione/denitrificazione. È preferibile una vasca anaerobica del tipo con flusso a pistone, in modo che la rimozione degli eventuali nitrati presenti nel fango di ricircolo avvenga nella zona iniziale (che funge quindi da comparto di denitrificazione), garantendo nel resto della vasca condizioni veramente anaerobiche. Per gli stessi motivi occorre impedire che, contestualmente al ricircolo dei fanghi o alla fase di miscelazione in vasca, si verifichi l'immissione di ossigeno nel comparto anaerobico.

Dati operativi

La rimozione biologica del fosforo è un trattamento tipicamente terziario che può essere, comunque, integrato con i trattamenti secondari. In particolari condizioni si possono registrare rimozioni del fosforo superiori all'80-90%.

Gli intervalli dei tempi di residenza del refluo nei vari comparti di un tipico processo di rimozione biologica dei nutrienti sono:

Stadio	Intervallo (ore)
Anaerobico	0,5-2
Pre-denitrificazione anossica	0,5-4
Post-denitrificazione anossica	2-4
Ossidazione, nitrificazione	2,5-12
Ossigenazione finale (successiva alla post-denitrificazione)	0,5-1

Fonte: "Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane" - ANPA/Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, ANPA 1/2001

Campo di applicazione

La rimozione biologica del fosforo è applicabile a tutte le tipologie di reflui biodegradabili ricchi di fosforo, sebbene la biomassa fosforo-accumulante si dimostri molto selettiva nella scelta del substrato organico rapidamente biodegradabile da stoccare in fase anaerobica.

G.6 Stagni biologici (o lagunaggi)³

I processi depurativi che avvengono in stagni biologici (detti anche lagunaggi) sono processi di tipo naturale a biomassa sospesa il cui fattore caratterizzante è la presenza di un ambiente naturale popolato da batteri e microalghe (queste ultime in proporzione crescente con la migliore qualità del refluo e con la diminuzione della profondità del bacino).

Questa tipologia di trattamento è utilizzabile:

- per la rimozione della sostanza organica
- per la rimozione dei nutrienti (azoto e/o fosforo)
- come trattamento di stabilizzazione biologica dei fanghi

Dati operativi

In base alle reazioni biologiche che li contraddistinguono, funzione soprattutto dell'altezza del corpo idrico, gli stagni biologici possono essere classificati in:

- *stagni anaerobici*: le reazioni biologiche si svolgono in ambiente completamente anaerobico; a tal fine sono richieste altezze idriche sufficientemente elevate (> 8 m). I processi anaerobici che si innescano sul fondo determinano produzione di biogas; questo, risalendo in superficie, favorisce la formazione di una crosta superficiale che impedisce sia la dissoluzione dell'ossigeno attraverso lo specchio liquido, sia il passaggio della luce ed il conseguente proliferare delle alghe fotosintetiche, produttrici di ossigeno; in questo modo si hanno condizioni anaerobiche nell'intero bacino. Il liquame viene scaricato dopo 40 - 50 giorni di permanenza in vasca, mentre la massa batterica viene asportata dal fondo ogni 2 - 3 anni; si deve operare in genere a un Fattore di Carico Volumetrico (FCV) tra 0,015 e 0,025 kgBOD₅/m³ giorno. Il processo, volto in particolar modo al trattamento di reflui ad alta forza, consente di ottenere rendimenti, in termini di rimozione del BOD₅, dell'ordine del 60-70%
- *stagni facoltativi*: vengono realizzati con altezze idriche dell'ordine di 0,9-1,5 m, al fine di favorire reazioni di tipo anaerobico negli strati inferiori e reazioni di tipo aerobico, o meglio, facoltative. I batteri facoltativi operano di giorno in condizioni aerobiche sfruttando l'ossigeno prodotto dalle alghe che a loro volta si servono della CO₂ prodotta dagli stessi batteri, mentre in assenza di luce si innescano condizioni anaerobiche. Solitamente agli stagni facoltativi si deve far pervenire un liquame preventivamente grigliato ed in alcuni casi l'effluente di una sedimentazione primaria. I tempi di ritenzione sono dell'ordine di 20 - 30 giorni, e i Fattori di Carico Superficiale (FCS) tra 30 e 70 kgBOD₅/ha giorno. Si raggiungono rendimenti, in termini di rimozione del BOD₅, intorno al 90%.
- *stagni aerobici*: sono realizzati con altezze idriche di 0,2 - 0,6 m, in modo da garantire ovunque il passaggio di luce ed il conseguente sviluppo delle alghe fotosintetiche; l'apporto di ossigeno da esse fornito garantisce un funzionamento completamente aerobico. Si deve provvedere ad un periodico rimescolamento (circa 3 ore al giorno) del contenuto del bacino per ottenere la stabilizzazione del fango sedimentato; a tal fine devono essere utilizzati pompe o sistemi di aerazione superficiale. La temperatura ottimale si aggira intorno ai 20°C e si deve, in genere, operare a valori di FCS intorno a 20 - 30 kgBOD₅/ha giorno (valori

³ Fonte: "Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane" - ANPA/Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, ANPA 1/2001

superiori innescherebbero condizioni anaerobiche sul fondo dello stagno). In termini di rimozione del BOD₅, si raggiungono rendimenti di circa il 95%.

- *stagni aerati*: i bacini vengono realizzati con elevate altezze idriche, 2-4 m, soddisfacendo la richiesta di ossigeno delle popolazioni microbiche con sistemi artificiali quali turbine galleggianti o sistemi di aerazione diffusa. Per il dimensionamento si deve fare riferimento a tempi di residenza idraulici di circa 10 giorni e a FCS di circa 500 kgBOD₅/ha giorno. Come nel caso degli stagni aerobici, si raggiungono rendimenti di circa il 95% in termini di rimozione del BOD₅, ma con il chiaro vantaggio di una minore dimensione del bacino.

Campo di applicazione

Il trattamento in stagni biologici è applicabile a reflui caratterizzati da carichi organici elevati (come, ad esempio, quelli provenienti dall'industria agro-alimentare).

Vantaggi e svantaggi

Le prestazioni non si discostano molto da quelle tipiche dei processi a fanghi attivi ma vengono richieste elevate superfici per il soddisfacimento dei processi biologici di tipo "naturale". Si pongono alcuni problemi relativamente ai climi rigidi ed alla notevole produzione di biomassa algale di natura colloidale, estremamente difficile da separare per sedimentazione.

Per quanto concerne le tecniche di stabilizzazione biologica dei fanghi mediante compostaggio, una analisi dettagliata è riportata nelle "Linee Guida per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili per gli impianti di trattamento meccanico biologico" a cui, pertanto, si rimanda.

H) DEFINIZIONE (SULLA BASE DELL'APPROFONDIMENTO E DELL'ESTENSIONE DELLE ANALISI SVOLTE IN SEDE COMUNITARIA) DELLA LISTA DELLE MIGLIORI TECNICHE PER LA PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO DELLO SPECIFICO SETTORE IN ITALIA

L'adozione delle BAT ha come scopo principale quello di fornire alle autorità preposte il riferimento su cui valutare compiutamente le richieste di autorizzazione integrata in campo ambientale in ambito IPPC. Al tempo stesso esse possono risultare di aiuto anche agli operatori in sede di predisposizione della richiesta di autorizzazione.

Le varie tematiche di interesse sono state sviluppate, per quanto possibile, analizzando le tecniche secondo la sequenza di trattamenti che caratterizzano un impianto di trattamento dei rifiuti liquidi.

Nel presente capitolo si espongono, pertanto, le migliori tecniche e tecnologie comuni a tutte le tipologie di impianto di trattamento chimico - fisico e biologico in Italia, per ogni fase di processo, rimandando, per una trattazione di dettaglio, a quanto già precedentemente riportato nel capitolo E.

Tabella H.1 – Individuazione delle BAT

Conferimento e stoccaggio dei rifiuti all'impianto (si veda anche E.5.1.1-E.5.1.3)
<p>1. Caratterizzazione preliminare del rifiuto. Acquisizione della seguente documentazione da parte del gestore:</p> <ul style="list-style-type: none"> • analisi chimica del rifiuto; • scheda descrittiva del rifiuto: <ul style="list-style-type: none"> - generalità del produttore, - processo produttivo di provenienza, - caratteristiche chimico-fisiche, - classificazione del rifiuto e codice CER, - modalità di conferimento e trasporto. <p>Se ritenuto necessario, saranno richiesti uno o più dei seguenti accertamenti ulteriori:</p> <ul style="list-style-type: none"> • visita diretta del gestore allo stabilimento di produzione del rifiuto; • prelievo di campioni del rifiuto; • acquisizione delle schede di sicurezza delle materie prime e dei prodotti finiti del processo produttivo di provenienza <p>2. Procedure di conferimento del rifiuto all'impianto. Presentazione della seguente documentazione:</p> <ul style="list-style-type: none"> • domanda di conferimento su modello standard predisposto dal gestore; • scheda descrittiva del rifiuto su modello standard predisposto dal gestore; • analisi completa del rifiuto; • schede di sicurezza delle sostanze pericolose potenzialmente contenute nel rifiuto. <p>Per più carichi dello stesso rifiuto e dello stesso produttore, resta valida la documentazione presentata la prima volta, documentazione da richiamare nel documento di trasporto di ogni singolo carico. Dovranno essere effettuate verifiche periodiche.</p> <p>La tipologia di trattamento dovrà essere individuata sulla base delle caratteristiche chimico-fisiche del rifiuto</p> <p>3. Modalità di accettazione del rifiuto all'impianto.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Programmazione delle modalità di conferimento dei carichi all'impianto. • Pesatura del rifiuto e controllo dell'eventuale radioattività • Annotazione del peso lordo da parte dell'ufficio accettazione. • Attribuzione del numero progressivo al carico e della piazzola di stoccaggio. <p>4. Accertamento analitico prima dello scarico.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prelievo, con cadenza periodica, di un campione del carico (o della partita omogenea) da parte del tecnico responsabile. • Analisi del campione, con cadenza periodica, da parte del laboratorio chimico dell'impianto. • Operazioni di scarico con verifica del personale addetto (ovvero restituzione del carico al mittente qualora le caratteristiche dei rifiuti non risultino accettabili). • Registrazione e archiviazione dei risultati analitici. <p>5. Congedo automezzo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bonifica automezzo con lavaggio ruote. • Sistemazione dell'automezzo sulla pesa.

<ul style="list-style-type: none"> • Annotazione della tara da parte dell'ufficio accettazione. • Congedo dell'automezzo. • Registrazione del carico sul registro di carico e scarico. <p>Occorre inoltre prevedere:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stoccaggio dei rifiuti differenziato a seconda della categoria e delle caratteristiche chimico-fisiche e di pericolosità di rifiuto. I rifiuti in ingresso devono essere stoccati in aree distinte da quelle destinate ai rifiuti già sottoposti a trattamento • Le strutture di stoccaggio devono avere capacità adeguata sia per i rifiuti da trattare sia per i rifiuti trattati • Mantenimento di condizioni ottimali dell'area dell'impianto • Adeguati isolamento e protezione dei rifiuti stoccati • Minimizzazione della durata dello stoccaggio, in particolare per quanto riguarda i rifiuti liquidi contenenti composti organici biodegradabili • Mantenimento del settore di stoccaggio dei reagenti distinto dal settore di stoccaggio dei rifiuti • Installazione di adeguati sistemi di sicurezza ed antincendio • Minimizzazione delle emissioni durante le fasi di movimentazione e stoccaggio
<p>Pretrattamenti</p> <ul style="list-style-type: none"> • Definizione delle modalità operative di pretrattamento e di miscelazione di rifiuti compatibili. • Test di laboratorio per definire i dosaggi di eventuali reagenti. • Garantire il miglioramento delle caratteristiche qualitative dei rifiuti da inviare al processo mediante trattamenti complementari quali, ad esempio, equalizzazione e neutralizzazione.
<p>Modalità operative del trattamento (si veda anche E.5.2 -E.5.3)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Predisposizione del "foglio di lavoro", firmato dal tecnico responsabile dell'impianto, su cui devono essere riportate almeno le seguenti informazioni: <ul style="list-style-type: none"> - numero del carico (o di più carichi); - tipologia di rifiuto liquido trattata (nel caso di miscelazione riportare la tipologia di ogni singolo rifiuto liquido componente la miscela, a tal fine può anche essere utilizzato un apposito codice identificativo della miscela che consenta di risalire, in modo univoco, alla composizione della stessa) - identificazione del serbatoio di stoccaggio/equalizzazione del rifiuto liquido o della miscela - descrizione dei pretrattamenti effettuati - numero dell'analisi interna di riferimento - tipologia di trattamento a cui sottoporre il rifiuto liquido o la miscela di rifiuti liquidi, dosaggi di eventuali reagenti da utilizzare e tempi di trattamento richiesto • Consegna del "foglio di lavoro" in copia agli operatori dell'impianto. • Avvio del processo di trattamento più adatto alla tipologia di rifiuto liquido a seguito dell'individuazione delle BAT. • Prelievo di campioni del rifiuto liquido o del refluo proveniente dal trattamento. • Consegna ed archiviazione del "foglio di lavoro", con eventuali osservazioni, in originale nella cartella del cliente. <p>Occorre, inoltre, garantire:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Risparmio delle risorse ambientali ed energetiche • La realizzazione delle strutture degli impianti e delle relative attrezzature di servizio con materiali idonei rispetto alle caratteristiche dei rifiuti da stoccare e da trattare • La presenza di strumentazioni automatiche di controllo dei processi per mantenere i principali parametri funzionali entro i limiti prefissati.
<p>Post-trattamenti</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verifiche analitiche del rifiuto trattato e stoccaggio nel caso in cui esso non sia direttamente collettato • Adeguata gestione dei residui ed eventuali altri scarti di processo • Caratterizzazione ed adeguato smaltimento dei rifiuti non recuperabili
<p>Trattamento delle emissioni gassose (si veda anche E.5.1.4)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adeguata individuazione del sistema di trattamento • Valutazione dei consumi energetici • Ottimizzazione della configurazione e delle sequenze di trattamento • Rimozione delle polveri
<p>Trattamento dei reflui prodotti nell'impianto (si veda anche E.5.1.5)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Massimizzazione del riciclo delle acque reflue • Raccolta separata delle acque meteoriche pulite • Minimizzazione della contaminazione delle risorse idriche
<p>Trattamento dei rifiuti prodotti nell'impianto (si veda anche E.5.1.6)</p>

<ul style="list-style-type: none"> • caratterizzazione dei rifiuti prodotti al fine di individuare le più idonee tecniche di trattamento e/o recupero • riutilizzo dei contenitori usati (serbatoi, fusti, cisternette, ecc.) • ottimizzazione, ove possibile, dei sistemi di riutilizzo e riciclaggio all'interno dell'impianto
Raccolta e conservazione dei dati sui rifiuti c/o reflui in uscita
a Dati raccolti: <ul style="list-style-type: none"> • verifica analitica periodica del rifiuto c/o del refluo; • nel caso dei rifiuti annotare la data di conferimento alle successive operazioni di recupero o smaltimento; • firma del tecnico responsabile del laboratorio; • firma del tecnico responsabile dell'impianto.
b Raccolta dei certificati d'analisi: <ul style="list-style-type: none"> • firmati in originale dal tecnico responsabile del laboratorio; • ordinati in base al numero progressivo dell'analisi.
c Tenuta delle cartelle di ogni cliente contenenti, in copia o in originale, tutta la documentazione
Programma di monitoraggio (si veda anche E.5.1.1)
Il programma di monitoraggio deve garantire, in ogni caso: <ul style="list-style-type: none"> • controlli periodici dei parametri quali-quantitativi del rifiuto liquido in ingresso • controlli periodici quali-quantitativi del rifiuto liquido/refluo in uscita • controlli periodici quali-quantitativi dei fanghi • controlli periodici delle emissioni • controlli periodici interni al processo • nel caso di immissione dei reflui in corpi idrici, controllo periodico immediatamente a monte e a valle dello scarico dell'impianto
Rumore
<ul style="list-style-type: none"> • Impiego di materiali fonoassorbenti • Impiego di sistemi di coibentazione • Impiego di silenziatori su valvole di sicurezza, aspirazioni e scarichi di correnti gassose
Strumenti di gestione ambientale
<ul style="list-style-type: none"> • Sistemi di gestione ambientale (EMS) • Certificazioni EN ISO 14001 • EMAS
Comunicazione e consapevolezza dell'opinione pubblica (si veda anche E.5.1.2)
<ul style="list-style-type: none"> • Comunicazioni periodiche a mezzo stampa locale e distribuzione di materiale informativo • Organizzazione di eventi di informazione/discussione con autorità e cittadini • Apertura degli impianti al pubblico • Disponibilità dei dati di monitoraggio in continuo all'ingresso impianto o via Internet

H.1 Configurazione base dell'impianto

Tutti gli impianti di trattamento dei rifiuti liquidi devono essere dotati di:

- una zona di conferimento e stoccaggio temporaneo dei rifiuti in ingresso;
- una area di pre-trattamento (equalizzazione, neutralizzazione, ecc.);
- un'area di processo;
- un'area destinata ad eventuali post-trattamenti;
- una zona di stoccaggio del rifiuto trattato e di carico sui mezzi in uscita, nel caso in cui esso non sia direttamente collettato.

Occorre inoltre prevedere:

- aree per la viabilità;
- strutture di servizio e per la sicurezza dell'impianto
- impianto di raccolta delle acque meteoriche, adeguatamente dimensionato e vasca di raccolta delle acque di prima pioggia;
- adeguato impianto di raccolta delle acque reflue
- deposito per le sostanze da usare per l'assorbimento dei liquidi in caso di sversamenti accidentali

- idonea recinzione e protezione ambientale con siepi, alberature o schermi mobili lungo tutto il perimetro dell'impianto al fine di minimizzare l'impatto visivo e la rumorosità verso l'esterno dello stesso.

H.1.1 Ricevimento, stoccaggio e movimentazione

Ad integrazione di quanto riportato al capitolo E, paragrafi E.5.1.1 ed E.5.1.3, nelle operazioni di ricevimento e stoccaggio dei rifiuti liquidi devono essere adottate le seguenti modalità operative.

Prima dell'accettazione del rifiuto presso l'impianto di trattamento, il gestore deve acquisire tutte le informazioni necessarie per l'individuazione e la caratterizzazione dello stesso anche attraverso visite dirette presso lo stabilimento di produzione del rifiuto con prelievi di campione e acquisizione delle schede di sicurezza delle materie prime e dei prodotti finiti del processo produttivo di provenienza. Il gestore deve, inoltre, condurre la caratterizzazione dei rifiuti conferiti per accertarne la compatibilità con il processo. Il rifiuto deve, infatti, risultare compatibile con:

- le caratteristiche dell'impianto e la tipologia di processo;
- gli altri rifiuti già in fase di conferimento (non si devono avere fenomeni di incompatibilità chimica e/o fisica tra rifiuti destinati ad essere tra loro miscelati).

Accanto alla caratterizzazione iniziale, con frequenza proporzionale al numero di carichi conferiti, vengono effettuate verifiche di conformità del rifiuto, mediante analisi dei parametri che in fase di caratterizzazione sono risultati più critici.

Una descrizione sintetica delle procedure da seguire nella fase di conferimento e stoccaggio è riportata in tabella H.1.

Il settore di accettazione deve essere distinto da quello di stoccaggio e devono essere previste aree di stoccaggio distinte in funzione della tipologia di rifiuto.

La superficie del settore di accettazione deve avere dimensioni tali da consentire un'agevole movimentazione dei mezzi e delle attrezzature in ingresso ed in uscita. Nel settore di accettazione e movimentazione non deve essere consentito il deposito dei rifiuti.

Le aree di accettazione e di movimentazione dei rifiuti devono essere impermeabili e dotate di sistemi di raccolta dei reflui che in maniera accidentale possano fuoriuscire o dagli automezzi o dai serbatoi.

Deve essere prevista una zona per il lavaggio e la pulitura degli automezzi nel caso di contatto o sversamento di rifiuti durante le operazioni di carico e scarico.

La fase di stoccaggio dei rifiuti liquidi deve permettere la programmazione razionale dei tempi e delle modalità di trattamento, senza condizionare i conferimenti alle esigenze del processo. Essa deve essere realizzata in modo da minimizzare l'impatto ambientale e da garantire la sicurezza e l'igiene nel lavoro; deve, inoltre, presentare caratteristiche volumetriche e di dislocazione tali da consentire lo stoccaggio differenziato delle diverse tipologie di rifiuti, le operazioni di omogeneizzazione fra rifiuti compatibili, i tempi di stoccaggio sufficienti per una completa caratterizzazione qualitativa del rifiuto, una razionale movimentazione o collettamento dei rifiuti da inviare al trattamento

I recipienti fissi o mobili, utilizzati all'interno degli impianti, e non destinati ad essere reimpiegati per le medesime tipologie di rifiuti, devono essere sottoposti a trattamenti di bonifica appropriati alle nuove utilizzazioni. Detti trattamenti devono essere effettuati presso idonea area dell'impianto, appositamente allestita e dotata di superficie impermeabile, o presso impianti autorizzati.

H.1.2 Migliori tecniche e tecnologie per i trattamenti chimico-fisici e biologici dei rifiuti liquidi

Le migliori tecniche e tecnologie per i trattamenti chimico-fisici e biologici sono ampiamente descritte nel capitolo E, paragrafi E.5.2 – E.5.3 a cui, pertanto, si rimanda.

H 1.3 Limitazione delle emissioni

Gli impianti di trattamento chimico-fisico e biologico dei rifiuti liquidi devono essere gestiti in modo da non produrre emissioni dannose all'ambiente esterno e all'ambiente di lavoro; in particolare devono essere, quanto più possibile, prevenute:

- emissioni di polveri
- emissioni di sostanze osmogene e di composti volatili
- emissione di rumori
- scarichi liquidi
- produzione di rifiuti

Per quanto riguarda, nello specifico, la limitazione delle emissioni di rumori è necessario, preliminarmente, individuare tutte le possibili sorgenti (comprese le sorgenti casuali) e le posizioni sensibili più vicine a tali sorgenti. Al fine di limitare i rumori è necessario acquisire, per ogni sorgente principale, le seguenti informazioni :

- posizione della macchina nella planimetria dell'impianto
- funzionamento (continuo, intermittente, fisso o mobile)
- ore di funzionamento
- tipo di rumore
- contributo al rumore complessivo dell'ambiente

E' anche necessario eseguire campagne di misurazione e mappatura dei livelli di rumore nell'ambiente.

Dopo l'acquisizione di tutte le informazioni necessarie vanno individuati i provvedimenti da attuare. Tutte le macchine devono essere messe a norma e devono essere dotate di sistemi di abbattimento dei rumori. I livelli sonori medi sulle 8 ore del turno lavorativo non devono superare gli 80 dB misurati alla quota di 1,6 m dal suolo e a distanza di 1 m da ogni apparecchiatura.

Le macchine che superano i limiti previsti dalle norme devono essere insonorizzate. All'esterno dei capannoni devono essere garantiti livelli di rumore inferiori a quelli ammessi dalla zonizzazione comunale, normalmente inferiori a 60 dB.

Per quanto concerne le migliori tecniche finalizzate alla limitazione delle emissioni ed alla corretta gestione dei rifiuti e dei reflui prodotti negli impianti si rimanda, inoltre, a quanto riportato nel capitolo E, paragrafi E.5.1.4-E.5.1.6.

H.1.4 Migliori tecniche di gestione degli impianti di trattamento chimico-fisico e biologico dei rifiuti liquidi

La gestione degli impianti a tecnologia complessa deve (si veda anche capitolo E):

- individuare i potenziali pericoli connessi con l'ambiente interno ed esterno all'impianto;
- identificare i rischi effettivi interni ed esterni all'impianto;
- prevedere la redazione di un manuale operativo, funzionale ai rischi rilevati, che comprenda anche le attività di manutenzione e di emergenza in caso di incidenti al fine di prevenire le situazioni incidentali ovvero, nel caso in cui esse si verificano, di circoscriverne gli effetti e mitigarne le conseguenze.

Devono, inoltre, essere approntati i seguenti piani:

- Piano di gestione operativa
- Programma di sorveglianza e controllo
- Piano di ripristino ambientale per la fruibilità del sito a chiusura dell'impianto secondo la destinazione urbanistica dell'area.

H.1.5 Piano di gestione operativa

In fase di esercizio gli impianti di trattamento chimico-fisico e biologico dei rifiuti liquidi devono disporre di un piano di gestione operativa che individui le modalità e le procedure necessarie a garantire un elevato grado di protezione sia dell'ambiente che degli operatori presenti sull'impianto (si veda anche capitolo E). Il criterio guida deve essere quello di minimizzare il contatto diretto degli operatori con i rifiuti, la loro permanenza in ambienti in cui sono presenti polveri e/o sostanze potenzialmente dannose per la salute, le operazioni di intervento manuale sulle macchine ed apparati tecnologici.

In particolare il piano di gestione deve contenere indicazioni su:

- a) procedure di accettazione dei rifiuti da trattare (modalità di campionamento ed analisi e verifica del processo di trattamento);
- b) tempi e modalità di stoccaggio dei rifiuti, tal quali ed a fine trattamento, e dei reagenti;
- c) criteri e modalità di miscelazione ed omogeneizzazione dei rifiuti da trattare, ove previste;
- d) procedure di certificazione dei rifiuti trattati ai fini dello smaltimento e/o recupero;
- e) procedure di monitoraggio e di controllo dell'efficienza del processo di trattamento, dei sistemi di protezione ambientale e dei dispositivi di sicurezza installati;
- f) procedura di ripristino ambientale dopo la chiusura dell'impianto, in relazione alla destinazione urbanistica dell'area;

H.1.6 Programma di sorveglianza e controllo (PSC)

Nell'ambito delle BAT va individuata la predisposizione e l'adozione di un programma di sorveglianza e controllo, previsto, peraltro, in alcune leggi regionali a carico di tutti gli impianti di gestione dei rifiuti finalizzato a garantire che (si veda anche capitolo E):

1. tutte le sezioni impiantistiche assolvano alle funzioni per le quali sono progettate in tutte le condizioni operative previste;
2. vengano adottati tutti gli accorgimenti per ridurre i rischi per l'ambiente ed i disagi per la popolazione;
3. venga assicurato un tempestivo intervento in caso di incidenti ed adottate procedure/sistemi che permettano di individuare tempestivamente malfunzionamenti e/o anomalie nel processo produttivo;
4. venga garantito l'addestramento costante del personale impiegato nella gestione;
5. venga garantito alle autorità competenti ed al pubblico l'accesso ai principali dati di funzionamento, ai dati relativi alle emissioni, ai rifiuti prodotti, nonché alle altre informazioni sulla manutenzione e controllo, inclusi gli aspetti legati alla sicurezza;
6. vengano adottate tutte le misure per prevenire rilasci e/o fughe di sostanze inquinanti.

Il controllo e la sorveglianza dovrebbero essere condotti avvalendosi di personale qualificato ed indipendente ed i prelievi e le analisi previste per garantire il rispetto dei limiti alle emissioni, indicate nei documenti autorizzativi, dovrebbero essere effettuati da laboratori competenti, preferibilmente indipendenti, operanti in regime di qualità secondo le norme della famiglia ISO 9000 per le specifiche determinazioni indicate nel provvedimento autorizzativo.

I contenuti del PSC devono essere correlati, per quanto di competenza, con quelli del Piano di gestione.

Il PSC deve, inoltre, contenere i piani e le modalità esecutive dei controlli relativi a:

- controlli e verifiche in punti prestabiliti all'interno del ciclo di trattamento per verificarne il corretto funzionamento in ogni fase

- controlli all'esterno dell'impianto sia dell'aria che del suolo utilizzando eventualmente anche indicatori biologici con modalità e caratteristiche proporzionali ai risultati attesi;
- verifica delle concentrazioni degli scarichi idrici a monte e a valle dell'impianto per il trattamento delle acque di scarico.

H.2 Strumenti di gestione ambientale

H 2.1 Personale

La responsabilità della gestione dell'impianto di trattamento deve essere affidata ad una persona competente e tutto il personale deve essere adeguatamente addestrato.

H 2.2 Benchmarking

Risulta opportuno analizzare e confrontare, con cadenza periodica, i processi, i metodi adottati e i risultati raggiunti, sia economici che ambientali, con quelli di altri impianti e organizzazioni che effettuano le stesse attività.

H 2.3 Certificazione

Vanno promosse le azioni relative all'adozione di sistemi di gestione ambientale (EMS) nonché di certificazione ambientale (ISO 14000) e soprattutto l'adesione al sistema EMAS.

H 2.4 Sistemi di supervisione e controllo

Per gli impianti che trattano elevate quantità di rifiuti, tutti i sistemi, gli apparati e le apparecchiature costituenti l'impianto devono essere sottoposti ad un efficiente ed affidabile sistema di supervisione e controllo che ne consenta la gestione in automatico.

H 2.5 Comunicazione e consapevolezza pubblica

E' necessaria la predisposizione di un programma di comunicazione periodica che preveda (si veda anche E.5.1.2):

- la diffusione periodica di rapporti ambientali;
- la comunicazione periodica a mezzo stampa locale;
- la distribuzione di materiale informativo;
- l'apertura degli impianti per le visite del pubblico;
- la diffusione periodica dei dati sulla gestione dell'impianto.

H.3 Aspetti di pianificazione e gestione

H 3.1 Ubicazione dell'impianto

La scelta del sito deve essere effettuata sulla base di valutazioni comparative tra diverse localizzazioni che tengano in considerazione tutti gli aspetti logistici, di collegamento con le diverse

utenze, con gli impianti di destinazione dei materiali da recuperare o con gli impianti di smaltimento nonché gli impatti ambientali.

Aree industriali dismesse o quelle destinate, dalla pianificazione urbanistica, agli insediamenti industriali costituiscono la collocazione più idonea per gli impianti.

Ai fini dell'individuazione delle aree idonee devono essere acquisite tutte le informazioni bibliografiche e cartografiche relative alle caratteristiche geolitologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, vincolistiche, ecc. del territorio in esame, da integrare eventualmente con indagini di campo.

Altri aspetti, di natura territoriale e socioeconomica, che intervengono successivamente nella scelta delle aree selezionate, sono:

- presenza di rilevanti beni storici, artistici, archeologici;
- la distribuzione della popolazione;
- la distribuzione delle industrie sul territorio.

H 3.2 Trasporti e collegamento al sistema viario

Deve essere garantito un collegamento viario idoneo al transito dei mezzi per il conferimento dei rifiuti e per l'allontanamento dei residui.

Il conferimento dei rifiuti mediante ferrovia, se fattibile dal punto di vista tecnico-economico, è da privilegiare.

Al fine di ridurre i costi di trasporto e l'impatto sull'ambiente è necessario prevedere l'impiego di autocarri con la massima portata utile; di conseguenza è necessario verificare la disponibilità di strade adeguate.

D) ANALISI DELL'APPLICABILITA' AD IMPIANTI ESISTENTI DELLE TECNICHE DI PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO ELENCALE AL PUNTO PRECEDENTE, ANCHE CON RIFERIMENTO AI TEMPI DI ATTUAZIONE

I.1 Applicazione delle BAT

L'applicabilità di una qualsiasi BAT, soprattutto nel caso degli impianti esistenti, non può risultare di carattere generale essendo essa legata a diversi fattori presenti a livello locale, che possono influenzare notevolmente le prestazioni raggiungibili.

Tra questi si citano:

- le dimensioni dell'impianto;
- l'età dell'impianto;
- il tempo di vita residuo dell'impianto;
- l'ubicazione e il contesto locale;
- le caratteristiche dei rifiuti trattati (principalmente il contenuto di inquinanti);
- la presenza di vincoli di carattere tecnico.

Occorre ricordare che le prestazioni conseguibili con le BAT, siano esse di tipo ambientale che energetico, sono riferite a medie annuali. I campi di prestazioni riportati ai paragrafi E.4 ed E.5 non sono, pertanto, riferiti a eventi eccezionali od occasionali dell'impianto, ma riflettono l'incidenza che i suddetti fattori possono avere nell'applicazione di una specifica BAT in diversi contesti.

I.1.1 Le dimensioni dell'impianto

Si può senza dubbio affermare che l'economia di scala non consente agli impianti di taglia ridotta di ottenere, a parità di costo unitario, le stesse prestazioni ambientali, a causa dell'influenza negativa del fattore di scala. Questo può rendere alcune tecniche difficilmente applicabili.

I.1.2 L'età dell'impianto

In linea generale l'applicazione delle BAT dovrebbe essere idonea sia per gli impianti nuovi che per quelli esistenti.

E' altrettanto evidente che tale affermazione deve poi essere calata all'interno della realtà del singolo impianto.

I.1.3 Le caratteristiche dei rifiuti trattati.

La conoscenza approfondita delle matrici in ingresso agli impianti di trattamento chimico-fisico è di estrema importanza, per accertare la compatibilità con il processo e con l'impianto.

La tipologia del rifiuto in ingresso influenza notevolmente il tipo di tecnologia più adatta per la realizzazione del trattamento chimico-fisico e/o biologico, come evidenziato nei paragrafi precedenti: bisognerà perciò avere una conoscenza esatta della composizione del rifiuto.

I.1.4 Presenza di vincoli di carattere tecnico

Tra le difficoltà che possono insorgere nell'applicazione di specifiche BAT occorre sicuramente annoverare:

- la compatibilità tecnica dell'intervento in esame con i criteri progettuali e/o realizzativi delle installazioni esistenti;
- la mancata disponibilità di aree idonee per l'installazione di apparecchiature, sistemi e/o componenti aggiuntivi.

I.1.5 Interventi per l'applicazione delle BAT

Per l'adeguamento del sistema impiantistico nazionale ai dettami della direttiva IPPC possono essere individuati due tipi di interventi:

- interventi di carattere operativo gestionale, caratterizzati da tempi di realizzazione e costi relativamente ridotti, nonché vantaggi prestazionali accettabili per impianti che sono praticamente già in linea o quasi con la futura normativa;
- interventi ristrutturativi, che prevedono il rifacimento, più o meno esteso, di qualche sezione dell'impianto individuata come critica e che comportano tempi di realizzazione (indicativamente dell'ordine dei 24 mesi), con maggiori impegni economici.

Nella valutazione della scelta delle migliori tecniche si deve, anche, tener presente che potrebbe risultare difficoltoso adottarne alcune (es. sostituire un processo tecnologico con un altro) in impianti esistenti.

Le tecniche legate ad aspetti gestionali, di cui al capitolo H, devono, invece, essere sempre introdotte al fine di garantire elevati livelli di tutela dell'ambiente e della salute umana.

J) FATTIBILITÀ ECONOMICA DELLE TECNICHE ELENcate ANALIZZATA ATTRAVERSO ANALISI COSTI-BENEFICI

La valutazione economica delle tecniche non è stata approfondita in ambito europeo; sui documenti di riferimento relativi a questo settore sono riportate, allo stato attuale, solo informazioni di carattere generale, che non consentono di effettuare valutazioni esaustive in merito alla fattibilità economica.

In generale l'applicazione delle BAT determina, su tutte le tipologie d'impianto esaminate, i seguenti benefici:

- incremento della produttività degli impianti (maggiore automazione, maggiore affidabilità e minore necessità di manutenzione); minori costi di esercizio;
- maggiore sostenibilità ambientale. L'adozione delle BAT sia per gli apparati produttivi che per gli impianti di abbattimento delle emissioni produce una maggiore efficienza di recupero di determinati materiali, una migliore utilizzazione delle risorse (energia, acqua, materiali di consumo) e una maggiore difesa dell'ambiente;
- maggiore controllabilità di tutto il sistema. La concentrazione delle lavorazioni in unità produttive più grandi e organizzate rende anche più controllabile tutto il sistema industriale del recupero, che tenderà per sé stesso a un maggiore autocontrollo.

A fronte di questi benefici si possono considerare i costi di adeguamento dell'impianto, che in certi casi possono essere relativamente elevati, specialmente per piccoli insediamenti a scala ridotta.

K) DEFINIZIONE DEI CRITERI DI INDIVIDUAZIONE E UTILIZZAZIONE DELLE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI

K.1 La definizione di BAT

K.1.1 La direttiva 96/61/CE

La direttiva 96/61/CE ("Direttiva IPPC") definisce le "**migliori tecniche disponibili**" come: "*la più efficiente e avanzata fase di sviluppo di attività e relativi metodi di esercizio indicanti l'idoneità pratica di determinate tecniche a costituire, in linea di massima, la base dei valori limite di emissione intesi ad evitare oppure, ove ciò si riveli impossibile, a ridurre in modo generale le emissioni e l'impatto sull'ambiente nel suo complesso*".

A tale scopo occorre tenere presente le seguenti definizioni:

- "**tecniche**", si intende sia le tecniche impiegate sia le modalità di progettazione, costruzione, manutenzione, esercizio e chiusura dell'impianto;
- "**migliori**", qualifica le tecniche più efficaci per ottenere un elevato livello di protezione dell'ambiente nel suo complesso;
- "**disponibili**", qualifica le tecniche sviluppate su una scala che ne consenta l'applicazione in condizioni economicamente e tecnicamente valide nell'ambito del pertinente comparto industriale, prendendo in considerazione i costi e i vantaggi, indipendentemente dal fatto che siano o meno applicate o prodotte nello Stato membro di cui si tratta, purché il gestore possa avervi accesso a condizioni ragionevoli.

K.1.2 Impatto ambientale e rischi

Le tecniche individuate devono minimizzare l'impatto dell'impianto sull'ambiente relativo a tutte le matrici interessate (acqua, aria, suolo) e sulla salute umana, nel rispetto degli specifici requisiti stabiliti dalla normativa vigente. La sicurezza dei lavoratori deve essere tutelata, in accordo alla vigente normativa.

K.1.3 Fattibilità tecnico-economica

Le tecniche prescelte devono essere affidabili e deve essere garantita la qualità dei sistemi e delle apparecchiature utilizzate. I costi di investimento, esercizio e manutenzione devono essere sostenibili. Le analisi costi-benefici devono aver dato prova positiva.

K.1.4 Processo decisionale per l'individuazione delle BAT

Per l'individuazione di una BAT occorre mettere in atto un processo decisionale che sulla base dei dati disponibili sulla tecnica in esame e delle specifiche applicazioni, tenuto conto dei fattori locali e degli aspetti summenzionati possa portare ad una valutazione della sua applicabilità.

K.2 Criteri di individuazione delle BAT

Considerazioni da tenere presenti nella determinazione delle migliori tecniche disponibili, tenuto conto dei costi e dei benefici che possono risultare da un'azione e del principio di precauzione e prevenzione.

K.2.1. Impiego di tecniche a scarsa produzione di rifiuti

Le tecniche adottate nei processi di trattamento devono limitare la produzione di rifiuti non recuperabili.

Inoltre devono essere affrontate le problematiche legate allo stoccaggio, carico, trasporto e scarico dei rifiuti prodotti.

K.2.2 Impiego di sostanze meno pericolose

Nella progettazione dell'impianto e nella sua conduzione deve essere previsto l'impiego di sostanze e materiali selezionati secondo i criteri della minore pericolosità e del minore consumo.

K.3 Processi, sistemi o metodi operativi sperimentati su scala industriale

Le tecniche individuate devono garantire prestazioni e livelli di esercizio verificati sulla base di applicazioni di successo su scala industriale.

L'impianto deve garantire elevata disponibilità e affidabilità di esercizio.

E' importante la molteplicità di fornitori e la disponibilità sul mercato di ricambi, materiali e reagenti necessari per l'esercizio e per le manutenzioni.

Le tecniche adottate devono essere compatibili con le condizioni locali (ambientali, climatiche, geografiche, socio-economiche).

K.4 Progressi in campo tecnico e evoluzione delle conoscenze in campo scientifico

Le tecniche devono essere scelte alla luce delle evoluzioni in campo scientifico e dei relativi progressi tecnici conseguiti nel settore del trattamento dei rifiuti.

Qualsiasi tecnica deve dimostrare anche la capacità di evolvere ed essere in grado di adattarsi a nuove soluzioni e condizioni.

K.5 Natura, effetti e volume delle emissioni

La valutazione degli effetti delle emissioni deve tenere conto della situazione al contorno (piani di qualità dell'aria e dell'acqua, piani territoriali e urbanistici, ecc.).

Devono essere utilizzate le tecniche più avanzate per la misurazione delle emissioni e dei parametri di processo, nel rispetto dei requisiti minimi prescritti dalla normativa.

K.6 Messa in funzione degli impianti nuovi o esistenti

Sono da considerare la vita media di un impianto e la sua capacità produttiva nel tempo.

K.7 Tempo richiesto per l'adozione di una migliore tecnica disponibile

Nel settore del trattamento dei rifiuti, la variabilità e complessità dei materiali da trattare richiedono l'attenta sperimentazione e la verifica sul campo di qualsiasi nuova tecnica proposta.

Gli investimenti necessari possono essere notevoli, anche alla luce delle taglie significative degli impianti; molto spesso il passaggio dalla sperimentazione alla realizzazione industriale è un processo lento e costoso che può richiedere anni.

K.8 Consumo di risorse

Le tecniche selezionate devono essere finalizzate alla minimizzazione dei consumi di acqua, materie prime, energia; devono inoltre prediligere l'impiego di sostanze e materiali la cui produzione è, a sua volta, causa di un ridotto impatto ambientale e minimi consumi energetici.

In questa valutazione può risultare utile l'impiego di sistemi di analisi del ciclo di vita (LCA).

Le tecniche prescelte devono utilizzare apparecchiature a basso consumo di energia.

K.9 Prevenzione e riduzione dell'impatto globale sull'ambiente

E' necessario minimizzare l'impatto delle emissioni in aria, in acqua e al suolo, tenendo conto della specifica realtà territoriale in cui è insediato l'impianto. L'impatto globale deve essere valutato nell'ambito di piani locali della qualità dell'aria e delle acque.

Deve essere accuratamente valutata l'affidabilità dell'impianto, in quanto un processo di trattamento non affidabile può mettere in crisi il servizio (pubblico o meno) di gestione dei rifiuti.

Sono richieste tecniche di misurazione di elevata qualità per il monitoraggio in continuo dei parametri operativi dell'impianto e delle emissioni.

K.10 Prevenzione degli incidenti e minimizzazione degli effetti

Le tecniche adottate devono considerare la possibilità di incidenti, guasti e malfunzionamenti degli impianti e prevenirne o limitarne le conseguenze. In caso di guasto improvviso o di mancanza di alimentazione, le apparecchiature devono portarsi autonomamente in condizioni di massima sicurezza.

Le tecniche prescelte devono prevedere tutte le misure per fronteggiare qualsiasi condizione anomala di esercizio. Deve essere previsto un idoneo sistema antincendio.

La responsabilità della gestione dell'impianto va affidata a persone competenti e il personale deve essere adeguatamente addestrato.

GLOSSARIO

Definizioni

Abitante equivalente: il carico organico biodegradabile avente una richiesta biochimica di ossigeno a 5 giorni (BOD_5) pari a 60 grammi di ossigeno al giorno

Acque reflue domestiche: acque reflue provenienti da insediamenti di tipo residenziale e da servizi e derivanti prevalentemente dal metabolismo umano e da attività domestiche

Acque reflue industriali: qualsiasi tipo di acque reflue scaricate da edifici o installazioni in cui si svolgono attività commerciali o di produzione di beni, diverse dalle acque reflue domestiche e dalle acque meteoriche di dilavamento;

Aerobico: definisce un ambiente ricco di ossigeno disciolto (DO : 2 mg/l);

Anaerobico: definisce un ambiente totalmente privo di O_2 ;

Anossico: definisce un ambiente privo di O_2 disciolto, ma ricco di ossigeno combinato (NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , ecc.);

Bio-refrattario: materiale scarsamente suscettibile alla degradazione biologica

BOD_5 : domanda di ossigeno biochimico a 5 giorni (mg/l di O_2) assunto come misura indiretta del carico organico inquinante (biodegradabile);

Bulking: indica una condizione di non sedimentabilità dei fiocchi di fango spesso dovuta ad una eccessiva presenza di batteri filamentosi;

COD: domanda di ossigeno chimico (mg/l di O_2) assunta come misura indiretta del carico organico inquinante totale (biodegradabile e non);

Fanghi: i fanghi residui, trattati o non trattati, provenienti dagli impianti di trattamento dei rifiuti o delle acque reflue urbane;

Inquinamento: lo scarico effettuato direttamente o indirettamente dall'uomo nell'ambiente idrico di sostanze o di energia le cui conseguenze siano tali da mettere in pericolo la salute umana, nuocere alle risorse viventi e al sistema ecologico idrico, compromettere le attrattive o ostacolare altri usi legittimi delle acque;

Rete fognaria: il sistema di condotte per la raccolta e il convogliamento delle acque reflue urbane

TKN: concentrazione dell'azoto totale ridotto (ammoniaca e composti organici azotati) rilevabile con il metodo Kjeldhal [mg/l]

Abbreviazioni ed acronimi

AIA: autorizzazione Integrata Ambientale
AOX: Aromatic Organic Halides Composti organici alogenati
AUR: Ammonia Utilization Rate
API: American Petroleum Institute
BAT : Best available Techniques
BOD: Biochemical Oxygen Demand (Domanda Biologica di Ossigeno)
BRef: BAT Reference document
BTEX: Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene
BTX: Benzene, Toluene, Xylene
COD: Chemical Oxygen Demand (Domanda Chimica di Ossigeno)
COV: Composti Organici Volatili (VOC: Volatile Organic Compounds)
CPI: Corrugated Plate Interceptor
CSTR: Continuously Stirred tank Reactor Reattore a mescolamento continuo
DAF: Dissolved Air Flotation
DBO: Domanda Biochimica di Ossigeno
EMAS: Eco-Management and Audit Scheme
EOX: Extractable Organic Halides Composti organici alogenati estraibili
GAC: Granular Activated Carbon, carbone attivo granulare
GTR: Gruppo Tecnico Ristretto
IAF: Induced Air Flotation
IPA: Idrocarburi Policiclici Aromatici (PAH: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)
IPPC: Integrated Pollution Prevention and Control
MBR: Membrane Bio Reactor
MBAS: Methylene Blue Active Substances (tensioattivi anionici attivi al saggio con il blu di metilene)
NUR: Nitrate Utilization Rate
OUR: Oxygen Uptake Rate
PAC: carbone attivo in polvere
PPB: Parti Per Miliardo (Parts Per Billion)
PPI: Parallel Plate Interceptor
PPM: Parti Per Milione (Parts Per Million)
PVDF: polivinilidene fluoruro
SBR: sequencing batch reactor
TEQ: Tossicità Equivalente. Unità utilizzata per le policlorodibenzo-p-diossine (PCDD) ed i policlorodibenzo-p-furani (PCDF)
TOC: Total Organic Carbon (Carbonio Organico Totale)
SS: Suspended Solids / Solidi Sospesi
UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor
VSS: Volatile Suspended Solids
WAO: Wet Air Oxidation

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Adams C.E. and Eckenfelder W. W. 1974 "Process Design Techniques for Industrial Waste Treatment" Enviro Press, Nashville, Tennessee, 275 pp.
- ANPA/Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (a cura di) "Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane" - ANPA/Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, 1/2001
- Avezzù F., Collivignarelli C., Riganti V. (2003): "La gestione delle acque di scarico industriali", ed. Il Sole 24 Ore, ISBN 88-324-4892-0, pp. 310.
- Chudoba J. 1985. "Inhibitory Effect of Refractory Organic Compound Produced by Activated Sludge Microorganisms on Microbial Activity and Flocculation"
- CITEC (a cura di) (2002), "Linee guida per la progettazione, realizzazione e gestione degli impianti a tecnologia complessa per lo smaltimento dei rifiuti urbani", Ed. Hyper
- Collivignarelli C., Avezzù F., Baldi M., Bissolotti G. (1993): "Recent Developments in Landfill Leachate Treatment Technology" - Sardinia '93, IV International Landfill Symposium, S. Margherita di Pula (CA), Italy, 11-15 October.
- Collivignarelli C., Bertanza G. "Trattamenti chimico-fisico-biologici dei rifiuti industriali". Atti Giornate di studio europee, Brescia 17-18 giugno 1993. C.I.P.A. Editore
- Collivignarelli C., Riganti V., Pergetti M. (2000): "La gestione degli impianti di depurazione delle acque di scarico", ed. Il Sole 24 Ore, ISBN 88-324-4047-4, pp.228.
- De Fraja Frangipane E., Pastorelli G. 1993 "Impianti di depurazione di piccole dimensioni" C.I.P.A. Editore, Collana Ambiente, Volume 2, Milano, 415 p.
- Eckenfelder W. W. 1989 "Industrial Water Pollution Control" (2nd ed.) McGraw-Hill Inc., New York, 400 p.
- Eckenfelder W. W. and Musterman J.L. 1995. "Activated Sludge Treatment of Industrial Wastewater"
- European IPPC Bureau (a cura di) "Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector" February 2003
- European IPPC Bureau (a cura di) "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries", August 2005
- European IPPC Bureau (a cura di) "Second Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries", January 2004
- Freeman H.M. 1998 "Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal" (2nd ed.) McGraw-Hill Inc., New York, 1127 p.
- Gruppo di Lavoro "Gestione Impianti di Depurazione", Facoltà di Ingegneria dell'Università di Brescia, F. Avezzù et al. (in corso di pubblicazione): "Le piattaforme polifunzionali di trattamento dei rifiuti industriali"
- ISTAT, "La depurazione delle acque reflue urbane in Italia - anno 1999"
- Jenkins D. , Richard M.G. , Daigger G.T. 1986. "Manual on the causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming"
- Lankford P. and Eckenfelder W. 1990. "Toxicity Redutrition in Industrial Effluent"
- Masotti L. 1987 "Depurazione delle acque" Edizioni Calderini
- Metcalf and Eddy 2003 "Wastewater Engineering. Treatment and Reuse" (4th ed.) Revised by Tchbanoglous G., Burton F.L., Stensel H.D., McGraw-Hill Inc., New York, 1819p.
- Pitter P. and J. Chudoba 1990. "Biodegradability of Organic Substances in the Aquatic Environment"
- Ramadori-Tomei, Relazione tecnica, 2002, IRSA-CNR
- US EPA 1995 "Manual: Ground-Water and Leachate Treatment Systems" Center for Environmental Resarch Information, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 119 pp.
- Vismara R. 1998. "Depurazione Biologica" Biblioteca Scientifica Hoepli
- Watkin A. and W.W. Eckenfelder 1983. "Toxicity of Selected RCRA Compounds to Activated Sludge Microorganism"