

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 (Ph-c)
dei rifiuti solidi]*

INDICE

PREMESSA

A) SCOPI E OBIETTIVI

B) IDENTIFICAZIONE DELLA NORMATIVA AMBIENTALE RILEVANTE DI 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, DEGLI EVENTUALI SOTTOPROCESSI E DEGLI IMPIANTI PER I QUALI SONO ANALIZZATE LE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI

D.1 Inertizzazione

D.1.1 Introduzione

D.1.2 Processi a base di cemento

D.1.3 Processi a base di calce

D.1.4 Processi a base di argilla

D.1.5 Processi a base di sostanze termoplastiche

D.1.6 Processi a base di polimeri organici

D.1.7 Processi a base di composti macroincapsulanti

D.1.8 Vetrificazione

D.1.9 Altri processi

D.1.10 Meccanismi chimico-fisici di processo

D.1.10.1 Processi a base di reagenti inorganici - meccanismi chimico-fisici di processo

D.1.10.2 Processi a base di reagenti organici - meccanismi chimico-fisici di processo

D.1.11 Vantaggi e svantaggi dei trattamenti di inertizzazione

D.2 I Trattamenti termici

D.2.1 Desorbimento termico e termodistruzione

D.2.1.1 Modalità di riscaldamento del terreno

D.2.1.2 Vantaggi e svantaggi del desorbimento termico

D.2.2 Processi di vetrificazione/vetroceramizzazione

D.2.2.1 Processo di vetrificazione

D.2.2.2 Processo di vetroceramizzazione

D.3 Estrazione dei contaminanti dal terreno

D.3.1 Descrizione delle tecnologie di estrazione

D.3.2 Post-trattamenti nel processo di estrazione

D.3.3 Vantaggi e svantaggi delle tecniche di estrazione

D.4 Strippaggio

D.4.1 Vantaggi e svantaggi dello strippaggio

D.5 Elettrocinesi

D.6 Separazione meccanica

D.7 Trattamenti di disidratazione dei fanghi

D.8 Gestione dei rifiuti contenenti amianto

E) DESCRIZIONE DELLE ANALISI ELABORATE IN AMBITO COMUNITARIO PER LA INDIVIDUAZIONE DELLE BAT, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO, OVE DISPONIBILI, ALLE CONCLUSIONI DEI BREF

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

E.2 Aspetti tecnici e tecnologici dello specifico settore) - conclusioni del BREF

E.2.1 Processi di Trattamento chimico-fisico dei rifiuti solidi) conclusioni del BREF

E.2.1.1 Estrazione e separazione

E.2.1.2 Trattamenti termici

E.2.1.3 Separazione meccanica

E.2.1.4 Inertizzazione

E.2.1.5 Disidratazione dei fanghi

E.2.1.6 Desorbimento termico

E.2.2 Migliori tecniche e tecnologie di trattamento chimico-fisico dei rifiuti solidi

E.2.2.1 Operazioni preliminari

E.2.2.3 Attività di laboratorio

E.2.2.4 Inertizzazione

E.2.2.5 Solidificazione con cemento

E.2.2.6 Stabilizzazione con fosfato

E.2.2.7 Trattamento termico dei rifiuti solidi

E.2.2.8 Tecniche da considerare per il trattamento delle scorie

E.2.3 Aspetti tecnici e tecnologici dei presidi ambientali

E.3 Aspetti ambientali

E.3.1 Impatto sull'ambiente

E.3.2 Emissioni negli impianti di trattamento chimico-fisico dei rifiuti solidi

E.3.3 Produzione dei rifiuti negli impianti di trattamento chimico-fisico

E.3.4 Aspetti ambientali: analisi dei rischi

E.3.4.1 I fattori di rischio

E.3.4.2 Misure di prevenzione e protezione

E.3.4.3 L'inquinamento acustico

F) APPROFONDIMENTO, OVE NECESSARIO, DELLE TECNICHE ANALIZZATE NEL BREF COMUNITARIO E DEFINIZIONE, OVE POSSIBILE, DEL RANGE DI PRESTAZIONE DELLE DIVERSE TECNICHE.

F.1 Trattamenti di cementificazione a base neutra

F.1.1 Processo Chemifix

F.1.2 Processo Litosintesi

F.1.3 Processo Sealosafe-Stablex

F.1.4 Processo Petracem

F.2 Trattamenti di cementificazione a base acida

F.2.1 Processo SOLIROC

F.3 Trattamenti a base di calce

F.3.1) Processo Petrifix

F.3.2) Processo Ciribelle

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

G.1 Autocementazione

G.2 Processo con produzione di minerali o materiali ceramici sintetici

G.3 Processo a base di ceneri vetrificate

G.4 Processo di inglobamento in una matrice di rivestimento

G.5 Sistema al plasma

H) DEFINIZIONE DELLA LISTA DELLE MIGLIORI TECNICHE PER LA PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO DELLO SPECIFICO SETTORE IN ITALIA

H.1 Migliori tecniche e tecnologie comuni a tutte le tipologie di impianto

H.1.1 Configurazione base di un impianto

H.1.2 Ricevimento e Stoccaggio

H.1.3 Movimentazione

H.1.4 Pretrattamenti

H.1.5 Migliori tecniche e tecnologie di trattamento chimico-fisico dei rifiuti solidi

H.1.6 Post-trattamenti

H.1.7 Manutenzione

H.1.8 Accorgimenti per limitare la diffusione di rifiuti negli ambienti di lavoro

H.1.9 Limitazione delle emissioni

H.2 Migliori tecniche di gestione degli impianti di trattamento chimico-fisico

H.2.1 Piano di gestione operativa

H.2.2 Programma di sorveglianza e controllo (PSC)

H.3 Strumenti di gestione ambientale

H.3.1 Personale

H.3.2 Benchmarking

H.3.3 Certificazione

H.3.4 Sistemi di supervisione e controllo

H.3.5 Comunicazione e consapevolezza pubblica

H.4 Aspetti di pianificazione e gestione

H.4.1 Ubicazione dell'impianto

H.4.2 Trasporti e collegamento al sistema viario

H.5 Indicazioni specifiche per la gestione dei rifiuti contenenti amianto

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.2 Interventi per l'applicazione delle BAT

-
- J) FATTIBILITÀ ECONOMICA DELLE TECNICHE ELENcate 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
 - L) Glossario
 - L.1 Abbreviazioni e acronimi

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

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

- Ing. Nadia Cipriani (APAT)
- Dott. Andrea Massimiliano Lanz (APAT)
- Dott.ssa Francesca Lucignano (APAT)
- Ing. Roberto Spampinato (APAT).

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

A-Scopi e 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 dei rifiuti solidi". Tali impianti sono individuati dalla Direttiva IPPC nell'ambito delle operazioni di trattamento chimico-fisico (D9) di rifiuti pericolosi e non pericolosi e sono trattati nel documento Europeo "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries", a cui si è fatto riferimento nella predisposizione delle presenti Linee Guida.

Scopo principale del documento è quello di costituire un riferimento sulle conoscenze tecniche e tecnologiche del settore specifico, 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:

1. un quadro quanto più esaustivo dello stato attuale e delle prospettive riguardo ai processi ed alle tecnologie del trattamento chimico-fisico dei rifiuti solidi e dei fanghi;
2. una sintesi dei lavori svolti a livello europeo, le cui conclusioni sono riportate nel summenzionato BRef;
3. le informazioni riguardo agli attuali livelli di emissioni ed ai consumi di risorse (materie prime ed energia) del settore;
4. alcune linee guida su possibili 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 e, soprattutto, dalle condizioni locali nel quale lo specifico impianto è o dovrà essere installato.

A tal riguardo di particolare rilevanza risulta essere l'aspetto relativo all'analisi costi-benefici delle BAT individuate, che assume un significato molto ampio e che deve includere i costi ed i benefici sia per gli operatori che per la collettività.

La fattibilità economica sia in sede di definizione che di valutazione, deve essere effettuata caso per caso, in quanto essa non può prescindere da fattori locali (ambientali, gestionali, territoriali, economici e sociali) riguardanti sia l'azienda (es.: dimensioni ed età dell'impianto) che la presenza o meno sul territorio interessato di servizi, infrastrutture o problematiche particolari che possono influenzare in maniera notevole la quantificazione di oneri e benefici (di tutti) e quindi, in ultima analisi, le scelte di carattere tecnico-gestionale dell'azienda.

Il presente lavoro si occupa specificatamente dei trattamenti finalizzati allo smaltimento dei rifiuti solidi comprendendo tra questi anche i fanghi ed i terreni contaminati che vengono trattati in impianti fissi (cosiddetti ex situ).

I trattamenti chimico – fisici presi in considerazione sono stati classificati nel seguente modo:

1. inertizzazione che comprende: la stabilizzazione/solidificazione ed i trattamenti termici ad alta temperatura;
2. altri trattamenti che comprendono: l'estrazione e separazione, il desorbimento termico, la disidratazione, la separazione meccanica.

Va, infine, segnalato che i trattamenti di tipo chimico-fisico riportati nelle presenti Linee guida rappresentano, generalmente, operazioni di pretrattamento per un successivo recupero o smaltimento del rifiuto; le prestazioni che tali operazioni di pretrattamento devono garantire vanno, pertanto, individuate in fase progettuale in funzione della specifica destinazione del rifiuto stesso.

B - Identificazione della normativa ambientale rilevante di 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.*

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

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 acqu.*

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.*

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 27 marzo 1992, n. 257 *“Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto”*.

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. 6 settembre 1994 *“Normative e metodologie tecniche di applicazione dell'art. 6, comma 3, e dell'art. 12, comma 2, della legge 27 marzo 1992, n. 257, relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto”*.

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. 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. 4 agosto 1998, n. 372 *“Regolamento recante norme sulla riorganizzazione del catasto dei rifiuti”*

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”*.

D.M. 25 febbraio 2000, n. 124 *“Regolamento recante i valori limite di emissione e le norme tecniche riguardanti le caratteristiche e le condizioni di esercizio degli impianti di incenerimento e*

co-incenerimento dei rifiuti pericolosi, in attuazione della Direttiva 94/67/CEE del Consiglio del 16 Dicembre 1994, e ai sensi dell'articolo 3, comma 2, del DPR 24 maggio 1988, n. 203 e dell'articolo 18, comma 2, lettera a), del D.Lgs. 5 febbraio 1997, n.22".

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".

D.M. 29 luglio 2004, n. 248 "Regolamento relativo alla determinazione e disciplina delle attività di recupero dei prodotti e beni di amianto e contenenti amianto".

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 riavvicinamento 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 riavvicinamento 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 policlorotriifenili”.

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 specificità del tessuto industriale nazionale.

Al fine di tracciare un quadro di riferimento sulla situazione impiantistica in Italia, relativamente al trattamento chimico-fisico dei rifiuti, 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, degli eventuali sottoprocessi e degli impianti per i quali sono analizzate le migliori tecniche disponibili

Di seguito vengono descritti i principali processi di trattamento chimico – fisico di rifiuti solidi inclusi i terreni contaminati, approfondendo in particolare i processi di inertizzazione che trovano più ampia applicazione a livello nazionale.

Riguardo agli altri processi se ne fornisce una sintetica descrizione, anche in considerazione del fatto che tali trattamenti vengono, tipicamente, utilizzati nel campo delle bonifiche dei siti contaminati ricadenti nell'ambito di applicazione della normativa dello specifico settore.

Va segnalato che i trattamenti di tipo chimico-fisico rappresentano, generalmente, operazioni di pretrattamento per un successivo recupero o smaltimento del rifiuto; le prestazioni che tali operazioni di pretrattamento devono garantire vanno, pertanto, individuate in fase progettuale in funzione della specifica destinazione del rifiuto stesso.

D1 - Inertizzazione

D 1.1 Introduzione

I processi di inertizzazione (ed in particolare i cosiddetti processi di “stabilizzazione e solidificazione”) sono impiegati nel trattamento di una vasta gamma di rifiuti pericolosi e non pericolosi e consentono di ridurre sensibilmente il rilascio di alcune sostanze inquinanti presenti nel rifiuto stesso, attraverso la formazione di composti insolubili che creano una struttura polimerica o cristallina stabile, in grado di imprigionare gli elementi tossici (stabilizzazione); tali processi, inoltre, migliorano le caratteristiche del rifiuto facilitandone la gestione, in quanto quest'ultimo viene trasformato in un prodotto solido, in genere con buona resistenza meccanica e bassa permeabilità. Il processo di stabilizzazione agisce sullo stato chimico-fisico dei rifiuti per mezzo di appositi additivi modificando la pericolosità delle sostanze contenute nei rifiuti stessi e trasformando, in genere, i rifiuti pericolosi in rifiuti non pericolosi.

Se, in seguito al processo di stabilizzazione, le componenti pericolose non vengono completamente trasformate in sostanze non pericolose e possono risultare ancora disperdibili nell'ambiente nel breve, medio o lungo periodo il rifiuto è, invece, da considerarsi solo parzialmente stabilizzato.

In tutti i processi di inertizzazione, si procede alla miscelazione del rifiuto o del terreno contaminato con leganti o altri reagenti chimici; gli additivi utilizzabili possono essere sia di natura inorganica che organica. I processi di inertizzazione possono costituire l'unica fase di trattamento del rifiuto liquido o solido o del terreno contaminato, ovvero essere adottati come trattamenti integrativi di altri processi (per esempio di lavaggio o incenerimento).

In ogni caso, essi sono classificabili, a seconda dei reagenti utilizzabili, in:

1. processi a base di reagenti inorganici (cemento - a base neutra o acida, calce, argilla);
2. processi a base di reagenti organici (sostanze termoplastiche, polimeri organici, composti macroincapsulanti).

Nel seguito verranno brevemente descritte le tecnologie di inertizzazione attualmente disponibili.

D1.2 Processi a base di cemento

Nei trattamenti di solidificazione-stabilizzazione viene utilizzato principalmente il cemento Portland ordinario, anche se non mancano esempi di impiego di altri tipi, come il cemento pozzolanico.

I meccanismi chimico-fisici che si instaurano allorché un rifiuto viene trattato con leganti cementizi sono molto complessi e in alcuni casi ancora in fase di studio. In base ai risultati di questi studi è possibile ipotizzare una serie di meccanismi che hanno una certa probabilità di verificarsi nel trattamento di un rifiuto.

Tali meccanismi possono essere suddivisi a seconda che l'immobilizzazione dell'inquinante sia di tipo chimico oppure fisico.

Nella fissazione chimica intervengono reazioni di precipitazione di idrossidi insolubili di metalli pesanti, reazioni di complessazione con formazione di silico-alluminati insolubili di metalli pesanti e reazioni di adsorbimento di cationi liberi;

Nella fissazione fisica si ha, invece, un intrappolamento fisico di tutte le sostanze, comprese quelle non reattive, all'interno della matrice cementizia.

D1.3 Processi a base di calce

Questi processi consistono nell'utilizzo, come reagenti stabilizzanti, di calce e materiali silicei a grana fine come le pozzolane.

Attraverso la reazioni tra la calce, l'allumina e la silice, si ha la formazione di miscele di gel, responsabili del microincapsulamento dell'inquinante. Inoltre i materiali pozzolanici hanno una grande affinità nei confronti delle reazioni di scambio ionico: tale capacità potrebbe favorire il legame sia con la calce che con gli ioni metallici contenuti nel rifiuto da inertizzare.

D1.4 Processi a base di argilla

Sono processi di inertizzazione che sfruttano le attitudini di alcuni minerali argillosi allo scambio cationico, ovvero alla fissazione di metalli pesanti per scambio con ioni mobili (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) presenti nel reticolo cristallino dell'argilla. Solo le argille, che possiedono questa caratteristica in maniera accentuata e che hanno una elevata superficie specifica, sono adatte per il trattamento dei rifiuti. Tra esse si possono citare la vermiculite e le montmorilloniti.

I processi a base di argille sono meno sensibili alle variazioni di pH rispetto alla procedura di trattamento con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ma la loro efficacia non è in ogni caso comparabile con l'inertizzazione ottenuta con leganti idraulici.

Questo è dovuto al fatto che, mentre in quest'ultimo caso gli ioni dei metalli tossici sono inglobati all'interno del gel e sono quindi estremamente protetti rispetto all'eluizione, l'adsorbimento sulle microparticelle di argilla è un fenomeno di superficie e gli ioni dei metalli tossici possono essere rilasciati abbastanza facilmente qualora, ad esempio, nel caso di allocazione in discarica il percolato raggiunga elevate concentrazioni di ioni di metalli alcalini (Na^+ e K^+) o alcalino terrosi (Ca^{2+} e Mg^{2+}).

L'utilizzo di questa tecnica di inertizzazione, ai fini del successivo smaltimento dei rifiuti in discarica, è, quindi, strettamente vincolato alle caratteristiche degli altri rifiuti posti a dimora; nessuno di questi rifiuti deve, infatti, essere in grado di rilasciare elevate concentrazioni di ioni solubili, anche se assolutamente non tossici, come quelli sopra riportati.

In alcuni casi, la bentonite, che appartiene alla famiglia delle montmorilloniti, è utilizzata in aggiunta ad un legante, ad esempio cemento Portland, nel trattamento dei rifiuti pericolosi. In questi processi, data la notevole affinità delle bentonite nei confronti dell'acqua, si forma un mezzo gelatinoso la cui proprietà legante nei confronti del rifiuto è accresciuta dall'azione del cemento.

D1.5 Processi a base di sostanze termoplastiche

In questi processi si usano sostanze capaci di indurire o rammollire reversibilmente con la variazione della temperatura. Si tratta di sostanze organiche polimeriche tra le quali sono disponibili: asfalto, bitume, paraffina, polietilene, polipropilene, nylon. I materiali più frequentemente utilizzati sono asfalto e bitume.

Il trattamento avviene mescolando, ad alta temperatura (superiore ai 100 °C,) il rifiuto precedentemente essiccato con gli additivi sopra menzionati. La miscela viene poi lasciata raffreddare e solidificare.

Il processo imprigiona l'inquinante con un meccanismo puramente fisico.

D1.6 Processi a base di polimeri organici

Questi processi consistono nel miscelare al rifiuto un monomero (il più comune è l'urea formaldeide ma sono impiegati anche poliestere, melammina, resine fenoliche) che, in presenza di un catalizzatore, polimerizza, incapsulando nella struttura polimerica le sostanze contenute.

Sono, come i precedenti, trattamenti che fissano il rifiuto attraverso un meccanismo di tipo fisico. Il materiale polimerizzato non si combina chimicamente con il rifiuto ma forma una massa spugnosa che intrappola le particelle solide.

D1.7 Processi a base di composti macroincapsulanti

Sono processi che danno luogo alla formazione di un prodotto finale costituito da una struttura composita di resine organiche. Generalmente le particelle inquinanti vengono agglomerate da resine termoindurenti e incapsulate da resine termoplastiche. Ad esempio, vengono utilizzate resine polibutadieniche fuse che formano con il rifiuto una miscela, che, dopo raffreddamento, viene ricoperta con polietilene ad alta densità fuso, in modo da creare un involucro esterno ad alta resistenza. Il processo comporta costi elevati.

D1.8 Vetrificazione

Rifiuti particolarmente pericolosi possono essere miscelati con silice e sottoposti a vetrificazione.. Questo tipo di trattamento consente di ottenere un prodotto solido e compatto, sicuro dal punto di vista del rilascio di sostanze inquinanti. Il processo comporta costi elevati.

D1.9 Altri processi

Si tratta in genere di processi innovativi e per la maggior parte ancora in fase sperimentale:

- autocementazione
- innocuizzazione delle ceneri volanti e dell'amianto con processi ad arco elettrico o plasma
- produzione di materiali ceramici sintetici
- utilizzo di ceneri vetrificate
- inglobamento in matrici di rivestimento

Ci sono, inoltre, altri processi chimico-fisici che possono essere utilizzati al fine di rimuovere specifici contaminanti; tra questi si cita, ad esempio, lo strappaggio, applicabile al trattamento di solidi contaminati da sostanze volatili (VOC, SVOC).

D1.10 - Meccanismi chimico-fisici di processo**D 1.10.1 - Processi a base di reagenti inorganici - Meccanismi chimico- fisici di processo**

I processi si differenziano per i meccanismi di fissazione, per le interazioni tra i contaminanti ed il cemento e per le tipologie di additivi utilizzate.

I meccanismi di fissazione dei contaminanti sono molto complicati e difficili da definire in dettaglio, a causa della complessità della matrice solida e della varietà dei contaminanti generalmente presenti; essi, inoltre, dipendono dalla tipologia del processo considerato ed in particolare se tale processo è a base neutra o acida.

Nei processi a base neutra, in funzione della sostanza considerata e delle condizioni operative, si possono avere meccanismi di fissazione chimica e fisica.

La fissazione chimica comprende:

- precipitazione: l'aggiunta di cemento fa aumentare la concentrazione di ioni calcio, i quali formano con gli anioni presenti sali con scarsa solubilità che precipitano facilmente favorendo così la solidificazione. L'alcalinità dell'ambiente consente anche la formazione e la precipitazione di idrossidi insolubili di metalli pesanti

- **Complessazione:** in condizioni di pH basico (come quelle che si creano con l'aggiunta del cemento), si ha la possibilità che i composti idrati semplici formino complessi insolubili (soprattutto alluminati) capaci di legare numerosi anioni (alogenuri, NO_3^- , MnO_4^- , ecc). Inoltre, il silicato tricalcico reagisce con ossidi e idrossidi di metalli formando idrossidi complessi (ad esempio, con lo zinco forma $\text{Ca} [\text{Zn}(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]_2$). Altri metalli fissabili dal silicato tricalcico sono: rame, cromo trivalente, ferro, nichel, manganese, arsenico
- **Adsorbimento:** è un processo d'importanza non trascurabile, atteso il fatto che all'idratazione del cemento si accompagna un notevole incremento della sua superficie specifica, che si trova in condizioni di attivazione per la presenza di silice. Ciò rende possibili reazioni di adsorbimento che portano, in genere, alla formazione di composti meno solubili. Le reazioni di adsorbimento possono dare origine a legami di tipo ionico, covalente, forze di Van der Waals; tipico è il legame covalente che si verifica tra l'ossigeno (anione legato al reticolo dei silicati) e numerosi cationi liberi in soluzione.

La fissazione fisica avviene, invece, per intrappolamento fisico di tutte le sostanze (comprese quelle non reattive) all'interno della matrice.

I processi a base acida sono caratterizzati dal fatto che il rifiuto di partenza viene portato (quando non lo sia già) in condizioni di pH fortemente acido. Anche in questo caso si hanno meccanismi di fissazione chimica e fisica.

Nella fissazione chimica, l'immobilizzazione dei contaminanti ad opera di legami chimici viene eseguita grazie ad una precisa successione delle fasi di dosaggio dei reagenti:

- acidificazione del rifiuto a valori di pH compresi tra 1 e 2,5, al fine di conseguire la solubilizzazione completa dei cationi metallici. Può essere utilizzato in questa fase un qualunque acido inorganico (H_2SO_4 , HCl , HNO_3): nei processi di trattamento di terreni contaminati, on site/off site vengono spesso usati rifiuti liquidi acidi
- formazione dell'acido silicico monomero, mediante aggiunta alla soluzione acida di scorie d'altoforno (loppa) o di fonderia (contenenti silicati) e di altro acido di scarto per vincolare il pH in un campo compreso tra 1 e 2,5. Tale campo è indispensabile per mantenere stabile l'acido silicico monomero, premessa per un'efficace fissazione dell'inquinante
- polimerizzazione dell'acido silicico, per effetto dell'aggiunta di latte di calce o di soda. Durante la polimerizzazione, il gruppo $\text{Si}(\text{OH})$ si deprotona legando nelle sue catene gli ioni dei metalli presenti.

La fissazione fisica, dal canto suo, viene realizzata attraverso la cementazione per aggiunta di loppa e calce al polimero siliceo preformato.

Va rilevato che i contaminanti presenti nel rifiuto possono interagire con il cemento, durante le reazioni di idratazione, andando ad influenzare le caratteristiche finali del materiale inertizzato. I meccanismi di interferenza sono così riassumibili:

- **adsorbimento:** le molecole vengono adsorbite dalle particelle cristalline ostacolando il normale processo d'idratazione
- **complessazione:** agenti complessanti reagiscono con gli ioni alluminato e ferrito mantenendoli in soluzione e ritardando così l'idratazione
- **precipitazione:** la formazione di composti insolubili ostacola il trasporto di acqua, ritardando le reazioni di idratazione
- **nucleazione:** l'adsorbimento delle sostanze contaminanti sui nuclei di idrossido di calcio ne impedisce la crescita e quindi favorisce la formazione di nuovi nuclei nella soluzione satura; un numero così elevato di nuclei, ovvero di siti disponibili per le reazioni di idratazione, porta, dopo il ritardo iniziale, ad una veloce idratazione del silicato tricalcico e alla cristallizzazione dell'idrossido di calcio stesso.

A livello di reazioni d'idratazione, le sostanze presenti nel rifiuto (o nel terreno) sottoposto a

trattamento possono agire da acceleranti o ritardanti a seconda che favoriscano o meno la nucleazione; in termini di caratteristiche finali il prodotto potrà risultare più o meno compatto, più o meno resistente alle sollecitazioni meccaniche e/o potrà risultare modificato in alcune sue particolari proprietà (per esempio, la permeabilità).

Al fine di inibire gli effetti negativi che alcuni composti esercitano sui meccanismi di presa e sulle caratteristiche fisico-meccaniche, devono essere dosate, assieme ai reagenti leganti, apposite sostanze (additivi) che, in genere, partecipano anche al processo d'immobilizzazione dei contaminanti, ma che in alcuni casi servono solo ad impedire i fenomeni di interferenza. Gli additivi, inoltre, possono essere dosati in quantità limitate oppure significative rispetto al reagente principale. In quest'ultimo caso, si tende a ridurre l'incremento di volume del prodotto finale e ad aumentare la possibilità di trattare rifiuti o terreni ad alto contenuto d'inquinanti, correndo però il rischio di ottenere un materiale che non ha, in pratica, consistenza e non oppone barriere fisiche all'eluente.

Tra i più comuni additivi si hanno i silicati solubili, i solfuri (ad esempio di sodio), i materiali pozzolanici naturali o artificiali, le sostanze adsorbenti (argille, zeoliti, ecc) e altri additivi coperti da brevetto. Possono, inoltre, essere impiegati additivi fluidificanti per tenere basso il rapporto acqua/cemento nell'impasto.

Per poter applicare i processi di inertizzazione a base di cemento anche in presenza (più o meno marcata) di contaminanti organici, vengono proposti diversi tipi di additivi, che, una volta premiscelati con il rifiuto, esplicano un'azione adsorbente sui contaminanti organici, riducendone gli effetti negativi sul processo di idratazione del cemento. Tra gli additivi più utilizzati vi sono le argille QAS (montmorilloniti scambiate con sali quaternari di ammonio); tali argille, se modificate scambiandole con cationi alchilammonici, aumentano la capacità di adsorbimento delle molecole organiche di oltre il 95%. L'applicazione di argille QAS modificate ha consentito di operare con contenuti di contaminanti organici (solventi ed ammine) superiori al 12%. Nel trattamento di terreni contaminati, l'applicazione di argille QAS scambiate si è rivelata efficace su diversi composti organici, anche a pH acidi ed in presenza di metalli pesanti. Oltre alle argille QAS sono stati proposti altri additivi (carboni attivi, vermiculite, terre di diatomee, zeoliti, polimeri organici) per adsorbire i composti organici prima dell'inertizzazione, benché non si abbiano notizie di un loro utilizzo pratico nel settore del trattamento dei rifiuti e dei terreni contaminati. Si hanno infine diversi additivi coperti da brevetto, che sono stati applicati soprattutto a terreni con contenuto di sostanza organica fino al 30%.

D 1.10.2 - Processi a base di reagenti organici - Meccanismi chimico fisici di processo

Non tutti i contaminanti possono essere trattati efficacemente con i processi di inertizzazione a base cementizia; la maggior parte di tali processi è, infatti, applicabile solo a contaminanti di natura prevalentemente inorganica. Alcuni trattamenti sono però in grado di immobilizzare anche talune tipologie di inquinanti organici, mediante l'aggiunta di additivi specifici che svolgono sulla frazione organica un'azione microincapsulante o adsorbente.

Le difficoltà di smaltimento finale dei residui solidi (prodotti dai trattamenti di depurazione dei fumi, ceneri volanti residui dell'assorbimento ecc.), legate essenzialmente alla presenza ed alla mobilità di alcune componenti tossiche, rendono di particolare interesse alcune possibilità di trattamento finalizzate alla riduzione del loro grado di nocività. A tale scopo le alternative potenzialmente applicabili possono suddividersi, in base al principio che regola l'intervento stesso, in due categorie:

1. riduzione della mobilità degli elementi tossici tramite incapsulamento in una matrice solida stabile (inertizzazione: stabilizzazione/solidificazione); i processi di più comune applicazione sono costituiti da trattamenti a base di leganti idraulici mentre sono meno usati i processi in cui gli elementi tossici precipitano sotto forma di sali altamente insolubili, senza tuttavia provvedere allo sviluppo di fenomeni di solidificazione. Questa categoria ottiene come risultati:

- la fissazione degli elementi tossici all'interno della struttura tridimensionale, che si forma dopo opportuna maturazione
 - la riduzione della superficie specifica esposta al contatto con le acque di percolazione, con conseguente minimizzazione del rilascio di sostanze nocive
2. estrazione totale o parziale degli elementi tossici dal rifiuto, con contestuale recupero di una frazione inerte (detossificazione o innocuizzazione). A questa categoria appartengono quei trattamenti orientati alla riduzione della nocività dei residui tramite la estrazione degli elementi tossici, con produzione di un solido altamente innocuizzato e di una frazione contenete i metalli separati potenzialmente riutilizzabile. Possono essere di due tipi:
- chimici
 - termici.

A seconda del tipo di reagente, i processi sono classificabili in:

- processi a base di sostanze termoplastiche. In questi processi si usano sostanze capaci di indurire o rammollire reversibilmente con la variazione di temperatura. Si tratta di sostanze organiche polimeriche tra le quali sono disponibili: asfalto, bitume, paraffina, polietilene, polipropilene, nylon. I materiali utilizzati più frequentemente sono asfalto e bitume
- Processi a base di polimeri organici. Consistono nel miscelare al rifiuto da trattare un monomero (il più comune è l'urea formaldeide, ma sono impiegabili anche poliestere, melammina e resine fenoliche) che in presenza di un catalizzatore polimerizza, incapsulando nella struttura polimerica le sostanze inquinanti
- Processi a base di composti macroincapsulanti. Prevedono la formazione di un prodotto finale costituito da una struttura composta di resine organiche. Generalmente le particelle di terreno contaminato vengono agglomerate da resine termoindurenti ed incapsulate da resine termoplastiche. Sono ad esempio usate resine polibutadieniche fuse che formano col terreno una miscela, la quale dopo raffreddamento viene ricoperta con polietilene ad alta densità fuso in modo da creare un involucro esterno di notevole resistenza.

Tutti i processi sopra descritti fissano i contaminanti attraverso un meccanismo fisico. La loro applicazione ai rifiuti ed ai terreni contaminati, seppur potenzialmente efficace, ha trovato fino ad oggi limitate applicazioni in scala reale (in particolare nel caso dei processi a base di sostanze termoplastiche) soprattutto a causa degli elevati costi. Va rilevato che tali trattamenti sono stati, originariamente, sviluppati per lo smaltimento in sicurezza di rifiuti a bassa radioattività.

D.1.11 Vantaggi e svantaggi dei trattamenti di inertizzazione

I fattori che determinano la possibilità di trattare efficacemente un certo rifiuto mediante il trattamento di solidificazione/stabilizzazione sono molteplici.

La scelta del sistema di trattamento più idoneo va effettuata tenendo presenti i seguenti aspetti:

- caratteristiche chimico-fisiche del rifiuto;
- compatibilità tra rifiuti di tipo diverso;
- compatibilità tra rifiuto e reagenti;
- efficacia del trattamento ovvero effettiva capacità dei reagenti di immobilizzare le sostanze inquinanti;
- livello di compatibilità ambientale richiesto per il rifiuto dopo trattamento;
- possibili utilizzi e periodo di vita richiesto al manufatto prodotto con il rifiuto;
- requisiti di compatibilità ambientale richiesti al termine della sua vita prevista;
- valutazione economica dei costi.

L'efficacia del trattamento va valutata con prove di laboratorio che siano in grado di indicare la lisciviabilità degli inquinanti dal rifiuto inertizzato.

I principali vantaggi e svantaggi dei processi di inertizzazione che utilizzano reagenti inorganici

sono riportati in tabella 1

Tabella 1 – Vantaggi e svantaggi dei processi di inertizzazione a base di cemento e calce

Vantaggi	Svantaggi
Reagenti a costo ragionevole e facilmente reperibili	possibilità di ri-dissoluzione in presenza di forti concentrazioni acide
tecnologia semplice e ampiamente applicata, con costi di investimento contenuti	in alcuni casi sono richiesti elevati quantitativi di reagenti
controllabilità e flessibilità del processo: le proprietà fisiche dei rifiuti trattati possono essere variate in funzione delle quantità di reagenti addizionati	sensibile aumento di volume del rifiuto inertizzato rispetto al grezzo
Possibilità di riciclaggio dei prodotti di alcuni processi	

Il processo prevede una fase preliminare volta all'individuazione dei parametri critici e delle prestazioni del sistema tra cui:

- tipologia, combinazione e dosaggio degli agenti stabilizzanti e degli additivi da utilizzare
- tipologie di pretrattamento
- modalità e tempi ottimali di miscelazione e di maturazione
- controllo delle eventuali emissioni liquide e gassose del processo
- caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche del materiale inertizzato.

Un rischio ambientale indotto dai processi di inertizzazione è rappresentato dalla possibile generazione di emissioni gassose di composti volatili tossici durante le fasi di miscelazione del rifiuto con gli additivi; in tal caso dovrebbe essere previsto un sistema di captazione e trattamento di tali emissioni gassose.

Dalla descrizione dei processi di inertizzazione emerge che:

- i processi a base di reagenti inorganici consentono il trattamento di una vasta gamma di tipologie di rifiuti
- i meccanismi di fissazione nei processi a base di reagenti organici sono riconducibili all'intrappolamento fisico e la loro efficacia è generalmente elevata.

D.2 - I trattamenti termici

Gli impianti di trattamento termico prevedono la presenza di più sezioni di trattamento poste in serie o in parallelo in relazione alle caratteristiche dei materiali inquinanti da trattare e dei quantitativi da decontaminare.

Sia gli impianti di desorbimento termico sia quelli di termodistruzione sono basati su uno schema impiantistico tecnologico generale che prevede tre comparti di trattamento:

1. comparto pre-trattamenti ed alimentazione
2. comparto di trattamento termico e/o distruzione e/o rimozione delle sostanze inquinanti (prima e seconda fase del processo)
3. comparto di raffreddamento e/o recupero termico e controllo e raccolta delle emissioni (residui di trattamento solidi, liquidi e gassosi).

Il primo comparto comprende le unità tecnologiche di pretrattamento: stoccaggio, vagliatura, triturazione, miscelazione, preessiccamento, alimentazione al comparto di trattamento termico, ecc..

Il secondo comparto comprende, invece, il sistema di trattamento di termocombustione o desorbimento vero e proprio ed i sistemi di distruzione e/o rimozione degli inquinanti presenti nella fase gassosa: camera di combustione o desorbimento, eventuale camera di post combustione o unità di condensazione/recupero, unità di abbattimento degli inquinanti presenti in fase gassosa, ecc.

Vi è, infine, il comparto di raffreddamento che comprende: gli impianti preposti allo scambio termico tra i prodotti gassosi del trattamento ed al recupero energetico, le unità di raccolta e

stoccaggio dei residui solidi e liquidi di processo, le unità di controllo in continuo delle emissioni gassose, ecc.

Di seguito vengono descritte, nel dettaglio, le principali tecnologie adottate per gli impianti di desorbimento termico e per quelli di termodistruzione.

D 2.1 - Desorbimento termico e termodistruzione

I processi di desorbimento termico sono applicati, prevalentemente, al trattamento dei terreni contaminati e sono finalizzati alla vaporizzazione dei contaminanti organici volatili e semivolatili in essi presenti. Operano, in una fase primaria, una semplice evaporazione di questi composti; a differenza dei trattamenti di termodistruzione, infatti, le condizioni di funzionamento (livelli di temperatura, tempi di residenza) sono tali da garantire la sola volatilizzazione degli inquinanti, senza cioè ossidarli né distruggerli. Una volta volatilizzati, i composti organici possono essere, in una fase secondaria, variamente trattati.

Il processo di desorbimento termico, come precedentemente descritto, consiste nella volatilizzazione delle sostanze inquinanti a temperature comprese tra i 90 ed i 650 °C e nella successiva rimozione mediante un fluido di trasporto costituito dall'aria di combustione o da gas inerte.

Il processo non è finalizzato all'ossidazione termica/distruzione degli inquinanti organici, sebbene le elevate temperature adattate in alcuni sistemi possano provocare anche fenomeni localizzati di ossidazione.

I trattamenti termici consentono di risanare terreni contaminati da sostanze organiche e, in talune tipologie di processo, anche di rimuovere (quando vaporizzabili e poi ossidabili a basse temperature) o immobilizzare efficacemente le sostanze inorganiche. Essi possono essere effettuati in impianti fissi (off site), mobili o trasportabili (on site) e possono essere condotti direttamente in situ mediante l'energizzazione del suolo con appositi elettrodi.

A seconda dello schema di processo e delle modalità operative, i trattamenti termici possono essere classificati in due distinte categorie:

- trattamenti di desorbimento termico
- trattamenti di termodistruzione.

Le due tipologie di processo si differenziano, essenzialmente, per la modalità di conduzione della prima fase di trattamento, quella cioè sulla matrice solida del terreno. Essa, infatti, può:

- limitarsi ad una semplice vaporizzazione/pirolisi dei composti volatili, con temperature in genere variabili tra 90 e 650°C, come, appunto, nel caso dei processi di desorbimento termico
- spingersi fino ad un trattamento di termodistruzione convenzionale) con temperature variabili da un minimo di 600 °C ad oltre 2.000 °C per i sistemi che prevedono, dapprima, la fusione e, quindi, la vetrificazione del terreno), soprattutto in caso di elevate concentrazioni di contaminanti organici di notevole pericolosità e stabilità termica e/o quando si rende necessario immobilizzare, nel materiale vetrificato, gli eventuali contaminanti inorganici (in genere metalli pesanti)

I suddetti processi portano all'ottenimento di un terreno decontaminato avente caratteristiche differenti:

- il terreno trattato al di sotto di 460°C, subisce un parziale deterioramento in seguito alla mineralizzazione della frazione organica ed alla trasformazione e riorganizzazione degli ossidi di ferro ed alluminio. Tale deterioramento non pregiudica, comunque, il riutilizzo agronomico del terreno medesimo, tenuto conto della ricostituzione naturale (nel giro di poche stagioni) della sostanza organica o della possibilità di apportare tale sostanza organica dall'esterno (per esempio, mediante l'aggiunta di ammendanti organici)
- il terreno trattato al di sopra di 500 °C e fino a 900°C, va incontro alla perdita degli ossidrilici dalle argille e alla dissociazione dei bicarbonati, con danni irreversibili sia alla struttura

minerale che alle caratteristiche chimiche e nutrizionali. Il suo utilizzo non può, quindi, più essere di tipo agronomico, ma esclusivamente come materiale da riporto o riempimento

- il terreno trattato al di sopra di 900 °C arriva al punto di fusione: si ottiene così, una volta raffreddato, un prodotto vetrificato.

D 2.1.1 Modalità di riscaldamento del terreno

I diversi sistemi di trattamento si differenziano, quasi esclusivamente, per il tipo di unità di desorbimento utilizzata.

Unità di desorbimento a riscaldamento diretto

Il rifiuto (terreno contaminato) viene riscaldato attraverso l'intimo contatto diretto con un vettore di calore. Questo è, comunemente, un combustibile ausiliario che viene bruciato all'interno di un tamburo rotante (che costituisce, quindi, l'unità di desorbimento), laddove si può anche prevedere il ricircolo dei fumi depurati della zona di post combustione (quando questa sia presente); la temperatura di processo è generalmente superiore a 420°C. Sono state, però, effettuate anche delle prove dimostrative di desorbimento in letto fluido, all'interno del quale il terreno viene sottoposto ad intimo contatto con un flusso di aria calda (540-760 °C) immessa (in equicorrente al terreno) dal fondo del letto: la temperatura di processo, in questo sistema (denominato DAVES, "Desorption and Vapor Extraction System"), è intorno a 160 °C. Nei processi di desorbimento a riscaldamento diretto, i gas in uscita dalla camera di desorbimento, che devono essere inviati all'apposito sistema di depurazione, sono, allora, costituiti non soltanto dal vapore e dai prodotti volatili rilasciati dal terreno, ma anche dai fumi generati dalla combustione del combustibile ausiliario (nel caso del tamburo rotante), o dall'aria riscaldata (nel caso del letto fluido).

Unità di desorbimento a riscaldamento indiretto

Il rifiuto (terreno contaminato) è posto a contatto con delle superfici metalliche riscaldate; il trasferimento del calore al suolo avviene, pertanto, a seguito dello scambio termico con queste superfici. L'unità di desorbimento produce, in questo caso, una minor quantità di emissioni gassose, costituite, quasi esclusivamente, da vapore e dagli inquinanti rilasciati; si hanno, pertanto, dimensioni più contenute del sistema di depurazione. Generalmente il trattamento è effettuato a temperature comprese tra 175 °C e 370 °C ma il range operativo può andare dai 90 °C ai 650 °C.

D.2.1.2 Vantaggi e svantaggi del desorbimento termico

Il desorbimento termico può essere adottato per la rimozione dal suolo contaminato di composti organici volatili e semivolatili, ed anche di sostanze a più alto punto di ebollizione come i policlorobifenili; è invece inefficace nella separazione dei contaminanti inorganici. Tuttavia, i metalli maggiormente volatili (come mercurio ed arsenico) possono essere rimossi ricorrendo alle più alte temperature di processo; inoltre, la presenza di cloro può favorire significativamente la vaporizzazione di alcuni metalli quali il piombo.

Rispetto ai trattamenti di termodistruzione, il processo di desorbimento termico presenta i seguenti vantaggi:

- il trattamento, qualora condotto a temperature sufficientemente basse, può essere esente da alcune problematiche di processo ricorrenti nei trattamenti di termodistruzione (emissioni di policlorodibenzodiossine - PCDD, e polidiorodibenzofurani - PCDF)
- il terreno decontaminato conserva ancora delle proprietà organiche e chimiche tali da consentirne anche il riutilizzo agronomico:
- sono ridotte le dimensioni del sistema depurazione fumi
- i costi di trattamento risultano inferiori.

D 2.2 - Processi di vetrificazione/vetroceramizzazione

D 2.2.1 - Processo di vetrificazione

Il processo di vetrificazione prevede la fusione dei rifiuti ad una temperatura intorno ai 1300 °C, così da ottenere una matrice vetrosa fusa, costituita in gran parte da componenti del sistema $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ e da ossidi di metalli alcalini. Mentre i composti organici sono completamente distrutti, gli inquinanti inorganici sono ossidati e, prevalentemente, inglobati nella matrice vetrosa. I fumi che si liberano dalla fornace sono caratterizzati dalla presenza dei prodotti della combustione delle sostanze organiche e dai composti inorganici maggiormente volatili. Una volta raffreddamento il materiale ottenuto, scarsamente lisciviabile, presenta fasi amorfe e cristalline. L'elevata richiesta energetica della vetrificazione dei rifiuti è giustificata solo se la qualità del prodotto ottenuto consente di competere, per caratteristiche fisiche, meccaniche, economiche ed ambientali con gli analoghi materiali di impiego comune.

Parametri del processo di vetrificazione

I principali parametri da controllare sono: temperatura e composizione. In particolare, deve essere opportunamente corretto il tenore di SiO_2 e Al_2O_3 , mediante l'aggiunta di rottami di vetro, dolomite ecc., per ottenere le migliori caratteristiche di fusibilità, lavorabilità e cristallizzazione.

Effetti degli inquinanti sul processo di vetrificazione

L'elevata presenza di materiale organico nei rifiuti da vetrificare può provocare la riduzione degli ossidi dei metalli pesanti: Zn, Cd e Hg, caratterizzati da un'alta tensione di vapore, tendono ad evaporare; Fe, Ni, Cr, Cu, caratterizzati da bassa tensione di vapore, bassa solubilità e alta densità, rimangono nella massa fusa e precipitano. I solfati, essendo poco solubili nella massa vetrosa fusa di alcalo-silicati, incrementano la concentrazione di SO_x nelle emissioni gassose.

D 2.2.2 - Processo di vetroceramizzazione

Il processo di vetroceramizzazione dei rifiuti consiste in una cristallizzazione controllata del prodotto vetrificato che consente di pervenire ad un miglioramento delle proprietà meccaniche e tecnologiche, e della resistenza chimica.

Il riscaldamento controllato deve essere condotto ricorrendo ad una sequenza di gradienti di temperatura e periodi di pausa.

Parametri del processo di vetroceramizzazione

I principali parametri da controllare nella conduzione del processo di vetroceramizzazione sono: temperatura e tempi di riscaldamento. La cristallizzazione è favorita dal dosaggio di agenti nucleanti, quale TiO_2 .

Applicazioni su scala industriale

Le principali applicazioni su scala industriale dei processi di vetrificazione/vetroceramizzazione riguardano l'inertizzazione delle scorie e delle ceneri da termoutilizzazione di RU/RSAU.

I test di lisciviazione, condotti sia sui prodotti di vetrificazione sia su quelli di vetroceramizzazione, dimostrano che i rilasci di sostanze pericolose sono ampiamente inferiori alle soglie di sicurezza fissate dalle normative vigenti.

D.3 Estrazione dei contaminanti dal terreno

Le tecnologie di estrazione, strippaggio ed elettrocinesi, sono accomunate dall'obiettivo di conseguire una mobilizzazione del contaminante dal terreno e, come quasi tutti i sistemi di bonifica, possono essere applicate in situ o ex situ.

In teoria, il principio di mobilizzare i contaminanti presenti in grandi volumi di terreno per

concentrarli su un flusso di entità relativamente modesta da depurare in un sistema esterno e totalmente ingegnerizzato, porterebbe a dover includere tra le tecnologie di estrazione anche lo strippaggio di contaminanti volatili e l'elettrocinesi; tuttavia, si considereranno le tecnologie di estrazione secondo l'accezione più comunemente riportata in letteratura, ovvero come processi basati sul passaggio del contaminante dal terreno ad una fase liquida, mentre le altre due tecnologie summenzionate verranno trattate separatamente e singolarmente in apposite sezioni.

D 3.1 Descrizione delle tecnologie di estrazione

Le cosiddette tecnologie di estrazione sono basate su processi il cui fine è l'allontanamento del contaminante dal terreno utilizzando un mezzo di estrazione che una volta esercitata la sua funzione chimico-fisica a contatto con la matrice contaminata, viene convogliato verso un sistema avente lo scopo di concentrare e/o trattare il contaminante e, possibilmente, recuperare il mezzo di estrazione per una successiva fase di rimozione del contaminante dal terreno.

Le tecnologie di estrazione possono essere applicate *ex situ* ed *in situ*¹:

1. nel primo caso vengono più propriamente definite con il termine inglese *washing*
2. nel secondo caso il processo è noto in letteratura come *flushing*.

Il processo del *washing* prevede che il terreno sia:

1. escavato
2. quasi sempre pretrattato
3. "lavato" in uno dei seguenti modi:
 - per irrigazione in cumuli
 - in unità batch
 - in sezioni a flusso continuo.

In generale, i meccanismi di lavaggio sono di due tipi:

A. passaggio in soluzione del contaminante una volta avvenuto il contatto con:

1. acqua
2. acqua ad alta temperatura
3. una apposita soluzione estraente che può utilizzare:
 - solventi diversi dall'acqua
 - tensioattivi

B. veicolazione del contaminante:

1. in forma dispersa
2. sotto forma di micelle
3. adsorbito su particelle microniche e sub-microniche di terreno (per la maggior parte dei contaminanti il 90% del carico inquinante è concentrato nella frazione granulometrica di dimensioni inferiori ai 2 mm).

Nella fase di mobilitazione dei contaminanti intervengono una serie di azioni di tipo fisico (azioni di attrito che favoriscono il distacco del contaminante dalla superficie delle particelle di suolo) e chimico-fisico (desorbimento ottenuto utilizzando tensioattivi o modificando le condizioni di pH), come riassunto in tabella 2.

Tabella 2 - Meccanismi che definiscono la fase di mobilitazione dei contaminanti

Azione	Meccanismo	effetto/causa
Fisica	Attrito	il distacco del contaminante dalla superficie delle particelle
chimico-fisica	Desorbimento	utilizzo di tensioattivi
		modifica delle condizioni di pH

¹ Nelle presenti linee guida verranno approfondite solo le tecnologie di estrazione *ex situ* accennando a quelle *in situ* per gli aspetti comuni alle due tecnologie

D 3.2 Post-trattamenti nel processo di estrazione

L'utilizzo di particolari soluzioni nel processo può rendere necessario un post-trattamento del terreno (ad esempio, lavaggio con acqua) finalizzato alla rimozione delle sostanze estraenti che permangono nel terreno stesso. Il flusso estratto richiede, a sua volta opportuni post-trattamenti di tipo biologico e/o chimico-fisico quali, ad esempio, la flottazione.

Come estraente viene utilizzata ancora diffusamente l'acqua sebbene la sua azione solvente possa essere sfruttata solo nei confronti di un ristretto numero di contaminanti, come il cromo esavalente, i cloruri, i solfati, ed i tempi di lavaggio richiesti siano spesso eccessivamente lunghi. Il suo utilizzo, pertanto, è soprattutto quello di agente disperdente.

Soluzioni basiche (ad esempio di NaOH) possono essere utilizzate su terreni a matrice argillosa nei quali l'elevata densità di carica superficiale contribuisce a trattenere contaminanti quali, ad esempio, i cianuri; l'incremento del pH favorisce la mobilitazione del contaminante.

Per la bonifica di siti contaminati da sostanze poco solubili in acqua e resistenti alla dispersione, come gli IPA, possono essere utilizzati solventi organici (etanolo, alcol isopropilico, acetone ecc.). E' preferibile che tali solventi siano solubili in acqua al fine di non dover ricorrere alla fase preliminare di essiccazione del terreno; la necessità di dover effettuare post-trattamenti del terreno ed i costi elevati dei reagenti sono uno svantaggio legato all'utilizzo di soluzioni estraenti contenenti solventi organici.

I tensioattivi sono macromolecole organiche, composte da una catena idrofoba e da un gruppo idrofilo, che tendono ad accumularsi in corrispondenza dell'interfaccia tra le diverse fasi non miscibili modificando le proprietà chimico-fisiche della superficie (diminuzione della tensione superficiale, potere schiumogeno, ecc.). All'aumentare della concentrazione e superato un dato valore critico, i tensioattivi tendono a ridurre ulteriormente il contatto tra il gruppo idrofobo e l'acqua mediante la formazione di micelle. La concentrazione critica al di sopra della quale si formano le micelle dipende dal tipo di tensioattivo, dal fatto che sia ionico o meno e dalla presenza o meno in acqua di sali. Le soluzioni di acqua e tensioattivi nelle quali la concentrazione di questi è superiore a quella critica sono caratterizzate da una considerevole fase non polare costituita dall'interno delle micelle stesse, che è in grado di dissolvere composti poco solubili in acqua come PCB, solventi organici, pesticidi, ecc..

Questa tecnologia, d'altro canto, risulta essere decisamente più costosa del semplice lavaggio con acqua e gli inquinanti devono necessariamente avere caratteristiche idrofobiche ed essere caratterizzati da scarsa volatilità. Il trattamento può essere efficacemente applicato a terreni contaminati da PCB, pesticidi clorurati, lubrificanti, plastificanti, solventi clorurati o aromatici.

I tensioattivi non vengono utilizzati nel trattamento di terreni contenenti metalli pesanti, per i quali il processo maggiormente utilizzato è, invece, l'estrazione mediante lavaggio con soluzioni acide.

La mobilità dei metalli in un terreno dipende da diversi fattori, ed in particolare:

- dal pH
- dalla natura della matrice minerale del suolo
- dalla capacità di scambio cationico (CEC)
- dal potenziale redox
- dalla dimensione delle particelle costituenti il terreno
- dalla presenza di sostanza organica e di argille
- dalla forma sotto la quale sono presenti i metalli stessi

La mobilitazione dei metalli e la limitazione dei fenomeni di adsorbimento possono essere attuate mediante l'utilizzo di HCl, H₂SO₄, HNO₃, acidi organici o agenti chelanti.

D.3.3 Vantaggi e vantaggi delle tecniche di estrazione

Tra le possibili limitazioni nell'applicazione del washing si segnalano;

- la presenza di più tipologie di inquinanti (ad esempio composti organici e metalli pesanti) che può rendere difficile l'identificazione dell'agente estraente ottimale e potrebbe portare a

reazioni indesiderate dell'estrante con alcuni contaminanti

- la presenza di frazioni argillose ed umiche
- difficoltà nel depurare la soluzione estraente, ovvero nel demobilizzare i contaminanti; ciò può rendere necessario un ulteriore trattamento del terreno per la rimozione dell'agente estraente.

Per la valutazione dell'applicabilità del washing devono essere considerati diversi fattori, ed in particolare:

- la distribuzione granulometrica (con range ottimale 0. 24-2 mm)
- il tipo di terreno
- le caratteristiche di scavabilità e facilità di movimentazione del terreno
- la tessitura, il contenuto di acqua e di sostanza organica
- la capacità di scambio cationico e quella tampone, il pH
- viene, infine, raccomandata l'esecuzione di prove preliminari su scala pilota.

Il washing è un processo considerato affidabile per il trattamento di una vasta gamma di contaminanti (metalli pesanti, radionuclidi, cianuri, PAC, PCB, pesticidi) grazie alla possibilità di utilizzare diverse soluzioni estraenti; poiché il trattamento avviene on site od off site, rispetto al flushing è meno "sensibile" alle caratteristiche proprie del sito e quindi considerato più flessibile.

Il trattamento è affidabile soprattutto per terreni caratterizzati da un contenuto del 50-70% in sabbia; se il contenuto di fini (limi ed argille ed, in generale, particelle di dimensioni inferiori a 63-74 µm) è pari al 30-50% il trattamento di washing risulta, comunque, applicabile, ma potrebbe non essere economicamente conveniente.

I contaminanti, inoltre, tendono a concentrarsi sulle particelle fini dalle quali è più difficile mobilitarli con il washing; pertanto operare su un terreno ricco di fini potrebbe rendere necessari ulteriori trattamenti di considerevoli quantità di materiale altamente contaminato con conseguente incremento dei costi. Un'altra condizione per la fattibilità economica del processo è che la massa complessiva di terreno da trattare non sia, in generale, inferiore alle 5.000 tonnellate.

La presenza di contaminanti idrofobi richiede, come già precedentemente accennato, l'utilizzo di particolari additivi, il che implica in genere maggiori volumi di soluzione estraente e ulteriori fasi di processo, per trattare e riciclare l'additivo.

La presenza di miscele di contaminanti aventi caratteristiche diverse rende il sistema più difficile da progettare, così come una distribuzione poco uniforme della contaminazione, in presenza della quale potrebbe essere necessario realizzare un sistema di equalizzazione in testa alla linea di processo. La presenza di contaminanti organici ad elevata viscosità è un altro elemento che può creare notevoli problemi operativi.

In Tabella vengono riassunte le possibilità di applicazione del washing in funzione del tipo di contaminante e delle caratteristiche del contaminante.

Tabella 3 - Applicabilità della tecnologia del washing.

ITEM	Tipo di contaminante	Tipo di terreno		
		Ghiaioso-sabbioso	Argilloso-limoso	
Organici	Alogenati volatili	Applicabile con elevata efficienza	Applicabile con efficienza limitata a meno che non si usino additivi particolari	
	Non alogenati volatili			
	Alogenati semivolatili	Applicabile con efficienza limitata a meno che non si usino additivi particolari		
	Non alogenati semivolatili			
	PCB			
	Pesticidi alogenati			
	Diossine e furani			
	Cianuri organici			
Inorganici	Metalli volatili	Applicabile con elevata efficienza	Non applicabile	
	Metalli non volatili			
	Amianto	Non applicabile		
	Cianuri inorganici	Applicabile con efficienza limitata a meno che non si		

ITEM	Tipo di contaminante	Tipo di terreno	
		Ghiaioso-sabbioso	Argilloso-limoso
Reattivi	Ossidanti	usino additivi particolari	
	Riducenti		

Per quanto riguarda la verifica dell'efficienza dei trattamenti di washing, già in fase operativa andrebbero controllati alcuni parametri quali, ad esempio:

- il pH della soluzione di lavaggio
- i tempi di residenza del terreno nelle varie sezioni

In Tabella 4 sono riportate le efficienze rilevate in alcuni impianti europei e statunitensi, nonché informazioni sul flusso entrante, sulla tipologia di contaminante e sull'agente estraente utilizzato.

Tabella 4 – Efficienze e principali parametri operativi di alcuni impianti di washing.

Potenzialità [t/h]	Granulometria in ingresso [mm]	Contaminanti	Agente estraente	Concentrazione residua [ppm]	rendimento di estrazione [%]
15	qualsiasi	oli e grassi	acqua calda e detersivi	250-600	50-83
100	0,053-2	Idrocarburi	nessuno: acqua calda e sabbia	20000	90
20		Idrocarburi	nessuno: uso di getto di acqua ad alta pressione	aromatici >45	aromatici >81
15-20	0,015-5	Organici	Acidi e basi	Organici totali: 159-201 Fenoli totali: 7-22,5 IPA: 90-97 PCB: 0,5-1,3	Organici totali: 96 Fenoli totali: 86-94 IPA: 86-90 PCB: 84-88
20-25	0,063-10	Cianuri Clorurati Metalli pesanti	Detersivi, NaOH per correggere il pH	Cianuri: 5-15 Clorurati: <1 Met: 75-1 25	Cianuri: 95 Clorurati: 98 Metalli: 75
n. d.	0,05-4, non più del 20% con d < 0,05	Cianuri Metalli pesanti Clorurati	Reagenti e detersivi coperti da brevetto	Cianuri: 5 Metalli: >150 Clorurati: 0, 5	Cianuri: >85 Metalli: >90 Clorurati: >99

I costi per l'applicazione del washing possono variare ampiamente, soprattutto in funzione del contenuto di frazioni fini, argille e sostanza organica e della capacità di scambio canonico. Se non sono necessari particolari additivi il costo può aggirarsi intorno ai 25-70 €/t, mentre dovendo usare additivi è difficile scendere al di sotto dei 100-125 €/t (possono essere superati anche i 200-250 €/t).

D.4 Strippaggio

Lo strippaggio consente di pervenire alla rimozione di composti organici volatili (VOC) o semivolatili (SVOC) dal materiale contaminato mediante l'utilizzo di un pozzo in cui il materiale stesso viene fatto attraversare da aria prodotta da un apposito ventilatore; il flusso in uscita viene deumidificato e trattato per la rimozione dei contaminanti mobilizzati, utilizzando unità a carboni attivi o a combustione catalitica.

Più in particolare il trattamento di strippaggio ex situ prevede la disposizione del terreno contaminato su un letto di tubazioni di aspirazione. I cumuli vengono, generalmente, coperti da teli in materiale plastico al fine di evitare la volatilizzazione incontrollata dei contaminanti e la eventuale saturazione del terreno ad opera di acque meteoriche.

Un rapido cenno meritano le tecniche di strippaggio a temperatura elevata, in cui il riscaldamento consente di: incrementare la pressione di vapore dei composti volatili e semivolatili, incrementare la

permeabilità del substrato (grazie alla riduzione del contenuto di acqua, nel caso in cui esso sia caratterizzato da eccessiva umidità), facilitare i fenomeni diffusivi, catalizzare i fenomeni ossidativi. Il range di temperature adottate è molto ampio, in funzione del tipo di contaminante e del tipo di processo prescelto. Come per tutti i trattamenti termici, uno svantaggio è rappresentato dalla possibile inibizione o distruzione della popolazione batterica del substrato trattato. I sistemi generalmente impiegati utilizzano aria calda e vapore, ma sono state sperimentate anche resistenze elettriche, campi elettromagnetici, fibre ottiche ad energia solare, ecc..

I processi basati sull'applicazione di campi elettromagnetici (RFH) o sull'utilizzo di resistenze elettriche (ERH) sono stati sviluppati, soprattutto, per interventi su terreni caratterizzati da bassa permeabilità, nei quali risulterebbe difficile l'iniezione di aria calda o vapore. L'utilizzo del vapore al posto dell'aria rende il processo di strippaggio più complesso a causa della formazione di acqua di condensa sia nel terreno che nelle sezioni on site dell'impianto: l'accumulo di acqua di condensa nel terreno può comportare una semi-saturazione e quindi, una sensibile riduzione della permeabilità. La pressione con la quale il vapore viene iniettato deve essere attentamente valutata perché, se è vero che al suo aumentare aumenta la velocità di rimozione, è anche vero che valori troppo elevati potrebbero causare una fratturazione del terreno e la formazione di corto circuiti e vie di fuga.

Il riscaldamento per radio-frequenza (RFH) è una tecnologia sviluppata per riscaldare in modo rapido ed uniforme grandi volumi di terreno caratterizzati da bassa permeabilità. L'applicazione prevede l'utilizzo di elettrodi o di antenne che emettono onde radio su determinate frequenze: le onde radio provocano un incremento del movimento delle molecole e quindi il riscaldamento.

D.4.1 Vantaggi e svantaggi dello strippaggio

Lo strippaggio consente di trattare elevati volumi di rifiuto in tempi accettabili con rapida distruzione dei contaminanti e a costi, generalmente, inferiori a quelli di altre tecnologie; il processo è, inoltre, sinergicamente affiancabile ad altri sistemi. La tecnologia, tuttavia, non è estendibile a qualunque tipologia di rifiuto, ma solo a quelli in cui l'inquinante risulta volatile o quantomeno semivolatile (pressione di vapore almeno pari a 0,5 mm Hg): non sono, pertanto, trattabili metalli pesanti, PCB e molte classi di pesticidi. In generale lo strippaggio non è adatto per composti alcolici e acetone. Poiché il composto da estrarre deve essere mobilizzato sotto forma di vapore, il peso molecolare non deve essere superiore a 200 g/mol. I contaminanti devono avere una bassa solubilità in acqua o quanto meno, l'umidità del terreno deve essere bassa;

Alcune informazioni circa i sistemi di trattamento dei vapori contaminati estratti dal terreno sono riportate in Tabella 5.

Tabella 5 – Principali dati sui sistemi di trattamento dei vapori contaminati estratti dal terreno.

Trattamento	Efficienza	Caratteristiche del flusso estratto dal terreno e da depurare			
	[%]	conc. VOC [ppmv]	umidità relativa [%]	T [°C]	caratteristiche dei VOC
Carboni attivi	60-90	>700	<30	<80	peso molecolare 50-150 g/mol
termodistruzione	>95	>100	-	-	nessuna in particolare
termodistruzione catalitica	95	>100	-	-	metalli pesanti, ossidi di ferro e composti alogenati possono avvelenare i catalizzatori
Condensazione	50-90	>5000	-	<110	Efficienza limitata dalla pressione di vapore dei VOC

Nell'applicazione del processo di strippaggio bisogna tener conto che, a causa del flusso di aria, si avrà una iniziale consistente volatilizzazione, talvolta, associata a degradazione dei composti a più basso peso molecolare; l'elevata volatilizzazione porta ad efficienze di rimozione inizialmente molto elevate, ma che si riducono progressivamente e drasticamente nel tempo pur in presenza di carichi inquinanti ancora elevati.

Una volta appurata la volatilità degli inquinanti, un altro parametro che influenza l'efficienza del processo è la permeabilità all'aria del terreno; essa è funzione delle caratteristiche intrinseche del terreno e del contenuto di liquidi.

D.5 Elettrocinesi

Il processo prevede l'induzione di un flusso di acqua, di particelle cariche e di ioni, attraverso il terreno, caratterizzato da bassa permeabilità.

Il passaggio della corrente elettrica causa la mobilitazione delle specie cariche elettricamente forzando ioni, particelle ed acqua a muoversi verso gli elettrodi.

La corrente, inoltre, crea un fronte acido all'anodo ed uno basico al catodo: il fronte acido può essere proficuamente utilizzato per la mobilitazione di metalli pesanti verso il catodo.

I meccanismi attraverso i quali avviene la migrazione dell'acqua e dei contaminanti verso gli elettrodi sono essenzialmente due:

1. elettromigrazione sotto gradiente elettrico (elettromigrazione vera e propria, se riguarda specie chimiche cariche, ed elettroforesi, se riguarda particelle cariche)
2. elettrosmosi, in cui un fluido contenente ioni si sposta rispetto ad una superficie carica.

Nell'applicazione dell'elettrocinesi alla bonifica dei terreni contaminati in situ ed ex situ sono stati seguiti finora due tipi di approccio:

1. rimozione, che prevede il trasporto dei contaminanti verso l'elettrodo dove vengono concentrati, e da cui sono successivamente rimossi. La rimozione può avvenire in diversi modi:
 - pompando l'acqua in prossimità dell'elettrodo di concentrazione
 - utilizzando resine a scambio ionico
 - per precipitazione
 - per galvanostegia
2. trattamento senza rimozione in cui il flusso elettro-osmotico è fatto permeare attraverso una zona di trattamento collocata tra i due elettrodi; per sfruttare al massimo la reattività della zona di trattamento il flusso viene regolarmente invertito scambiando la polarità degli elettrodi. Questo tipo di approccio è usato più frequentemente per contaminanti organici.

L'elettrocinesi si applica al trattamento di metalli pesanti, anioni (nitrati, solfati, cianuri), sostanze organiche quali, ad esempio, acido acetico, fenoli, DNAPL, benzine, gasolio, kerosene, oli lubrificanti, idrocarburi alogenati, composti organici non alogenati, esplosivi.

Le migliori efficienze si ottengono nel trattamento di terreni a bassa salinità e bassa capacità di

scambio cationico; va, però, rilevato che tanto minore è la porosità del terreno, tanto maggiore risulta il dispendio energetico.

I fattori limitanti dell'elettrocinesi sono:

1. contenuto di umidità: l'efficienza è fortemente ridotta per contenuti inferiori al 10%; il range ottimale è compreso tra il 14 ed il 18%
2. anomalie fisiche: la presenza nel terreno di masse metalliche o materiali isolanti può alterare le caratteristiche di conducibilità elettrica; il sistema, pertanto, si presta poco ad essere applicato a siti molto eterogenei o caratterizzati da una elevata conducibilità
3. non dovrebbero essere utilizzati elettrodi metallici che potrebbero essere attaccati per elettrolisi e rilasciare prodotti della propria corrosione; è preferibile l'utilizzo di elettrodi inerti in ceramica, grafite o, al limite, platino
4. nei terreni argillosi, la carica superficiale delle argille può essere alterata dall'adsorbimento di contaminanti e dalle cariche presenti nell'acqua interstiziale; condizioni estreme di pH e reazioni di ossido-riduzione possono influire negativamente sull'efficienza, anche se condizioni di pH acido favoriscono la mobilizzazione dei metalli pesanti
5. il processo è poco efficiente se la concentrazione degli ioni da rimuovere è bassa e, al contrario, è alta quella di ioni che non si ha interesse o motivo di mobilizzare
6. le reazioni di ossido-riduzione possono causare, in determinati casi, la formazione di prodotti indesiderabili, quali, ad esempio, cloro in forma gassosa.

In generale, i costi del trattamento per elettrocinesi dipendono dalla quantità di terreno da decontaminare, dalla sua conducibilità idraulica ed elettrica, dal tipo e concentrazione dei contaminanti, dalla spaziatura degli elettrodi.

Il consumo energetico è strettamente legato alla conducibilità elettrica del terreno, parametro caratterizzato da grande variabilità (da 30 a più di 3.000 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ con i valori più alti relativi alle argille sature); un valore medio di conducibilità elettrica è approssimativamente pari a circa 500 $\mu\text{mho}/\text{cm}$. E' evidente come i costi di applicazione della tecnologia a terreni a conducibilità particolarmente elevata potrebbero essere proibitivi: per un terreno avente una conducibilità intorno a 500 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ il consumo energetico giornaliero può essere stimato in 12 kWh/m³.

Il consumo energetico complessivo si può stimare in 500 kWh/m³ per una spaziatura degli elettrodi di 1.0-1.5 m (si tenga conto che la spaziatura degli elettrodi influenza i tempi di trattamento; già una spaziatura di 4 m può comportare tempi piuttosto lunghi).

I costi complessivi (consumo energetico, preparazione del sito, costi di impianto e costi operativi) indicati da alcune società internazionali operanti nel settore variano da 25 €/m³ (condizioni estremamente favorevoli) a 300 €/m³. Questi valori rendono la tecnologia competitiva per la rimozione di metalli pesanti da terreni caratterizzati da bassa conducibilità idraulica.

D.6 Separazione meccanica

I trattamenti di selezione meccanica vengono esposti in apposite Linee Guida a cui, pertanto, si rimanda.

D.7 Trattamenti di disidratazione dei fanghi

Il trattamento dei fanghi è finalizzato ad incrementarne il contenuto di solidi ovvero a ridurre il quantitativo di acqua. Si ottiene, in tal modo un rifiuto caratterizzato da volumi notevolmente inferiori e, pertanto, più facilmente gestibile nelle successive fasi di trattamento. Le due principali operazioni di trattamento sono: l'ispessimento e la disidratazione; esse si distinguono, essenzialmente, per i differenti livelli conseguibili di rimozione della componente acquosa.

Per una descrizione 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 linee guida relative al trattamento chimico-fisico e biologico dei rifiuti liquidi. Di seguito si riportano le prestazioni delle diverse tecniche di

disidratazione nonché i relativi vantaggi e svantaggi, con specifico riferimento al trattamento dei fanghi.

Tabella 6 - Dati operativi dei processi di disidratazione

Tecnica	Concentrazione fanghi (%)	Solidi trattenuti (%)	Note
Ispezzimento gravitazionale	2-10	80-92	In funzione della tipologia di fango
Ispezzimento per centrifugazione	3-8	80-98	
Ispezzimento mediante flottazione (DAF)	2-10	80-98	
Disidratazione per centrifugazione	10-35	85-98	Mediante l'utilizzo di additivi chimici
ispezzimento 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

Tabella 6 - Vantaggi e svantaggi dei processi di disidratazione

Tecnica	Vantaggi	Svantaggi
Ispezzimento 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
Ispezzimento 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 ispezzimento facilità di installazione limitati problemi in termini di emissioni osmogene 	<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 la manutenzione
Ispezzimento 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
Ispezzimento 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

D.8 Gestione dei rifiuti contenenti amianto

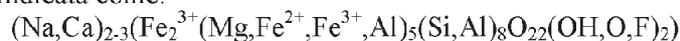
Gli amianti sono una serie di minerali ad abito fibroso, particolarmente abbondanti in natura, composti da silicati di calcio, magnesio, ferro ed alluminio. Essi sono noti, soprattutto, per la loro elevata resistenza chimico-fisica che ne ha determinato il massiccio sfruttamento industriale.

I minerali di amianto, in base alle caratteristiche cristallografiche, si possono, essenzialmente, suddividere in due gruppi principali:

- i minerali di serpentino o crisotilo;
- i minerali di anfibolo.

I minerali del primo gruppo sono costituiti prevalentemente da silicati di magnesio ($\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$) (n. CAS, numero univoco della Chemical Abstract Service, 12001-29-5), a struttura laminare stratificata dove la disposizione ottaedrica degli ossidrili di magnesio alternata ai tetraedri di silice dà luogo alla struttura tubolare caratteristica. Si presentano in aggregati fibrosi con fibre fragili e flessibili, più o meno lunghe e sottili, di colore bianco, tendente al giallo o verde pallido.

Gli anfiboli sono caratterizzati da grande varietà nella composizione; la formula generale può essere indicata come:



A questo gruppo appartengono i minerali:

- actinolite o attinoto ($(\text{Ca}_2\text{Mg}_3\text{Fe}_2^{3+})\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$) (n. CAS 77536-66-4)
- amosite (miscele riebeckite-glaucofane) ($(\text{Fe}_2\text{Mg})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$) (n. CAS 12172-73-5)
- antofillite ($\text{Mg}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$) (n. CAS 77536-67-5)
- crocidolite (miscele di cummingtonite-grunerite) ($\text{Na}_2\text{Fe}_2^{3+}(\text{Fe}^{2+}\text{Mg})_3\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$) (n. CAS 12001-78-4)
- tremolite ($\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$) (n. CAS 77536-68-6)

La struttura cristallina degli anfiboli è costituita da una doppia catena di tetraedri di silice legata da ioni metallici. Il colore degli amianti è legato all'inclusione degli ioni metallici nella struttura cristallina.

Il rischio maggiore connesso con i materiali a base di amianto è legato alla possibilità da parte di tali materiali di rilasciare fibre inalabili. I materiali a base di amianto più rappresentativi, con la percentuale di amianto in essi contenuta e con indicazioni in merito alla loro friabilità vengono riportati nella seguente tabella (tratta e parzialmente rielaborata dal DM 6 settembre 1994 relativo alle "Normative e metodologie tecniche di applicazione dell'art. 6, comma 3, e dell'art. 12, comma 2, della legge 27 marzo 1992, n. 257, relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto").

Tabella 8 – Principali materiali a base di amianto e loro caratteristiche

Tipo di materiale	Note	Friabilità
Ricoprimenti a spruzzo e rivestimenti isolanti	Fino all'85% circa di amianto. Spesso anfiboli (amosite, crocidolite) prevalentemente amosite spruzzata su strutture portanti di acciaio o su altre superfici come isolante termo-acustico	Elevata
Rivestimenti isolanti di tubazioni o caldaie	Per rivestimenti di tubazioni tutti i tipi di amianto, talvolta in miscela al 6-10% con silicati di calcio. In tele, feltri, imbottiture in genere al 100%	Elevato potenziale di rilascio di fibre se i rivestimenti non sono ricoperti con strato sigillante uniforme e intatto

Tipo di materiale	Note	Friabilità
Funi, corde, tessuti (rivestimenti di cavi e tubi, indumenti protettivi, tappezzeria, protezioni antifiamma, nastri per la coibentazione di cavi elettrici, ecc.)	In passato sono stati usati tutti i tipi di amianto. In seguito solo crisotilo al 100%	Possibilità di rilascio di fibre quando grandi quantità di materiali vengono immagazzinati
Cartoni, carte e prodotti affini	Generalmente solo crisotilo al 100%	Sciolti e maneggiati, carte e cartoni, non avendo una struttura molto compatta, sono soggetti a facili abrasioni e ad usura
Prodotti in amianto-cemento (tramezzi, rivestimenti di interni ed esterni, coperture tetti, condutture acqua potabile, fognature, condutture in pressione, ecc.)	Attualmente il 10-15% di amianto in genere crisotilo. Crocidolite e amosite si ritrovano in alcuni tipi di tubi e di lastre. L'amianto è, generalmente, miscelato con cemento Portland.	Possono rilasciare fibre se abrasati, segati, perforati o spazzolati, oppure se deteriorati
Prodotti bituminosi, mattonelle di vinile con intercapedini di carta di amianto, mattonelle e pavimenti vinilici, PVC e plastiche rinforzate ricoprimenti e vernici, mastici, sigillanti, stucchi adesivi contenenti amianto	Dallo 0,5 al 2% per mastici, sigillanti, adesivi, al 10-25% per pavimenti e mattonelle vinilici	Improbabile rilascio di fibre durante l'uso normale. Possibilità di rilascio di fibre se tagliati, abrasati o perforati

I trattamenti dei rifiuti contenenti amianto possono essere distinti in due gruppi principali: quelli che riducono il rilascio di fibre senza modificare la struttura cristallografica dell'amianto, o modificandola in modo parziale e quelli che ne modificano completamente la struttura e che, pertanto, annullano la pericolosità connessa ai minerali di amianto. I rifiuti/materiali risultanti dal processo, a seconda della tipologia di trattamento effettuata e delle loro caratteristiche, potranno essere avviati, nel rispetto delle normative vigenti allo smaltimento in discarica oppure al riutilizzo come materie prime. Quest'ultima opzione può, ovviamente, essere prevista solo nel caso in cui sia completamente annullata la pericolosità connessa alla presenza di amianto. Deve, pertanto, essere assicurata la completa modificazione della struttura cristallografica dell'amianto e la rispondenza del materiale ai requisiti stabiliti dalla normativa vigente in materia.

In generale, esistono diversi processi idonei al trattamento dei rifiuti contenenti amianto rientranti nelle due classi sopra accennate (alcuni di questi trattamenti sono già stati in precedenza descritti nel presente capitolo). Tali trattamenti, che risultano anche elencati nelle tabelle A e B dell'allegato A al DM 29 luglio 2004, n. 248 vengono di seguito riportati:

Tabella 9 – Trattamenti dei materiali contenenti amianto

TRATTAMENTI FINALIZZATI AL CONTENIMENTO DEL POTENZIALE INQUINANTE DEI RCA SENZA TRASFORMAZIONE DELLA STRUTTURA DELL'AMIANTO			
Trattamento	Principio	Volume del prodotto	Destinazione finale
condizionamento in matrice cementizia	Impasto con cemento ed eventuali additivi	Inferiore al volume iniziale	Discarica
Condizionamento in matrice di resine	Miscelazione con materiali polimerici	Superiore al volume iniziale	Discarica
TRATTAMENTI DI TRASFORMAZIONE DELLA STRUTTURA DELL'AMIANTO			
Trattamento	Principio	Volume del prodotto	Destinazione finale
Attacco chimico	Modificazione della struttura del rifiuto e precipitazione di sali non tossici	Aumento a seguito della formazione di fanghi di trattamento	Discarica Riutilizzo come materia prima
Litificazione	Fusione a temperature elevate (1.300-1.450 °C)	Inferiore al volume iniziale	Discarica Riutilizzo come materia prima
Litificazione pirolitica	Produzione di argilla espansa	Superiore al volume iniziale	Discarica Riutilizzo come materia prima
Vetrificazione	Fusione con additivi a	Inferiore al volume iniziale	Discarica

	temperature elevate (1.000-1.300 °C)		Riutilizzo come materia prima
Produzione di clinker	Fusione con calcare ed argilla	Inferiore al volume iniziale	Discarica Riutilizzo come materia prima
Ceramizzazione	Cottura a 800-1.000°C	Inferiore al volume iniziale	Discarica Riutilizzo come materia prima
Vetroceramizzazione	Fusione a 1.300°C Cristallizzazione a 900 °C	Inferiore al volume iniziale	Discarica Riutilizzo come materia prima
Trasformazioni meccanochimiche	Distruzione della struttura cristallina mediante stress meccanico	Inferiore al volume iniziale	Discarica Riutilizzo come materia prima

I processi di trattamento a freddo (ad esempio, solidificazione in matrice cementizia) ed i processi di vetrificazione, ceramizzazione, vetroceramizzazione sono stati già ampiamente trattati nelle pagine precedenti. Meritano, invece, un breve cenno di approfondimento i trattamenti di litificazione e di litificazione pirolitica.

Il primo prevede una fase di fusione compresa tra i 1.300 ed i 1.450 °C ed una fase di parziale cristallizzazione ottenuta per lento raffreddamento (in genere all'aria). Il prodotto ottenuto presenta, di solito, una durezza pari a 5-6 della scala Mohs, un elevato peso specifico (3,15 - 3,20 g/cm³) ed un'ottima resistenza meccanica sia alla compressione che alla trazione. Una variante del processo può prevedere la filatura del fuso. I materiali ottenuti dalla fusione sono, in sostanza, vetri contenenti fasi cristalline in quantità non rilevante (0-25%) e costituiti da ossidi di ferro, titanio, alluminio, e da silicati di magnesio, calcio, ferro ed alluminio. La componente vetrosa è invece molto simile ad un'ossidiana, composta quindi da un vetro silicatico ricco in ferro, calcio e alcali, spesso derivanti dai fondenti usati nella fusione.

Con il termine di litificazione pirolitica si indica, invece, la conversione di un qualunque prodotto, che subisce un processo pirolitico, in presenza di un materiale inorganico, in genere argilla. In conseguenza di tale processo la componente inorganica del prodotto si lega all'argilla dando luogo ad un prodotto solido, mentre la componente organica è decomposta partecipando alla combustione. I rifiuti contenenti amianto potrebbero, eventualmente, essere utilizzati nei processi di produzione di argilla espansa. La preparazione avviene attraverso quattro fasi principali: una fase di essiccazione, una di combustione, una di fusione parziale e una di raffreddamento.

La miscela viene inizialmente essiccata in una prima sezione di un forno di cottura mediante bruciatore diretto sull'impasto che porta la miscela a circa 300 °C. In questa fase si determina, in primo luogo, la perdita di acqua di assorbimento, quindi, dell'acqua interstrato ed infine dell'acqua di costituzione; ha, inoltre, inizio la demolizione della struttura cristallina dell'argilla.

Il materiale essiccato viene, quindi, trattato alla temperatura di circa 1.000 °C che provoca la combustione delle sostanze organiche; per effetto del rapido aumento di temperatura si ha un'espansione del granulo di argilla a seguito della fuoriuscita del gas generato dalla combustione dell'olio combustibile.

Man mano che la miscela avanza nel forno la temperatura raggiunge i 1.300-1.400 °C; i granuli che la compongono sono sottoposti ad un repentino aumento della temperatura ed alla conversione dello strato esterno in una fase plastica con successiva formazione di uno strato esterno vetroso.

Data la bassa conducibilità termica del materiale, permane un gradiente di temperatura fra questo strato e la parte più interna dei granuli e ciò consente di non portare a fusione l'intera massa che nel suo interno mantiene una struttura porosa. Ad alta temperatura le argille possiedono la capacità di fissare ioni metallici estranei alla struttura originale, sia per la sostituzione di ioni reticolari che per la formazione di nuovi composti cristallini o di soluzioni solide.

Se in miscela all'argilla viene aggiunto del materiale contenente asbesto (crisotilo, amosite, crocidolite ecc.) avvengono, data la grande reattività dell'argilla alle temperature comprese tra 650

°C e 950 °C, delle reazioni (cessione di elementi tra le varie fasi allo stato solido e a cristallizzazioni di fasi a se stanti come la cordierite, mullite ecc.) che portano alla formazione di fasi silicatiche.

E - Descrizione delle analisi elaborate in ambito comunitario per la individuazione delle BAT, con particolare riferimento, ove disponibili, alle conclusioni dei Bref.**E1 - Concetto generale di migliori tecniche e tecnologie per lo specifico settore**

Nel presente capitolo vengono riportate, in forma sintetica, le tecniche ed i processi che, ad oggi, consentono di pervenire alla maggiore minimizzazione dei quantitativi di inquinanti e degli impatti ambientali garantendo, nel contempo, l'utilizzo migliore e più sostenibile delle risorse economiche relativamente al trattamento chimico-fisico dei rifiuti solidi. L'individuazione di tali tecnologie si basa, in buona parte, su quanto riportato nel "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries".

I vantaggi del trattamento chimico-fisico dei rifiuti vanno valutati attraverso un'analisi ambientale costi benefici che tenga conto degli impatti totali evitati e di quelli aggiuntivi dovuti all'operazione in questione.

I criteri alla base della individuazione delle BAT sono:

1. il massimo rendimento degli impianti
2. il minimo rilascio di contaminanti
3. la minimizzazione dell'impatto ambientale
4. la valutazione della convenienza economica e dei costi – benefici.

La scelta delle tecnologie deve essere orientata alla individuazione di una destinazione definita e certa sia dei rifiuti in ingresso che dei flussi in uscita.

I processi realizzati dagli impianti devono garantire i livelli di qualità del materiale come richiesto dalle filiere di recupero a valle del trattamento e devono realizzarle con il minimo impatto complessivo.

Le prestazioni delle singole macchine componenti l'impianto nonché il tipo di processo adottato, devono essere definite in relazione alla qualità del materiale in ingresso e alla capacità di trattamento delle singole apparecchiature.

Ogni macchina o prodotto, deve essere impiegata per una specifica funzione dichiaratamente espressa nelle specifiche di fornitura: la semplificazione degli schemi di processo determina sempre un aumento di affidabilità complessiva e una maggiore costanza della produzione e quindi della qualità del prodotto.

Nella molteplicità degli approcci possibili è, in ogni caso, essenziale che le scelte progettuali e gestionali tengano conto delle condizioni poste al quadro operativo al contorno (localizzazione, capacità operative, tipologia di materiali trattati, ecc) affinché sia massimizzata l'efficacia del processo e minimizzati gli impatti ambientali.

Va dunque ricercata la coerenza tra:

1. tipologia della matrici da trattare
2. situazione territoriale
3. tecnologia di trattamento adottata
4. criteri gestionali.

E' importante sottolineare come la scelta della tecnologia da adottare debba comunque tenere conto di tutti gli altri fattori legati alla specificità locale, quali (a titolo esemplificativo e non esclusivo): il grado di meccanizzazione desiderato; la prevista disponibilità (in percentuale sulla miscela in ingresso) di materiale strutturale; le sinergie con iniziative operative di altro tipo (aziende zootecniche, piattaforme ecologiche, ecc.), il grado di presidio ambientale necessario, ecc.

E2 - Aspetti Tecnici e tecnologici dello specifico settore - Conclusioni del Bref.

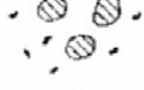
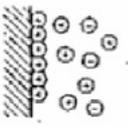
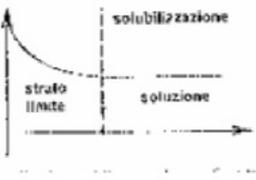
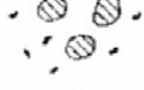
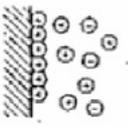
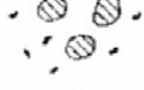
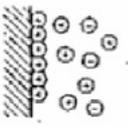
E2.1 –Processi di Trattamento chimico-fisico dei rifiuti solidi -Conclusioni del Bref

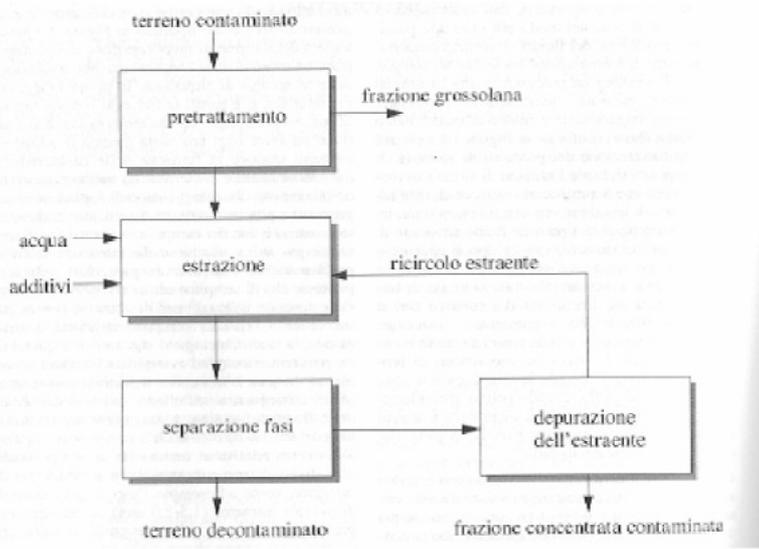
In linea di principio, tutte le opzioni di trattamento possono essere applicate ai rifiuti solidi, ma l'efficacia delle stesse e le caratteristiche del flusso uscente possono variare enormemente a seconda delle specifiche proprietà del rifiuto trattato e del sistema applicato.

Le opzioni di trattamento possono essere raggruppate nei seguenti sottogruppi:

1. estrazione e separazione
2. trattamento termico
3. separazione meccanica
4. inertizzazione (questo trattamento include la solidificazione e la stabilizzazione)
5. disidratazione
6. desorbimento

E2.1.1 - Estrazione e separazione

Estrazione e separazione																			
Scopo	Allontanamento dei contaminanti mediante l'utilizzo di un mezzo estraente																		
Principio base dell'operazione	La solubilizzazione dei composti e la loro rimozione con l'acqua.																		
Campo di applicazione	Trattamento di una vasta gamma di contaminanti (metalli pesanti, cianuri, IPA, PCB, pesticidi)																		
Descrizione del processo	<p>Il contaminante viene allontanato mediante l'utilizzo di un mezzo di estrazione che, una volta esercitata la sua funzione chimico-fisica a contatto con la matrice contaminata, viene convogliato verso un sistema avente lo scopo di concentrare e/o trattare il contaminante e, possibilmente, recuperare il mezzo di estrazione per il suo riciclo nel processo.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DI CONTAMINAZIONE</th> <th>MECCANISMO DI SEPARAZIONE</th> <th>FORMA FISICA DEI CONTAMINANTI SEPARATI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1) agglomerato </td> <td>sfrugamenti per taglio</td> <td>sospensione </td> </tr> <tr> <td>2) incrostazione su grani grossi </td> <td>urto</td> <td>dispersione </td> </tr> <tr> <td>3) incrostazione su grani piccoli </td> <td>abrasione fra grani</td> <td>dispersione </td> </tr> <tr> <td>4) strato oleoso </td> <td>desorbimento</td> <td>emulsione </td> </tr> <tr> <td>5) legame chimico </td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p></p> <p>Meccanismi Fisici e Chimico-Fisici alla base della Tecnologia di estrazione (Fonte: Andreottola et. al, 1992)</p>	TIPO DI CONTAMINAZIONE	MECCANISMO DI SEPARAZIONE	FORMA FISICA DEI CONTAMINANTI SEPARATI	1) agglomerato 	sfrugamenti per taglio	sospensione 	2) incrostazione su grani grossi 	urto	dispersione 	3) incrostazione su grani piccoli 	abrasione fra grani	dispersione 	4) strato oleoso 	desorbimento	emulsione 	5) legame chimico 		
TIPO DI CONTAMINAZIONE	MECCANISMO DI SEPARAZIONE	FORMA FISICA DEI CONTAMINANTI SEPARATI																	
1) agglomerato 	sfrugamenti per taglio	sospensione 																	
2) incrostazione su grani grossi 	urto	dispersione 																	
3) incrostazione su grani piccoli 	abrasione fra grani	dispersione 																	
4) strato oleoso 	desorbimento	emulsione 																	
5) legame chimico 																			

<p>Descrizione del processo</p>	<p>I meccanismi di estrazione possono essere applicati ex-situ (washing) o in-situ (flushing); il processo ex situ è di seguito schematizzato</p>  <p>Schematizzazione del processo di estrazione ex situ –Washing (Fonte: van der Ven, 1991, modificato)</p>
<p>Utilizzo</p>	<p>Sono state proposte diverse tecniche per i residui dei sistemi abbattimento fumi.</p>

E2.1.2 - Trattamenti termici

<p>Scopo</p>	<p>I trattamenti termici dei rifiuti derivanti dai processi di combustione sono utilizzati in modo esteso solo da pochi Paesi, principalmente al fine di ridurre il volume dei rifiuti e migliorarne le caratteristiche di percolazione.</p>
<p>Principio base dell'operazione</p>	<p>I trattamenti ad alta temperatura usano il calore al fine di fondere i rifiuti ed iniziare i processi di vetrificazione e ceramizzazione. I trattamenti termici possono essere raggruppati in tre categorie: vetrificazione, fusione, sinterizzazione. La differenza tra questi processi è correlata soprattutto alle caratteristiche e alle proprietà dei prodotti finali.</p>
<p>Campo di applicazione</p>	<p>I trattamenti termici si applicano efficacemente a terreni, fanghi e filtri per la rimozione di composti organici volatili e semi-volatili. Se presenti, possono essere rimosse anche alcune sostanze con punto di ebollizione più alto quali PCB e diossine.</p>
<p>Descrizione del processo</p>	<p>Il trattamento termico dei rifiuti, nella maggior parte dei casi, porta a materiali più omogenei e densi con un miglior comportamento dal punto di vista della percolazione. La vetrificazione aggiunge, inoltre, i benefici dell'incapsulamento fisico dei contaminanti in una matrice vetrosa. E' necessario un opportuno trattamento delle emissioni gassose. Elevate concentrazioni saline possono, inoltre, determinare fenomeni di corrosione dei sistemi di trattamento dei gas.</p>
<p>Utilizzo</p>	<p>La sinterizzazione non è utilizzata come opzione di trattamento dedicato per i rifiuti generati dai sistemi di controllo delle emissioni; esistono, comunque, alcuni metodi combinati che prevedono l'utilizzo anche di tale tecnica</p>

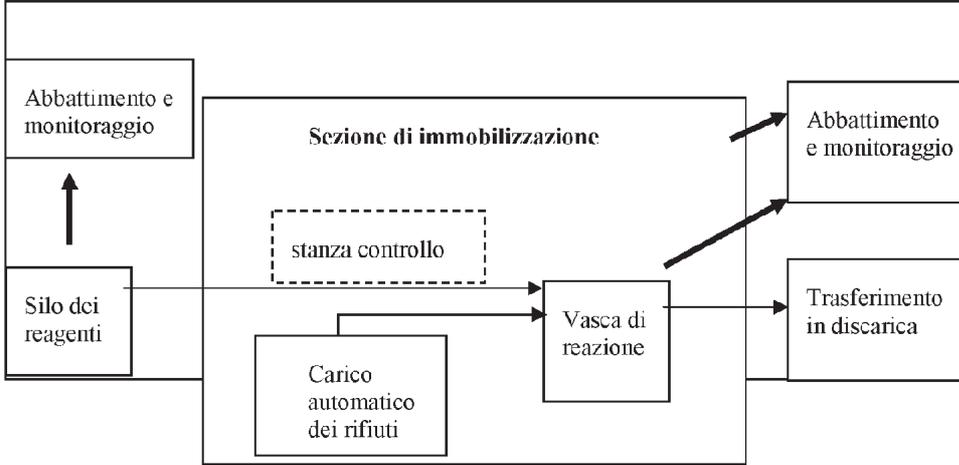
E2.1.3 - Separazione meccanica

<p>Scopo</p>	<p>Lo scopo del trattamento è quello di generare un prodotto inerte. Il trattamento è finalizzato alla riduzione del volume e della massa del rifiuto da smaltire. La raccolta e la cernita della frazione ferrosa fornisce materiale potenzialmente riutilizzabile. Il trattamento consente, inoltre, di ridurre l'immissione nell'ambiente di metalli pesanti, (ad esempio, arsenico).</p>
--------------	---

Principio base dell'operazione	L'applicazione del processo alle scorie derivanti dai processi di combustione consente di ottenere tre frazioni distinte: composti minerali, materiale incombusto e sfridi metallici. E' richiesta una riduzione dei metalli pesanti e dei composti solubili che risulta importante anche ai fini di un eventuale utilizzo del materiale dopo il trattamento. I componenti idrosolubili sono i principali costituenti delle scorie. L'input di una tonnellata di rifiuti urbani genera circa 250-350 kg di scorie. I tipici componenti delle scorie sono: cloruro, arsenico, piombo, cadmio, rame, minerali e sfridi ferrosi.	
Descrizione del processo	RICEZIONE	Ispezione d'ingresso screening Pre-pessatura
	TRATTAMENTI PRINCIPALI	pressatura
		triturazione
		vagliatura
		Rimozione metalli ferrosi
		Rimozione altri metalli
	STOCCAGGIO	Omoeginizzazione quantificazione

E2.1.4 - Inertizzazione

Scopo	Lo scopo dell'inertizzazione è quello di modificare le caratteristiche chimico-fisiche del rifiuto al fine di renderne possibile lo smaltimento in sicurezza minimizzando il tasso di migrazione dei contaminanti verso l'ambiente c/o ridurre il loro livello di tossicità.	
Principio base dell'operazione	L'inertizzazione si basa sulle proprietà del reagente di produrre un rifiuto immobilizzato in una matrice solida. Va rilevato che il processo può, talvolta, risultare reversibile e le sostanze immobilizzate possono essere rilasciate in seguito a miscelazione con altre tipologie di rifiuto. Sono state sviluppate due tipologie di processi, note come: stabilizzazione e solidificazione.	
	La stabilizzazione	E' un processo in cui i contaminanti (es. metalli pesanti) sono completamente o parzialmente legati grazie all'aggiunta di basi di supporto, leganti o altri modificatori. La stabilizzazione viene effettuata mescolando il rifiuto con un reagente (particelle di argilla, sostanze umiche organiche, quali la torba, e carboni attivi) che consente di minimizzare il tasso di migrazione dei contaminanti, riducendo quindi la tossicità del rifiuto e facilitandone la gestione in discarica. A tal fine il processo deve, ovviamente, garantire una trasformazione chimico-fisica del rifiuto e non una semplice diluizione dello stesso. Nel trattamento dei metalli si può ottenere sia una precipitazione dei relativi sali sia la formazione di legami tra metallo e minerali per assorbimento. Il processo include una sorta di solubilizzazione dei metalli pesanti presenti nel rifiuto ed una successiva precipitazione o assorbimento nei nuovi minerali.
	La solidificazione	Sfrutta l'utilizzo di additivi per cambiare le proprietà fisiche del rifiuto. Il termine solidificazione (e incapsulamento o fissazione) si riferisce alla miscelazione di rifiuti con un reagente (cenere polverizzata, cemento, calce, scoria fornace, polvere da fornace cementizia, leganti organici quali bitume/asfalto o paraffina e polietilene) per produrre un rifiuto solido (con matrice caratterizzata da bassa permeabilità e bassa porosità) destinato allo smaltimento in discarica. L'aggiunta di cemento diminuisce, generalmente, la conducibilità idraulica e la porosità del residuo. Si ha, di solito, un aumento del pH e della capacità alcalina della miscela e, quindi, del comportamento lisciviante del materiale derivante dal trattamento. In alcuni casi, a seconda del legante, la solidificazione può generare cambiamenti chimici della matrice residua.

Campo di applicazione	<p>Questa tecnologia è efficacemente applicabile alla maggior parte dei rifiuti inorganici tra cui:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ rifiuti liquidi e fangosi contenenti componenti inorganici (ad esempio, metalli pesanti) e tracce di composti organici non solubili (ad esempio, idrocarburi policiclici aromatici) ▪ rifiuti solidi ed essiccati contenenti sostanze inorganiche (in questo caso è richiesta l'idratazione del rifiuto) quali, ad esempio: terreni contaminati e filter cakes, rifiuti a basso contenuto di idrocarburi non solubili, scorie, miscele di rifiuti solidi e liquidi contaminate da metalli pesanti (Cu, Pb, Cd, Hg, Cr, ecc.), residui dalla dechlorazione delle emissioni degli inceneritori di rifiuti urbani. <p>In genere i rifiuti che non risultano idonei a questo tipo di trattamento sono i rifiuti contenenti composti tossici, volatili o esplosivi.</p> <p>Il prodotto di risulta dalla solidificazione viene, in genere, smaltito direttamente in discarica così come il rifiuto finale solidificato (ad esempio, in blocchi). I punti chiave del trattamento sono: l'idoneità del rifiuto, il controllo di processo, le emissioni generate e le caratteristiche del materiale finale.</p>
Descrizione del processo	<p>Il processo comprende, in genere, lo stoccaggio dei reagenti, una vasca di reazione, ed, in alcuni casi, l'aggiunta di acqua. La figura seguente, tratta dal "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries", mostra una schematizzazione di un tipico processo di immobilizzazione.</p>  <p>Molti metodi di stabilizzazione comprendono una prima fase di lavaggio, dove la maggior parte dei sali solubili, ed in parte i metalli, sono estratti prima della reazione chimica dei restanti elementi metallici. Questi metodi sono completati dalla disidratazione del prodotto stabilizzato, che risulta in tal modo pronto per lo smaltimento in discarica.</p>
Utilizzo	<p>La tecnica di inertizzazione maggiormente utilizzata è la stabilizzazione con cemento. L'inertizzazione è, in genere, applicata nella bonifica dei siti contaminati da rifiuti pericolosi e nella gestione dei residui derivanti da processi di trattamento dei rifiuti (es. ceneri da trattamento termico).</p>

E2.1.5 – Disidratazione dei fanghi

Scopo	<p>La disidratazione dei fanghi è finalizzata ad aumentare il contenuto di materiale secco producendo un rifiuto "solido" più facilmente gestibile.</p>
Principio base dell'operazione	<p>Una disidratazione superiore al 10% richiederà preliminarmente una forma di condizionamento chimico per favorire il processo di disidratazione. Esiste una vasta gamma di flocculanti polimerici ad alto peso molecolare che sono particolarmente efficaci nel migliorare la performance della disidratazione. Il trattamento produce un fango compatto, costituito per il 20-50% da materiale solido. I costi generali di smaltimento si riducono nel caso in cui la frazione liquida non richieda, o richieda in minima parte, processi addizionali per la rimozione di contaminanti.</p>
Campo di applicazione	<p>La disidratazione si applica al trattamento dei fanghi.</p>

Descrizione del processo	Esistono varie tecniche di disidratazione e la scelta dipende dalla natura dei solidi prodotti e dal livello di disidratazione del fango richiesto. Si citano, ad esempio: <ul style="list-style-type: none"> • filtropresse (concentrazione di fanghi: 20-50%¹); • nastropresse: (concentrazione di fanghi: 15-30%¹); • centrifughe (concentrazione fanghi: 3-8%¹). A causa delle forze di torsione si può verificare la rottura del particolato solido; • filtri a tamburo (concentrazione di fanghi: 3-4%; 15-30% in caso di trattamento sotto vuoto¹)
Utilizzo	Nel maggior parte dei casi per la disidratazione dei fanghi vengono utilizzate filtropresse. La frazione acquosa viene successivamente inviata, prima dello scarico in fognatura, a processi di chiarificazione o a sistemi di flottazione DAF (dissolved air flotation). I solidi in eccesso vengono rinviati alle vasche di trattamento.

Note: ¹Fonte: Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste and Water Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector

E2.1.6 - Desorbimento termico

Scopo	La separazione dei composti volatili dal rifiuto solido.
Principio base dell'operazione	Le temperature operative tipiche sono 175-370 °C, ma, in generale, possono essere impiegate temperature da 90 a 650 °C. Il desorbimento termico promuove la separazione fisica dei componenti.
Campo di applicazione	Il desorbimento termico viene efficacemente utilizzato per la rimozione di composti organici volatili e semivolatili da terreni, fanghi e sistemi filtranti. Se presenti, possono essere rimosse anche alcune sostanze con punto di ebollizione più alto quali PCB e diossine. I composti inorganici non sono rimossi facilmente con questo tipo di processo, sebbene alcuni metalli relativamente volatili quali il mercurio possano essere volatilizzati. Non si arriva, in genere, a temperature tali da determinare l'ossidazione dei metalli.
Descrizione del processo	Il suolo viene analizzato per rimuovere oggetti di dimensioni comprese tra 4 e 8 cm di diametro. Lo scambio di calore diretto o indiretto vaporizza i composti organici e produce un gas che viene trattato prima dell'emissione in atmosfera. Possono essere utilizzati i seguenti desorbitori: essiccatore rotante, essiccatore per aggregati d'asfalto, essiccatore a vite, forno alimentato a nastro trasportatore. I sistemi di trattamento includono: unità di processo sia fisse che mobili; essiccatori per aggregati d'asfalto. I sistemi mobili sono quelli più diffusi, grazie al minor costo relativo al trasporto, nel caso di trattamento di suoli contaminati.
Utilizzo	Prevalentemente per suoli contaminati.

E2.2 - Migliori tecniche e tecnologie di trattamento chimico-fisico dei rifiuti solidi

Nel presente paragrafo vengono riportate le conclusioni del "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries" sulla individuazione delle migliori tecniche di trattamento chimico – fisico dei rifiuti solidi (BAT).

E2.2.1 – Operazioni preliminari

Pretrattamento prima dell'immobilizzazione

Descrizione	Il pretrattamento prima dell'immobilizzazione consiste, essenzialmente, nel lavaggio/lisciviazione dei sali con acqua e, nel pretrattamento chimico-fisico dei metalli (specialmente l'insolubilizzazione dei metalli anfoteri).
Benefici ambientali attesi	Questo processo produce un materiale ad alta resistenza meccanica e bassissima permeabilità. L'immobilizzazione riduce la produzione di percolato da parte del rifiuto in uscita e quindi la potenziale contaminazione dovuta ai composti solubili presenti nel percolato.
Dati operativi	Il processo è più sofisticato della semplice solidificazione.
Applicabilità	I rifiuti che contengono cromati, i metalli anfoteri quali Pb e Zn ed i rifiuti con sali solubili necessitano di un pretrattamento prima di essere sottoposti al processo di immobilizzazione. Questo pretrattamento consente il trattamento delle ceneri leggere e dei sali generati da dechlorazione dei fumi derivanti dall'incenerimento di rifiuti urbani. Può essere applicato anche alle ceneri leggere derivanti sia dal trattamento dei fumi con calce sia dal trattamento con bicarbonato di sodio. In quest'ultimo caso, vengono dissociate le componenti solide solubili e insolubili, ridotta la massa di rifiuto conferita in discarica e riciclati i sali solubili.
Aspetti economici	I costi di investimento sono più alti del semplice processo di solidificazione.

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

Estrazione dei metalli pesanti e dei sali con soluzioni acide

Descrizione	<p>Sono disponibili diverse tecniche che prevedono l'estrazione mediante l'utilizzo di acidi; alcune di tali tecniche vengono di seguito riportate:</p> <ul style="list-style-type: none"> • processo di estrazione con acidi: prevede l'estrazione combinata di metalli pesanti solubili e sali attraverso l'utilizzo degli scarichi liquidi acidi degli scrubber. Prima di utilizzare tali liquidi, il mercurio deve essere rimosso per filtrazione e/o per scambio ionico. Il processo di estrazione può essere vantaggiosamente applicato al trattamento delle ceneri. Il rapporto liquido/solido nella fase di estrazione è, in genere, pari a 4 ed il pH è mantenuto intorno al valore di 3,5 mediante l'aggiunta di calce idrata. Con tempi di residenza di almeno 45 minuti è possibile effettuare la precipitazione dei solfati (derivanti dall'anidride solforica degli scrubber) sotto forma di gesso. Il residuo solido viene successivamente disidratato, lavato in controcorrente ed, infine, avviato a discarica, generalmente in miscela con le ceneri pesanti. Il filtrato deve essere trattato al fine di rimuovere i metalli pesanti per neutralizzazione, precipitazione e scambio ionico. • Estrazione acida combinata con trattamento termico: la prima fase prevede il lavaggio delle ceneri con la soluzione proveniente dal primo stadio di trattamento negli scrubber ad umido; successivamente il rifiuto solido viene trattato in forno a tamburo rotante, alla temperatura di 600 °C, per circa un ora in modo da garantire la distruzione della maggior parte dei composti organici e la volatilizzazione del mercurio. Il gas esausto deve essere avviato ad apposito filtro a carbone attivo e il refluo liquido deve essere trattato al fine di garantire la rimozione dei metalli pesanti. La soluzione derivante dal secondo stadio di trattamento in scrubber (basica) viene utilizzata per il lavaggio delle ceneri pesanti e per la neutralizzazione degli effluenti acidi del processo. • Processo di estrazione acida con solfuro: il processo prevede, in primo luogo, la miscelazione delle ceneri leggere, della soluzione basica (NaOH) proveniente dagli scrubber, e di acqua in rapporto liquido/solido pari a 5. Dopo la miscelazione si opera la correzione del pH a valori compresi tra 6 ed 8, mediante l'aggiunta di HCl, in modo da garantire l'estrazione dei metalli pesanti che vengono fatti reagire, nella stessa soluzione, con NaHS portando alla formazione dei solfuri metallici. Viene, quindi, addizionato un opportuno agente flocculante ed il fango così ottenuto è sottoposto a disidratazione. Il precipitato è smaltito in discarica e il refluo liquido è sottoposto ad ulteriore trattamento finalizzato alla rimozione dei metalli pesanti ancora solubilizzati.
Benefici ambientali attesi	Mediante i processi di estrazione è possibile rimuovere frazioni significative dei metalli pesanti presenti nel rifiuto (Cd e Zn $\geq 85\%$, Pb e Cu $\geq 33\%$, Hg $\geq 95\%$). La tendenza alla lisciviazione è, inoltre, ridotta di un fattore pari a 10^2-10^3 .
Effetti cross-media	Si può riscontrare un aumento del contenuto di diossine nelle ceneri pesanti qualora queste vengano smaltite assieme alle ceneri provenienti dal trattamento di estrazione con soluzioni acide
Applicabilità	Questo tipo di trattamento è attuabile solo presso impianti di incenerimento dotati di sistemi di trattamento ad umido dei gas esausti autorizzati allo scarico delle acque reflue prodotte
Aspetti economici	Il costo di trattamento è, attualmente, stimabile in circa 150-250 Euro/t
Impianti esistenti	Il primo impianto è entrato in funzione nel 1996. Sono operativi sei impianti in Svizzera ed un impianto nella Repubblica Ceca.

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

E2.2.3 - Attività di laboratorio

Descrizione	<p>Alcune tecniche da considerare riguardo alle attività di laboratorio includono:</p> <ul style="list-style-type: none"> • dotare l'impianto di un laboratorio di analisi. • Applicare un controllo di qualità (compresi i test di cessione), che includa uno screening dei rifiuti per evitare che questi contengano sostanze inibitrici del processo. Per ogni flusso di rifiuti, dovrebbero essere eseguite prove in laboratorio finalizzate ad ottimizzare il processo di miscelazione e la quantità di assorbenti/leganti da aggiungere. Ogni test di laboratorio deve tener conto degli effetti connessi alle differenti tipologie di rifiuti trattati nello stesso ciclo e deve valutare il tempo di permanenza minimo all'interno della vasca di reazione. Deve essere tenuto un registro dei dati riguardanti i test condotti e le tipologie di rifiuti testati. • Specificare i tempi necessari per il campionamento e le prove di laboratorio. Questi tempi saranno comprensivi di quelli necessari per l'ottenimento di un prodotto stabile. • Specificare le modalità di trattamento dei rifiuti non adatti al trattamento chimico – fisico previsto. • Seguire gli standard CEN per i test di cessione sui costituenti inorganici o gli standard CEN per i test a lungo termine per i rifiuti monolitici. • Devono essere seguite procedure di accettazione del rifiuto in ingresso all'impianto inclusi test di cessione su ogni carico prima del trattamento, per confermare livelli previsti nella fase di pre-accettazione per le sostanze individuate come indicatori. • Analizzare i seguenti gruppi di composti che possono causare problemi nel conferimento in discarica: Cl, solfati, F, Pb, Zn, Cd, Ni, Cr totale, idrocarburi, fenoli, IPA, PCB, Cr(VI), As, Hg, CN.
Raggiungimento dei benefici ambientali	La presenza di un laboratorio sul posto è essenziale per monitorare il flusso e garantire l'ottenimento di un buon prodotto finale.

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

E2.2.4 - Inertizzazione

BAT	<p>Occorre:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Definire un range accettabile delle caratteristiche del rifiuto che può essere effettivamente trattato dal processo. Questo range determinerà l'efficienza del processo nell'immobilizzare le sostanze chimiche in questione per assicurare un materiale finale che risponda a determinati requisiti. • Dimensionare in modo appropriato le vasche di reazione per tutti i processi di immobilizzazione. • Condurre i processi in vasche di reazione controllate. Le vasche devono essere dimensionate in modo da garantire il corretto rapporto tra rifiuti e reagenti/leganti ed il raggiungimento di una sufficiente miscelazione (e un tempo di residenza adeguato) dei reagenti. • Effettuare un opportuno monitoraggio del sistema. • Applicare le opportune procedure di accettazione del rifiuto. • Promuovere misure finalizzate a limitare l'uso di reagenti polverulenti. • Restringere l'applicabilità ai rifiuti non contenenti composti organici volatili o odorigeni. • Impiegare metodi di caricamento controllati e al chiuso. • Miscelare i reagenti e i rifiuti impiegando agitatori o sistemi di miscelazione all'interno della vasca di miscelazione. • Utilizzare un alimentatore a vite, a gravità o pneumatico per controllare i sistemi di trasferimento dei reagenti e dei rifiuti. • Utilizzare serbatoi di pre-miscelazione per i liquidi ed i fanghi pompabili. • Utilizzare tubazioni per convogliare i reagenti alla vasca di miscelazione • Impiegare sistemi di estrazione dimensionati tenendo conto degli elevati volumi di aria da rimuovere (grandi dimensioni delle aree di miscelazione e di carico e scarico). È necessario dimensionare questi sistemi anche in previsione di altre possibili fonti di emissione, oltre che per fronteggiare eventuali situazioni di emergenza • Prevedere un sistema di abbattimento centrale verso cui convogliare il flusso di aria, dimensionato tenendo conto dei valori di picco della portata d'aria che si verificano in condizioni di carico e scarico. • Stabilire in dettaglio le metodologie di trattamento e smaltimento delle sostanze utilizzate per l'abbattimento delle emissioni • Tenere un regolare programma di manutenzione e ispezione sul posto, che includa:
-----	---

	<ul style="list-style-type: none"> ○ sostituzione delle vasche interrate o parzialmente interrate senza contenimento secondario con strutture fuori terra; ○ sostituzione delle strutture senza contenimento secondario. ● Promuovere procedure e tecniche in grado di ottimizzare il trattamento chimico-fisico ed il controllo dello stesso (ad esempio, prevedere reazioni di neutralizzazione in fase liquida) ● Assicurare il completo svolgimento delle reazioni di neutralizzazione in fase solida ● Utilizzare tecnologie con leganti idraulici in particolare per: <ul style="list-style-type: none"> ○ fissazione del mercurio come HgS e Hg₃(SO₄)₂ ○ fissazione dei metalli come fanghi di idrossidi metallici (es. Zn, Pb, Cu, Cr, Cd), composti insolubili e mediante solidificazione ○ riduzione del cromo esavalente in condizioni basiche (es. con FeSO₄) con conseguente precipitazione e solidificazione ○ fissazione dei composti organici dei fanghi dell'industria chimica, contenenti solfati e sali organici, seguita da precipitazione dei solfati per garantire l'ottenimento di una struttura stabile, ad esempio mediante l'aggiunta di argilla come assorbente ○ trattamento dei residui ad alto contenuto di arsenico (es da industria chimica e metallurgica o dal trattamento dei minerali) con ossidazione dell'As (III) seguita da stabilizzazione e solidificazione ● Valutare la possibilità di migliorare la qualità del prodotto finale mediante l'utilizzo di appositi additivi ● Non fare affidamento unicamente ai processi di stabilizzazione per lo smaltimento dei rifiuti che non trovano altra forma di trattamento o il cui incenerimento risulta troppo costoso. Tali rifiuti includono: cianuri solidi, agenti ossidanti, agenti chelanti, rifiuti ad alto tenore di COD, rifiuti contenenti solventi a basso punto di infiammabilità e bombole di gas.
Benefici ambientali attesi	<p>Aumento delle prestazioni ambientali del processo di immobilizzazione. La stabilizzazione è un processo a freddo e quindi non richiede energia. Il rifiuto in uscita da queste tecnologie generalmente possiede buone caratteristiche chimico-fisiche e un buon comportamento dal punto di vista della percolazione. Dal momento che si tratta di un processo a freddo, l'inquinamento atmosferico, anche dovuto ai fumi, è minore. Nel prodotto finale può essere raggiunta una permeabilità all'acqua pari a 3.7×10^{-11} m/s nel caso in cui venga utilizzato cemento come agente immobilizzante. I reagenti/leganti sono principalmente rifiuti (ceneri leggere da centrali elettriche, scorie da acciaierie, residui da fornaci di cemento).</p>
Effetti cross-media	<p>Il rapporto rifiuto in uscita/rifiuto in entrata è, in genere, compreso tra 1,2 e 2,4 in peso e tra 0,9 e 1,4 in volume. Il processo porta, quindi, ad un aumento di peso e ad un leggero aumento di volume.</p> <p>Al fine di impedire o, comunque, limitare le emissioni di composti organici volatili i rifiuti contenenti tali composti dovrebbero essere trattati in reattori chiusi e i COV non soggetti alla solidificazione dovrebbero essere avviati ad opportuno trattamento (ad esempio, in scrubber). Tale fase può consentire di evitare un doppio trattamento del rifiuto (ad esempio, desorbimento termico per la rimozione dei COV seguito da stabilizzazione/solidificazione).</p> <p>Va rilevato che l'immobilizzazione non permette di ridurre il contenuto dei contaminanti presenti nel rifiuto ma determina semplicemente una alterazione della composizione chimica per effetto di specifiche reazioni. I composti organici, ad esempio, non sono, in genere, immobilizzati dal trattamento ma vengono solamente adsorbiti. Il rifiuto in uscita è, quindi, da considerarsi non stabile per lunghi periodi ed i composti possono essere rilasciati, ad esempio, in seguito a percolamento.</p>
Dati di esercizio	<p>Questa tecnica è di facile applicazione e rappresenta un processo relativamente semplice. Il consumo energetico è basso. Quando viene utilizzato cemento come materiale per la stabilizzazione il rapporto tra rifiuto da trattare e cemento utilizzato è tra 1:3 e 1:4 a seconda del tipo di rifiuto.</p>
Applicabilità	<p>Queste tecnologie sono molto efficaci nel trattamento di rifiuti inorganici o di rifiuti inorganici contenenti piccole quantità di composti organici non solubili in acqua. Con questa tecnica, possono essere trattati una vasta gamma di rifiuti (liquidi, solidi, molti inquinanti chimici, ceneri, ecc.). I rifiuti contenenti cromati, metalli anfoteri quali Pb e Zn e rifiuti che contengono alcuni sali solubili, necessitano di un pre-trattamento prima di essere sottoposti al processo di immobilizzazione. Tra i rifiuti che non sono adatti al processo di inertizzazione vi sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● rifiuti infiammabili o altamente infiammabili ● rifiuti contenenti sostanze volatili ● agenti ossidanti ● rifiuti odorosi

	<ul style="list-style-type: none"> • rifiuti contenenti rifiuti organici altamente solubili • rifiuti contenenti molibdeno • rifiuti contenenti sali inorganici solubili
Aspetti economici	I processi a freddo richiedono in genere semplici attrezzature e sono caratterizzati da bassi costi sia di investimento che di gestione.
Linee guida per l'implementazione	La semplice diluizione o l'assorbimento, senza che ad essi sia associato un cambiamento fisico-chimico, non è un processo di trattamento accettabile. Per esempio, l'assorbimento di un liquido sulla segatura, cosicché non si ha più un rifiuto liquido, non è accettabile come pretrattamento prima del conferimento in discarica.

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

E2.2.5 - Solidificazione con cemento

Descrizione	<p>I rifiuti sono miscelati con cemento Portland, additivi (per controllare le proprietà del cemento) ed acqua in un quantitativo sufficiente ad assicurare lo svolgimento delle reazioni di idratazione necessarie affinché il cemento leghi. I rifiuti sono quindi incorporati nella matrice cementizia. La tecnica di solidificazione a base cementizia si basa sull'utilizzo di attrezzature facilmente disponibili sul mercato. La miscelazione e la gestione associate al processo sono ben sviluppate e note. Il prodotto solidificato può essere conferito in discarica.</p>							
Benefici ambientali attesi	<p>Il principale vantaggio della solidificazione con cemento sta nel ridotto contatto tra l'acqua e i residui e, nella possibile formazione di composti meno solubili quali: idrossidi di metallo e carbonati. Il prodotto solidificato è relativamente semplice da maneggiare e il rischio di formazione di polveri e di rilascio di metalli pesanti nel breve termine è molto basso. Tuttavia gli alti valori di pH caratteristici dei sistemi a base cementizia possono determinare il rilascio di metalli anfoteri (Pb e Zn).</p>							
Effetti cross-media	<p>Lo svantaggio di questo metodo risiede nel fatto che non viene impedito il rilascio dei sali solubili e questo può eventualmente causare la disintegrazione fisica del prodotto solidificato, causando un'ulteriore percolazione. L'aggiunta di cemento e additivi aumenta la quantità di rifiuto da gestire; in genere, infatti, viene addizionata una quantità di cemento e additivi corrispondente al 30-50% circa del peso secco del rifiuto in ingresso oltre ad una quantità di acqua compresa tra il 30% ed il 100% del peso secco totale. Il peso del rifiuto in uscita può, pertanto, risultare superiore da 20-30 kg/t fino a 40-60 kg/t rispetto al peso del rifiuto in entrata, considerando un'aggiunta di acqua pari a circa il 50% del peso secco totale.</p>							
Dati di esercizio	<p>Il consumo di acqua e di energia è variabile e non è quantificato. Il funzionamento e il controllo delle apparecchiature utilizzate da questa tecnologia sono relativamente semplici e comparabili alle procedure standard nell'industria del cemento.</p>							
Applicabilità	<p>La solidificazione è tipicamente attuata in impianti dedicati ubicati nelle vicinanze del luogo di destinazione finale del rifiuto. La tecnica può essere utilizzata su tutti i rifiuti derivanti dal trattamento delle emissioni gassose. La solidificazione con cemento è stata, inoltre, utilizzata su diverse altre tipologie di rifiuti pericolosi.</p>							
Aspetti economici	<p>I costi di trattamento per la sola solidificazione con cemento sono stimati intorno ai 25 euro per tonnellata di rifiuto.</p>							
Linee guida per l'implementazione	<p>La tecnica è relativamente semplice da utilizzare ed inoltre è ben nota. Le caratteristiche del percolato del prodotto solidificato possono essere considerevolmente migliorate rispetto al rifiuto non trattato. La stabilizzazione dei residui APC attraverso la solidificazione con cemento è stata ed è ancora considerata accettabile da molte autorità nei diversi Paesi del mondo.</p>							
Esempi di impianti	<p>La tecnica rappresenta, probabilmente, il metodo più comunemente utilizzato per la gestione dei rifiuti derivanti dai sistemi di trattamento delle emissioni gassose ed è molto diffusa in Europa. Le principali tipologie di solidificazione con cemento utilizzate in alcuni Paesi Europei sono elencate nella tabella sottostante (fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries")</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Paese</th> <th>Caratteristiche</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Austria</td> <td>È operativo, presso Vienna, un impianto di solidificazione con cemento di ceneri e scorie derivanti dai processi di incenerimento dei rifiuti urbani.</td> </tr> <tr> <td>Germania</td> <td>Diverse compagnie di estrazione del sale in Germania ricevono rifiuti derivanti dal trattamento delle emissioni gassose ed effettuano su questi la solidificazione con cemento utilizzando poi i residui come materiale di riempimento e di rinforzo. La solidificazione con cemento è, per alcune miniere, realizzata in un impianto centrale che utilizza diverse miscele a seconda della destinazione finale e delle richieste. Dall'impianto centrale di solidificazione, il prodotto è poi trasportato alla miniera ricettrice.</td> </tr> </tbody> </table>		Paese	Caratteristiche	Austria	È operativo, presso Vienna, un impianto di solidificazione con cemento di ceneri e scorie derivanti dai processi di incenerimento dei rifiuti urbani.	Germania	Diverse compagnie di estrazione del sale in Germania ricevono rifiuti derivanti dal trattamento delle emissioni gassose ed effettuano su questi la solidificazione con cemento utilizzando poi i residui come materiale di riempimento e di rinforzo. La solidificazione con cemento è, per alcune miniere, realizzata in un impianto centrale che utilizza diverse miscele a seconda della destinazione finale e delle richieste. Dall'impianto centrale di solidificazione, il prodotto è poi trasportato alla miniera ricettrice.
Paese	Caratteristiche							
Austria	È operativo, presso Vienna, un impianto di solidificazione con cemento di ceneri e scorie derivanti dai processi di incenerimento dei rifiuti urbani.							
Germania	Diverse compagnie di estrazione del sale in Germania ricevono rifiuti derivanti dal trattamento delle emissioni gassose ed effettuano su questi la solidificazione con cemento utilizzando poi i residui come materiale di riempimento e di rinforzo. La solidificazione con cemento è, per alcune miniere, realizzata in un impianto centrale che utilizza diverse miscele a seconda della destinazione finale e delle richieste. Dall'impianto centrale di solidificazione, il prodotto è poi trasportato alla miniera ricettrice.							

	Svizzera	In Svizzera viene utilizzata una variante della solidificazione con cemento in cui i rifiuti sono lavati con acqua, in un rapporto liquido solido pari a 2:1, e, successivamente, essiccati prima della miscelazione con cemento. In tal modo viene rimossa la maggior parte dei sali solubili, con conseguente maggiore longevità del materiale solidificato. Dopo la solidificazione, i rifiuti sono depositati in discarica a livello superficiale, prima dell'indurimento. In alcuni impianti, la miscela è gettata in stampi per produrre blocchi che vengono successivamente trasportati in discarica.
	Svezia	In una discarica in Svezia (Ilogdalan), i rifiuti derivanti dal trattamento delle emissioni gassose vengono solidificati con cemento in blocchi e, dopo l'indurimento, posizionati nella discarica stessa a livello superficiale.

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

Tabella 10 – Prestazioni connesse all'utilizzo di diversi reagenti nei processi di solidificazione in funzione delle sostanze contenute nel rifiuto.

Componenti del rifiuto	Reagenti a base di cemento	Reagenti a base di pozzolana	Reagenti termoplastici	Reagenti a base di polimeri organici
Composti organici non polari: <ul style="list-style-type: none"> • olio e grasso • idrocarburi aromatici • idrocarburi alogenati • PCB 	Possono ostacolare la sedimentazione e la successiva solidificazione. Diminuzione della durezza nel lungo periodo. Si può avere emissione di sostanze volatili nella fase di miscelazione.	Possono ostacolare la sedimentazione. Diminuzione della durezza nel lungo periodo. Si può avere emissione di sostanze volatili nella fase di miscelazione.	Possibile vaporizzazione dei composti organici per effetto riscaldamento.	Possono ostacolare la sedimentazione e la successiva solidificazione.
Composti organici polari: <ul style="list-style-type: none"> • fenoli • alcoli • acidi organici • glicoli 	I fenoli ritardano in modo significativo la solidificazione e causano una diminuzione della durezza sia nel breve che nel lungo periodo.	I fenoli ritardano in modo significativo la solidificazione e causano una diminuzione della durezza sia nel breve che nel lungo periodo. Gli alcoli possono ritardare la solidificazione.	Possibile vaporizzazione dei composti organici per effetto riscaldamento	Non vi sono effetti significativi sulla solidificazione.
Acidi: <ul style="list-style-type: none"> • acido cloridrico • acido fluoridrico 	Non vi sono significativi effetti sulla solidificazione. Il cemento neutralizza gli acidi. Il cemento Portland tipo II e IV garantisce maggiore durezza rispetto al cemento di tipo I. Efficacia del trattamento dimostrata	Non vi sono effetti significativi sulla solidificazione. Efficacia del trattamento dimostrata	Possono essere neutralizzati prima dell'incorporazione.	Possono essere neutralizzati prima dell'incorporazione. L'utilizzo di urea formaldeide si è dimostrato efficace
Ossidanti come: <ul style="list-style-type: none"> • ipoclorito di sodio • permanganato di potassio • acido nitrico • bicromato di potassio 	Compatibile	Compatibile	Può causare la rottura della matrice. Rischio incendi.	Può causare la rottura della matrice. Rischio incendi
Sali quali: <ul style="list-style-type: none"> • solfati • composti alogenati • nitrati 	Aumenta il tempo di solidificazione. Diminuisce la durezza. I solfati possono ritardare la solidificazione e causare	Gli alogenuri sono rilasciati facilmente e ritardano la solidificazione. I solfati possono ritardare o accelerare	I solfati e gli alogenuri possono causare disidratazione e reidratazione a causa delle spaccature.	Compatibile

Componenti del rifiuto	Reagenti a base di cemento	Reagenti a base di pozzolana	Reagenti termoplastici	Reagenti a base di polimeri organici
<ul style="list-style-type: none"> cianuri 	fratture se non vengono utilizzate particolare tipologie di cemento. I solfati possono accelerare reazioni collaterali	le reazioni.		
Metalli pesanti: <ul style="list-style-type: none"> piombo cromo cadmio arsenico mercurio 	Compatibile. Può aumentare il tempo di solidificazione. Processo efficace in determinate condizioni	Compatibile. Processo efficace per determinati composti (Pb, As, Cr)	Compatibile. Efficacia dimostrata su alcune specie (Cu, As, Cr)	Compatibile. Processo efficace su arsenico.

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

E2.2.6 - Stabilizzazione con fosfato

Descrizione	Il processo si basa sulla stabilizzazione chimica con fosfato. Il trattamento è relativamente semplice e prevede l'utilizzo di un mezzo di miscelazione (simile all'impastatrice per argilla) in cui vengono inseriti i reagenti nelle opportune proporzioni. Nel miscelatore viene poi aggiunto fosfato solubile. Avvenuta la miscelazione, un trasportatore posto all'uscita del miscelatore rimuove il prodotto trattato. In alcuni casi, a seconda delle caratteristiche del rifiuto in ingresso, vengono utilizzati anche altri additivi quali la calce. Le cinetiche di reazione sono veloci ed il rifiuto può ritenersi completamente trattato senza necessità di ulteriori trattamenti.
Raggiungimento dei benefici ambientali	I sali vengono trattenuti nel rifiuto in uscita. Rispetto agli altri processi in questo caso viene aggiunta una quantità di acqua relativamente bassa. Il rilascio di metalli e sali in discarica è, in genere, maggiore rispetto a quelli degli altri processi di trattamento.
Effetti cross-media	Il processo non produce acque reflue. Si può avere formazione di percolato dopo la messa in discarica a causa dell'aumentata solubilità di alcuni metalli pesanti (es. Pb e Cd).
Dati di esercizio	Le quantità specifiche di acqua e fosfato, così come quelle di altri eventuali additivi, possono variare a seconda delle caratteristiche del rifiuto.
Applicabilità	Il trattamento rappresenta una integrazione dei processi di incenerimento; esso può essere anche condotto in impianti centralizzati in grado di trattare i rifiuti provenienti da diversi inceneritori. Il processo è stato inizialmente ideato per il trattamento dei residui derivanti dall'incenerimento dei rifiuti urbani, ma è stato testato ed utilizzato anche su altre tipologie di rifiuto (es. suoli contaminati, scorie, fanghi, ecc).
Aspetti economici	Il costo relativo al trattamento di rifiuti derivanti dai sistemi di abbattimento delle emissioni gassose si aggira, attualmente, intorno ai 15 Euro/t. Oltre a questo, è richiesto un diritto di 5-10 euro/ton per l'uso del progetto brevettato. I costi di investimento possono variare dai 150.000 ai 500.000 Euro in funzione delle apparecchiature già presenti nell'impianto
Linee guida per l'implementazione	La ragione principale per l'implementazione di questa tecnica risiede nella sua semplicità di funzionamento.
Esempi di impianti	Il processo è al momento utilizzato in USA, Giappone e Taiwan presso 90 impianti di incenerimento di rifiuti urbani che trattano, annualmente, più di 2 milioni di tonnellate di ceneri pesanti e rifiuti derivanti dai sistemi di abbattimento delle emissioni gassose.

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

E2.2.7 - Trattamento termico dei rifiuti solidi

Descrizione	Questa tecnica include la vetrificazione e la fusione dei rifiuti solidi, già analizzate in precedenza. Diverse sono le tecniche che possono essere utilizzate per riscaldare i rifiuti: sistemi elettrici, sistemi con bruciatori a combustibile e sistemi a scoppio. Questi differiscono solo nel modo in cui viene trasferita l'energia ai rifiuti. Generalmente le tecniche si ispirano alle fornaci utilizzate nella produzione di ferro e acciaio.
-------------	--

Benefici ambientali attesi	<p>A seconda del sistema di fusione, è possibile recuperare le leghe metalliche dalla camera di reazione. Inoltre, in funzione della temperatura nella camera stessa e dello stato di ossidazione o riduzione della fase gassosa, i metalli pesanti (specialmente Cd e Pb) possono essere volatilizzati e rimossi con i gas uscenti. Tutte le configurazioni di processo necessitano di sistemi di abbattimento dei gas per minimizzare le emissioni. Un vantaggio connesso all'utilizzo di questa tipologia di trattamento è legato alla distruzione degli inquinanti organici, ad es. diossine. Gli impianti di trattamento termico in genere riducono il volume dei residui di circa il 30-50% rispetto al volume in entrata. La fusione aumenta la densità dei prodotti a circa 2,4-2,9 t/m³.</p> <p>I prodotti di fusione e i prodotti vetrificati possiedono, in genere, buone proprietà di ritenzione, ma alcuni studi mostrano che i prodotti sinterizzati raggiungono circa lo stesso livello di stabilità rispetto alla ritenzione. I prodotti derivanti dalla vetrificazione sono, generalmente, caratterizzati da maggior stabilità e densità.</p>					
Effetti cross-media	<p>Uno dei maggiori svantaggi di questi metodi è connesso alla loro elevata richiesta energetica. La vetrificazione e la fusione portano alla mobilitazione di elementi quali Hg, Pb e Zn; tali processi sono, in genere, condotti in combinazione con altri trattamenti al fine di produrre un prodotto riciclabile con un basso contenuto in metalli pesanti. A causa del rilascio di metalli pesanti durante il processo, il trattamento termico richiede un sistema aggiuntivo di trattamento delle emissioni. Il processo determina, inoltre, la produzione di rifiuti solidi derivanti dal trattamento dei gas. D'altra parte, i metalli possono essere recuperati dal processo ed, in alcuni, i prodotti vetrificati possono essere riciclati.</p>					
Dati di esercizio	<p>Generalmente viene utilizzato un quantitativo di energia pari a 700-1.200 kWh/t di rifiuto trattato per raggiungere e mantenere la temperatura necessaria per lo svolgimento del processo, sebbene siano stati rilevati anche valori superiori a 8.000 kWh/t. Il consumo di energia e le modalità operative variano in funzione della tipologia di impianto.</p>					
Applicabilità	<p>In genere, il rifiuto in entrata deve rispettare alcuni requisiti, quali ad esempio: contenuto di acqua <5%, contenuti di incombusti <3%, contenuto in metalli <20% sul peso e dimensioni delle ceneri <100 mm. Il processo termico è ampiamente utilizzato nel trattamento di ceneri pesanti e di miscele di ceneri pesanti e rifiuti derivanti dal trattamento delle emissioni gassose. Questi ultimi contengono, in genere, elevate concentrazioni di sali e metalli pesanti e la loro gestione separata può richiedere un trattamento estensivo dei gas con conseguente riduzione dei benefici generali legati al trattamento stesso.</p>					
Aspetti economici	<p>La tecnica è generalmente abbastanza costosa rispetto alle altre opzioni di trattamento. Il costo indicato è, infatti, dell'ordine dei 100-500 Euro/t di rifiuto trattato. I costi di investimento si aggirano intorno ai 20 milioni di Euro per un impianto con capacità pari a 1 - 1,5 t/ora.</p>					
Linee guida per l'implementazione	<p>La ragione principale per l'implementazione della tecnica è data dalle buone capacità di ritenzione del prodotto finale e dalla significativa riduzione in volume. I composti organici quali diossine e furani sono quasi completamente distrutti.</p>					
Esempi di impianti	Paese	Caratteristiche				
	USA	Un processo di vetrificazione include fasi iniziali quali estrazione acqua, essiccamento a 500°C prima dell'aggiunta di additivi vetrosi e fusione. L'iniziale lavaggio ed essiccazione sono eseguiti allo scopo di rimuovere i cloruri e il carbonio organico residuo.				
	Giappone	Gli impianti per il trattamento termico delle ceneri pesanti e dei residui APC includono:				
		Tipo	Tecnologia	In funzione	Progettato	Capacità [ton/giorno]
		Fusione elettrica:	Arco elettrico	4	2	655
			Plasma elettrico	4	2	183
			Resistenza elettrica	2	3	148
		Bruciatore	Superficie riflettente	12		209
			Superficie rotante	5		84
		Fusione a scoppio:	coke bed	3		2.20
Combustione del carbonio residuale			1		15	
Totale		31	7	1464		

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

E2.2.8 - Tecniche da considerare per il trattamento delle scorie

Descrizione	<p>I punti che seguono descrivono le misure generali che possono essere prese in considerazione per migliorare la qualità delle scorie ai fini di un loro riutilizzo, ad esempio, dopo incenerimento o dopo processi di essiccamento. Questi includono:</p> <ul style="list-style-type: none"> • separazione delle scorie dagli altri prodotti dei processi di combustione quali filtri e polveri di caldaia, al fine di ridurre la frazione dei metalli pesanti • evitare la miscelazione delle scorie provenienti da diverse sorgenti • re-incenerire il materiale organico non completamente incenerito • essiccare le scorie (la scoria è essiccata comunemente con la messa in stoccaggio per un periodo di tempo pari a 2 – 4 settimane): questo processo richiede una base di appoggio solida (quale una superficie cementizia) e un sistema di raccolta degli effluenti • utilizzo di un processo di lavaggio preliminare per ridurre la probabile presenza della frazione delle scorie solubili in acqua • separazione delle scorie metalliche • eliminazione dalla scoria delle frazioni fini (tali frazioni potrebbero, altrimenti, essere rilasciate molto facilmente nel percolato) • analisi dell'eluato e dei solidi per individuare la destinazione finale del materiale (recupero c/o smaltimento in discarica).
Benefici ambientali attesi	Migliora le qualità delle scorie e può, quindi, favorire recupero.

E.2.3 Aspetti tecnici e tecnologici dei presidi ambientali

Nei processi di trattamento chimico fisico si possono avere diverse sorgenti di emissioni di gas, polveri e vapori (movimentazione dei rifiuti, operazioni di trattamento, operazioni di laboratorio).

L'abbattimento del particolato deve essere condotto mediante trattamenti a secco e/o ad umido. Le fasi a secco, se non seguite da lavaggio, devono prevedere l'impiego di filtri a maniche; qualora esse siano, invece, seguite da lavaggio, una prima depolverazione potrà essere condotta con cicloni. Il lavaggio delle emissioni, con acqua o soluzioni acquose, deve avvenire in colonne con o senza riempimento oppure in venturi-scrubber. Per i fluidi di lavaggio deve essere previsto il riciclo ed il controllo delle operazioni di spurgo e di reintegro.

Le apparecchiature elettromeccaniche dell'impianto devono essere collocate in locali confinati posti sotto aspirazione. Qualora all'interno dei locali sia prevista la presenza di personale, il sistema di aspirazione deve essere dimensionato sulla base dei ricambi d'aria necessari a preservare la salubrità dell'ambiente lavorativo. In assenza di personale, deve essere garantita almeno una leggera depressione.

Nel caso di impianti di vetrificazione la progettazione della linea di trattamento delle emissioni deve essere volta alla rimozione di metalli, SO_x, cloruri, NO_x. La linea di trattamento, in conseguenza dell'alta temperatura del flusso gassoso che si libera dal forno di vetrificazione, deve disporre preliminarmente di una fase di raffreddamento rapido mediante un flussaggio di acqua. Il trattamento delle emissioni: COV, NH₃, sostanze maleodoranti, vapore acqueo, dalle fosse di prima raccolta dell'inertizzato deve essere condotto con una o più fasi di assorbimento con reazione chimica e/o con biofiltrazione. Le fosse di raccolta devono essere confinate e mantenute in leggera depressione.

E3 - Aspetti ambientali**E.3.1 Impatto sull'ambiente**

Nell'analisi degli impatti dovuti al trattamento chimico fisico dei rifiuti si deve considerare:

- emissioni/impatti odorigeni generati nelle diverse fasi del processo
- le emissioni di rumori
- la movimentazione dei mezzi
- la produzione di polveri e particolato fine
- il consumo di acqua e i reflui
- consumo energetico
- la produzione di rifiuti connessa a queste attività
- inserimento territoriale e paesaggistico.

In generale i suddetti impatti si manifestano effettivamente solo in corrispondenza di una deficitaria progettazione, realizzazione o gestione degli impianti, pertanto possono essere efficacemente prevenuti o ridotti mediante l'adozione di particolari accorgimenti costruttivi, di opportuni dispositivi di abbattimento degli inquinanti ed, infine, tramite una corretta gestione di tutte le attività connesse all'impianto.

Analizzando i benefici ambientali degli impianti di trattamento chimico-fisico dei rifiuti solidi, va sottolineato che i processi di stabilizzazione/solidificazione consentono di ottenere un prodotto caratterizzato da:

- minimo rilascio di sostanze inquinanti nel percolato che costituisce la via principale di diffusione nell'ambiente degli inquinanti presenti nei rifiuti confinati in discarica; con l'inertizzazione viene minimizzata soprattutto la possibilità di rilascio di metalli pesanti (per raggiungere questo obiettivo è necessario che i rifiuti da sottoporre a inertizzazione non abbiano un contenuto di TOC superiore al 10% in modo da prevenire l'evoluzione di processi di fermentazione anaerobica che, portando allo sviluppo di acidi grassi a catena breve, potrebbe causare la solubilizzazione dei metalli nel percolato; la stabilizzazione con additivi quali cemento e calce impedisce solo in parte i fenomeni di fermentazione)
- facile manipolabilità
- aggregazione di particelle fini in materiale con pezzatura più grossolana e conseguente eliminazione di polveri; viene, quindi, impedita la diffusione nell'ambiente di composti organici a elevato punto di ebollizione, normalmente adsorbiti sulle particelle solide più fini.

E3.2 - Emissioni negli impianti di trattamento chimico – fisico dei rifiuti solidi

Nella tabella seguente sono riportate le possibili emissioni dagli impianti di trattamento chimico - fisico dei rifiuti solidi tratte dal "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries".

Le diverse emissioni dipendono dalla tipologia di rifiuti in ingresso agli impianti e dai diversi sistemi di abbattimento adottati.

Tabella 11 - Emissioni derivanti dal trattamento chimico fisico dei rifiuti solidi e dei fanghi

Sezione di trattamento	Aria	Acqua	Rifiuti
Filtrazione/pressatura	Ammoniaca e VOC se vi è un alto contenuto di sostanza organica nei rifiuti		
Sezione di immobilizzazione	Emissioni dal sistema di ventilazione; emissioni durante il trasferimento del rifiuto dal reattore di miscelazione alla movimentazione fuori impianto e dalla fuoriuscita attraverso le porte di accesso durante il caricamento della vasca di reazione		
Miscelazione fanghi	particolato e VOC, in particolare		

Sezione di trattamento	Aria	Acqua	Rifiuti
	se si verifica una reazione esotermica		
Gestione fanghi (es. pressatura e stoccaggio)	VOC, gas dalla soluzione		
Solidificazione	possibile emissione di particolato		
Sistemi di carico del rifiuto automatizzati	VOC, polvere emissioni osmogene durante il trasferimento del rifiuto e del reagente		
Reattori	Le emissioni che si verificano sono dovute a reazione tra sostanze incompatibili. Reazioni incontrollabili dovute a dosaggio non corretto dei reagenti o alla formazione di "hot spots" nella miscela	Perdite da apparecchiature mantenute in cattivo stato o danneggiate	Perdite da apparecchiature mantenute in cattivo stato o danneggiate
Silo dei reagenti	Polveri dai sili dei reagenti. Fughe gassose dai sistemi di connessione dei sili e polveri provenienti dallo stoccaggio dei reagenti		

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

Emissioni derivanti dai processi di desorbimento termico

Le emissioni dei processi di desorbimento termico dipendono dalla tipologia di rifiuti trattati, dal processo di desorbimento utilizzato e dai sistemi di abbattimento delle emissioni. Le sorgenti delle emissioni possono essere diverse e anche esse dipendono dal tipo di processo utilizzato.

Ad esempio, un sistema di riscaldamento a combustibile utilizza, generalmente, propano, gas naturale o olio combustibile; se come sistema di abbattimento delle emissioni si utilizzano filtri a manica, scrubber e sistemi di adsorbimento su carbone attivo i gas esausti conteranno piccole quantità dei contaminanti inizialmente presenti, e i prodotti delle possibili reazioni chimiche. Anche i volumi dei gas in uscita dipendono dal tipo di trattamento utilizzato. In tabella 12 sono riportati alcuni valori, indicativi, relativi alle emissioni dei processi di desorbimento termico.

Tabella 12 - Emissioni dal processo di desorbimento termico

	Portate di gas (Nm ³ /h)	Inquinanti
Riscaldamento diretto	17.000-85.000	VOC
Riscaldamento indiretto	1.700-8.500	VOC

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

I possibili punti di emissione sono, invece, riportati nella seguente tabella.

Tabella 13 - Punti di emissione dal processo di desorbimento termico

Inquinanti	Fonti di inquinamento
Perdite	<ul style="list-style-type: none"> - escavazione di suoli contaminati - nastri di carico, tramogge di carico - gas esausti da sistemi di riscaldamento, trattamento suoli, polveri dal sistema di controllo del particolato, olio non trattato dalla separazione olio/acqua, carbonio esausto dalla fase liquida o vapore dal sistema di adsorbimento
Materiale particolato, ossidi di azoto (NO _x), monossido di carbonio (CO), gas acidi	<ul style="list-style-type: none"> - Combustione - Pirolisi
Diossine furani e fenoli	

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

Tabella 14 - Caratteristiche delle emissioni di un essiccatore di aggregato di asfalto

Parametro	Concentrazione iniziale (ppm) ^a	Concentrazione finale (ppm) ^a	Efficienza (%)	Gas in uscita ^b concentrazione
PM		700-1.000 mg/Nm ³		
Benzene	0,11-39,5	<0,01-0,06	84,5-99,9	4,3-8,6 ppmd
Toluene	0,27-<2	<0,01-0,1	n/a	0,6-0,8 ppmd
M,p-xilene	<0,8-<03	0,2-1,2	<75	0,42-3,5 ppmd
o-xilene	3,1-15,6	<0,01	99,7-99,9	
xilene totale	13,1	0,1	99,2	
etilbenzene	0,11	<0,01	>90	
THC	39-393	5,7-9,5	85-97,5	129-2.800 ppm
VOC		0,045-2,27 kg/h		
diesel	1.875	<1	>99,9	
naftalenc				5.136-6.757 µg/Nm ³
acenaftilene				634-901 µg/Nm ³
acenaftene				317-638 µg/Nm ³
fluorantene				405-763 µg/Nm ³
fenantrene				385-645 µg/Nm ³
antracene				<1,4-427 µg/Nm ³
fluorantrene				24-135 µg/Nm ³
pirene				32-111 µg/Nm ³

Note: ^adati determinati su due o tre impianti a seconda del parametro

^bdati determinati su due impianti dotati, per il trattamento delle emissioni gassose, di scrubber ad umido e ciclone.

Le emissioni dei VOC derivanti dalle operazioni di essiccamento degli aggregati di asfalto variano di diversi ordini di grandezza a seconda dell'utilizzo o meno di postcombustori come dispositivi di controllo delle emissioni. Tali sistemi di trattamento non prevedono il controllo dei VOC ad eccezione di quelli modificati ai fini del trattamento dei suoli contaminati.

Sono state condotte anche stime relative ad emissioni derivanti dal trattamento di suoli contaminati in essiccatori di aggregati di asfalto. Questi sistemi sono costituiti da un inceneritore a tamburo rotante che opera a temperature comprese tra 290-540 °C. Al fine di limitare le emissioni di materiale particolato vengono utilizzati cicloni e filtri a manica. L'utilizzo di sistemi di ossidazione termica consente di eliminare i composti organici nei gas esausti, con efficienze comprese tra il 99%-99,9% e con una velocità di processo di 32-54 t/h.

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

Tabella 15 - Emissioni stimate di alcuni composti derivanti dalla decontaminazione di suoli da PCB tramite il processo di desorbimento termico

Inquinante	Unità di misura	Tempo di residenza (minuti)	Temperature (°C)	Concentrazione iniziale	Concentrazione finale	Velocità di emissioni non controllate (g/h)	Velocità di emissione stimata (g/h)
PCB	ppm	19	550	37,5	2	1,14	5,68*10 ⁻²
2,3,7,8 TCDD	ppb	40	560	260	0,018	0,008	4,16*10 ⁻⁴
	ppb	19	560	236	0,018	0,007	3,78*10 ⁻⁴
	ppb	10,5	560	266	0,018	0,008	4,26*10 ⁻⁴
	ppb	24	460	233	0,5	0,007	3,72*10 ⁻⁴
	ppb	5,6	550	48	0,084	0,001	7,67*10 ⁻⁵
	ppb	20	555	56	0,23	0,001	8,92*10 ⁻⁵

Efficienza media stimata: 95%

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

Emissioni dal processo di estrazione dai terreni contaminati (washing)

Nel processo di lavaggio dei suoli le fasi di escavazione, manipolazione, preparazione ed estrazione del terreno sono possibili fonti di emissione; inoltre i rifiuti prodotti possono dar luogo ad emissioni di VOC.

La fase di recupero del solvente tramite evaporazione ed altre fasi di trattamento dei solventi sono possibili fonti di emissioni in atmosfera.

I flussi di rifiuti generati dal suddetto processo sono rispettivamente: il suolo contaminato separato dalle acque di lavaggio, le acque reflue, i fanghi e i rifiuti solidi provenienti dal trattamento delle acque reflue. Si hanno, inoltre, emissioni in atmosfera.

Tabella 16 – Emissioni derivanti da un impianto di trattamento di lavaggio di suoli contaminati (capacità dell'impianto: 68.000 t/anno)

Emissione in acqua	Concentrazione (mg/l)
Solidi sospesi	60
BOD ₅	25
COD	350
Nitriti (NO ₂ -N)	10
P totale	2
Cr totale	0,3
Cu	0,5
Hg	0,05
Ni	0,3
Pb	0,3
Zn	2
Residui del processo	
Fanghi	
Altre frazioni residue	IPA e ossidi metallici

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

E3.3 Produzione dei rifiuti negli impianti di trattamento chimico-fisico

Gli impianti di trattamento chimico fisico necessitano di accorgimenti tecnici e di applicazioni tecnologiche volte alla riduzione delle emissioni, rappresentate da polveri, gas e sostanze osmogene, reflui di processo, rifiuti solidi, rumore. Le specifiche emissioni degli impianti dipendono anche dalla tipologia di rifiuti trattati.

I diversi flussi di rifiuti prodotti dai trattamenti chimico fisici generalmente sono da destinarsi in discarica. Sono di seguito riportati i flussi di rifiuti prodotti come riportati nel "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries".

Rifiuti solidi e fanghi derivanti dal trattamento di stabilizzazione/solidificazione

Il materiale derivante dal trattamento di stabilizzazione/solidificazione ha, in genere, lo stesso contenuto in metalli e composti organici del rifiuto di origine, ma è caratterizzato da una minore tossicità e solubilità dei diversi composti.

La permeabilità all'acqua del rifiuto stabilizzato dipende da diversi fattori (ad esempio, natura del rifiuto, natura e quantitativo di reagente addizionato per la stabilizzazione, ecc.) e può, in generale, variare tra 10^{-9} e 10^{-12} m/s

Le ceneri pesanti e le scorie, dopo essere state sottoposte ad inertizzazione, possono essere riutilizzate, se rispondenti a determinati parametri e con opportune misure di sicurezza, nei modi seguenti:

- nella costruzione di strade parcheggi, aeroporti e porti; al fine di evitare fenomeni di percolamento è comunque necessaria la presenza di uno strato impermeabile di asfalto o

- calcestruzzo al di sotto dello strato di ceneri/scorie
- nella costruzione di argini stradali o di pareti insonorizzanti; in tal caso è importante che siano rispettate condizioni idrogeologiche specifiche; ad esempio, deve essere, comunque, presente uno strato di argilla o di terriccio di spessore pari ad almeno 2 m affinché sia garantita la protezione della falda acquifera da possibili contaminazioni. Deve, inoltre, essere presente una superficie minerale impermeabile ($d > 0,5$ m e $k_f < 10^{-8}$)
 - il riutilizzo in prossimità di corpi idrici di importanza rilevante ed in zone idrogeologicamente sensibili deve essere accertato caso per caso mediante opportune ispezioni e verifiche.

Nelle tabelle 17 e 18 vengono riportati i valori riscontrati in ceneri pesanti dopo il trattamento chimico-fisico relativi ad alcuni parametri di una certa rilevanza.

Tabella 17 – Presenza di metalli nelle ceneri pesanti dopo il trattamento chimico-fisico (analisi condotta sul solido)

Metallo	Concentrazione minima ¹	Concentrazione media ¹	Concentrazione massima ¹
As	0	0,074-0,15	0,187
Cd	0,0008	0,0037-0,01	0,0167
Cr	0,067	0,172-0,6	0,726
Cu	0,150	0,6-6,826	29,781
Hg	0	0,01-0,07	0,37
Ni	0,023	0,165-0,6	0,661
Pb	0,19	1-1,222	4,063
Tl	0		
Zn	0,470	1,5-2,970	14,356

Note:¹unità di misura: g/kg ad esclusione del Hg la cui concentrazione è espressa in mg/kg

Il valore 0 sta ad indicare una concentrazione inferiore al limite di rilevabilità

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

Tabella 18 – Analisi dell’eluato di ceneri pesanti dopo il trattamento chimico-fisico

Parametro	Concentrazione minima ¹	Concentrazione media ¹	Concentrazione massima ¹
Cl	29		
Solfati	43		
CN totale	0		
Indice di fenolo	0		
As	1,3	5,3	16,1
Cd	0	0,8	5
Cr	0	15,2	200
Cu	0	60,7	300
Hg	0	<0,2	1
Ni	0	2,9	40
Pb	0	11,4	59
Tl	2		
Zn	0	19,4	300

Note:¹unità di misura: microgrammi/litro ad esclusione del Hg la cui concentrazione è espressa in mg/kg

Il valore 0 sta ad indicare una concentrazione inferiore al limite di rilevabilità

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

Rifiuti dal trattamento di lavaggio dei suoli (soil washing)

Generalmente i rifiuti prodotti dal processo di washing dei suoli possono essere riutilizzati nell'edilizia (cementifici, impianti per la produzione di asfalto) o come materiali di riempimento dopo essere stati sottoposti ad opportuni controlli di qualità.

Le diverse frazioni che è possibile ottenere possono essere suddivise nel modo seguente:

- frazione grossolana: ghiaia fine 2-20 mm e ghiaia grossolana 20-80 mm
- sabbie: sabbie di dimensioni comprese tra 60 µm e 2 mm
- frazione organica residuale (>60 micrometri) generalmente tale frazione viene smaltita in discarica tal quale o dopo opportuno trattamento se necessario (stabilizzazione/solidificazione) od avviata ad altro trattamento se richiesto (desorbimento termico, incenerimento).

Rifiuti dal processo di escavazione del terreno

Il processo di escavazione può determinare una diminuzione del contenuto di umidità dell'ordine del 35-56% e della densità di bulk del 13% circa.

E3.4 - Aspetti ambientali: analisi dei rischi

Una efficace valutazione dei rischi comprende le seguenti fasi:

- l'individuazione delle potenziali fonti di rischio/pericolo
- la valutazione della probabilità di accadimento dell'evento negativo
- la valutazione delle conseguenze dell'evento negativo
- la valutazione del rischio definito operativamente
- la discussione del risultato ottenuto valutando quest'ultimo in relazione alle ipotesi semplificative adottate nei modelli valutativi.

E3.4.1- I fattori di rischio

I potenziali problemi concernenti la salubrità e la sicurezza che ricorrono presso le stazioni di trattamento chimico fisico dei rifiuti solidi includono:

- l'esposizione degli addetti e della popolazione residente nell'area circostante l'impianto:
 - alle polveri (ad esempio, cemento, silice od altro) disperse sotto forma di aerosol
 - ad eventuali sostanze chimiche tossiche che si possono generare nel corso del trattamento
 - ai rumori
 - al contatto con le sostanze pericolose contenute nei rifiuti
 - alle emissioni osmogene
- l'impatto ambientale dovuto, in genere, alla movimentazione dei rifiuti in ingresso ed in uscita dall'impianto ed allo stoccaggio dei rifiuti stessi
- le vibrazioni connesse all'utilizzo di compattatori, presse, e di mezzi adibiti alla movimentazione dei materiali
- rischi di infiltrazioni nella falda acquifera
- rischi di inquinamento del suolo e dell'aria
- rischi di incidenti connessi all'utilizzo di macchine ed apparecchiature.

Tutti i possibili impatti devono essere opportunamente valutati in fase di progettazione e realizzazione dell'impianto e devono essere limitati ricorrendo ad un'appropriata scelta delle strutture, degli spazi e delle procedure operative, nonché attraverso un'adeguata formazione del personale.

E3.4.2 - Misure di prevenzione e protezione

Il controllo delle possibili emissioni di polveri e di aerosol deve essere pianificato già a livello di progettazione delle strutture impiantistiche e di organizzazione delle operazioni gestionali. Queste misure consentono di ridurre i rischi a carico del personale addetto agli impianti e possono riassumersi nei seguenti punti:

1. garantire l'umidificazione dei materiali polverulenti stoccati in ingresso ed in uscita dal processo di trattamento
2. prima di effettuare qualsiasi movimentazione dei rifiuti, sia in ingresso che in uscita, bisognerà predisporre un controllo di qualità degli stessi, nel rispetto anche delle procedure ADR per il trasporto dei rifiuti al di fuori dell'impianto.
3. dotare di adeguata pavimentazione le superfici di lavoro e di viabilità interna dell'impianto
4. proteggere i lavoratori con accorgimenti che privilegino misure di protezione e prevenzione di tipo collettivo piuttosto che quelle di tipo individuale (DPI), dall'esposizione alle polveri in coincidenza delle operazioni maggiormente causa di rischio di esposizione, usando, ove possibile, macchine operatrici a cabina chiusa e climatizzata.

In aggiunta ai suddetti accorgimenti, gli addetti all'impianto dovrebbero essere ben informati circa i potenziali rischi dovuti alla manipolazione dei rifiuti.

E 3.4.3 - L'inquinamento acustico

Per l'attenuazione dei livelli sonori nelle zone di lavoro e conseguentemente, nell'area esterna all'impianto possono essere, inoltre, adottati una serie di accorgimenti quali:

- utilizzo di apparecchiature silenziose
- applicazione di rivestimenti e carenature
- posizionamento dei macchinari su supporti antivibranti e/o lubrificati
- utilizzo di griglie fonoassorbenti per prese d'aria esterne (motori)
- completa chiusura degli edifici
- l'impiego di portoni ad apertura/chiusura rapida.

F - Approfondimento, ove necessario, delle tecniche analizzate nel BRef comunitario e definizione, ove possibile, del range di prestazione delle diverse tecniche.

In questo capitolo verranno presentate alcune delle tecniche di uso invalso nel settore preso in considerazione in queste linee guida.

I processi che hanno avuto un discreto sviluppo su scala industriale sono quasi esclusivamente basati sull'impiego di cemento/silicati e di calce e possono essere classificati in:

- *trattamenti di cementazione a base neutra (basica)*
- *trattamenti di cementazione a base acida*
- *trattamenti a base di calce.*

F.1 - Trattamenti di cementificazione a base neutra

F 1.1 Processo CHEMIFIX

Il processo, che utilizza cemento e silicati liquidi ha avuto diffusione soprattutto negli USA.

Il trattamento è costituito dalle seguenti fasi:

1. Raccolta fanghi pompabili e stoccaggio rifiuti palabili. In sede di ricevimento, dopo i controlli di qualità, i fanghi pompabili vengono inviati alle vasche di raccolta dove subiscono un pretrattamento di grigliatura mentre i rifiuti palabili vengono inviati in un'opportuna zona di stoccaggio
2. Accumulo ed omogeneizzazione. Tale fase riguarda i soli rifiuti pompabili ed ha lo scopo di garantire una certa costanza di qualità nell'alimentazione del reattore. La vasca, munita di carroponte dotato di agitatori, svolge anche una funzione di polmone durante le fermate dell'impianto
3. Stabilizzazione/solidificazione. Dalla fase di omogeneizzazione i rifiuti liquidi vengono inviati al reattore (costituito da un cilindro rotante) a mezzo pompaggio, mentre i rifiuti palabili vi pervengono tramite una benna mobile sostenuta da un carroponte. Il dosaggio del cemento avviene a monte del reattore mentre il dosaggio dei silicati liquidi avviene a valle prima del pompaggio alla solidificazione. La quantità di reagenti impiegata rappresenta globalmente circa il 30% in peso del rifiuto da trattare (20- 25% di cemento e 5-7% di silicati liquidi). Prima dell'invio alla solidificazione, la miscela viene sottoposta ad un trattamento di raffinazione con eliminazione del materiale grossolano e del ferro separato mediante un nastro magnetico
4. Maturazione. Il rifiuto ancora allo stato liquido viene pompato alle vasche di consolidamento dove permane per 30 giorni circa dopodiché viene inviato alla discarica controllata. Le reazioni che avvengono in questa sezione sono molto complesse e si possono distinguere in tre fasi. Nella prima, molto rapida, avviene la reazione tra i silicati solubili e gli ioni dei metalli polivalenti che dà origine a silicati insolubili. Nella seconda reagiscono tra di loro i silicati solubili e l'agente che provoca la presa. Si produce così un materiale gelatinoso che impedisce ai solidi presenti di decantare. La terza reazione avviene tra gli additivi aggiunti ai silicati e i rifiuti, dando origine a fenomeni di idrolisi, idratazione e neutralizzazione.

Il processo è applicato su rifiuti solidi, liquidi e fangosi di natura essenzialmente inorganica.

Le prove di lisciviazione, effettuate allo scopo di valutare la cessione dei principali inquinanti (essenzialmente metalli) hanno condotto ai risultati analitici riportati nella tabella che segue.

Tabella 19 - Caratteristiche di eluati da prove di lisciviazione condotte su di un fango inertizzato col processo CHEMFIK

Costituenti	Fango grezzo Analisi (p.p.m)	Acqua distillata	H2SO4 pH= 1,0.	HCl pH= 1,0	HNO3 pH= 3,0	Acido Acetico; pH=3,0
Cromo	103					
Rame	121					
Ferro	10.800					
Manganese	122			<0.10		
Nickel	212					
Zinco	2.200					
Fenolo	1,0					

Relativamente alla stabilità del rifiuto inertizzato in condizioni ambientali reali, sono state raffrontate le caratteristiche dell'eluato subito dopo il trattamento e dopo 20 mesi di esposizione del campione agli agenti atmosferici, senza rilevare variazioni nelle concentrazioni dei principali metalli.

Agli effetti del rilascio è da rilevare che, mentre gli idrossidi dei metalli pesanti sono poco solubili in un intervallo di pH piuttosto limitato, i silicati presentano una bassa solubilità nell'intervallo di pH che va da 2 a 9. Il materiale è tipo terriccio ed è adatto a riempire cave, ricoprire e formare strati intermedi di discariche vista la proprietà di ridurre la quantità degli inquinanti nei percolati. Tale riduzione si ottiene mediante neutralizzazione, scambio ionico, filtrazione ed adsorbimento.

F 1.2 Processo LITOSINTESI

Prevede l'impiego di cemento e silicati liquidi (in soluzione al 33%) che vengono aggiunti in sequenza (nella fase di reazione) all'impasto da inertizzare.

Il trattamento è costituito dalle seguenti fasi:

- conferimento rifiuti - Questa fase è realizzata su due linee distinte (rifiuto palabile e pompabile) e in essa avvengono i controlli di qualità (analisi del contenuto di cromo, cianuri, ecc.)
- Deferrizzazione - In tale fase avviene la raffinazione del fango mediante asportazione dei materiali ferrosi con sistemi magnetici
- Frantumazione e pulizia finale - Il fango viene compresso e spappolato tra due cilindri mentre i corpi non frantumabili vengono raccolti in un cassonetto
- Preparazione dell'impasto da inertizzare - Il fango palabile viene miscelato con il fango pompabile: si ottiene un impasto omogeneo dell'umidità voluta. Prima di essere espulso dal mescolatore l'impasto viene grigliato (fori ϕ 20 mm) per migliorare l'effetto di mescola e per eliminare eventuali corpi estranei
- Stoccaggio impasto da inertizzare - Il fango in forma pastosa viene inviato in silos di stoccaggio
- Raffinazione dell'impasto - Il fango viene ulteriormente raffinato facendolo passare attraverso un laminatoio a cilindri con distanza di, passaggio pari ad 1 mm
- Inertizzazione - L'inertizzazione dell'impasto avviene in un reattore orizzontale di volume pari a 850 litri, in grado di trattare una portata di 15 mc/h. Il dosaggio del cemento avviene in linea con l'impasto, mentre il silicato liquido viene dosato all'uscita. La quantità di reagenti impiegata rappresenta globalmente circa il 23% in peso del rifiuto da trattare (20% il cemento e 3% il silicato liquido).

Il fango inertizzato, dopo una ultima estrusione attraverso una griglia forata, viene avviato all'accumulo provvisorio in cassoni prima del trasporto in discarica.

Un impianto di lavaggio dell'aria aspirata dalle apparecchiature nelle varie fasi elimina la possibilità di diffusione nell'ambiente di sostanze maleodoranti.

Il processo di litosintesi è applicato essenzialmente su rifiuti solidi, liquidi o fangosi ad elevato contenuto inorganico. Analisi dell'eluato, per valutare la cessione dei principali parametri (essenzialmente metalli) hanno dato l'esito di cui alla tabella che segue.

Tabella 20 - Caratteristiche analitiche di eluati da prove di lisciviazione condotte su un fango inorganico tal quale (tq) ed inertizzato (i) con processo Litosintesi (valori espressi in mg/l)

Fango da Industria	COD		Pb		Cu		Zn		Ni		Cr		Cd	
	Tq	i	Tq	i	Tq	i	tq	i	tq	i	tq	i	tq	i
Meccanica	115 0	120	3,8	<0,1	4,1	<0,1	540	<0,1	72	<0,1	127	0,3	0,3	0,0
Metalmecc.	670	85	32	<0,1	815	<0,1	12	<0,1	20	<0,1	2,7	<0,1	0,01	0,0
Vetraria	125	35	1,2	<0,1	30	<0,1	130	<0,1	3,7	<0,1	290	<0,1	0,8	0,0

F 1.3 Processo SEALOSAFE-STABLEX

Utilizza, in aggiunta al tradizionale cemento Portland, dei reagenti di supporto costituiti essenzialmente da silicati complessi di alluminio e ferro.

Il processo ha trovato una certa diffusione soprattutto in Inghilterra.

Il trattamento comprende le seguenti fasi:

- stoccaggio - E' distinto per i rifiuti solidi, che vengono raccolti in fosse coperte, e per i rifiuti liquidi, che vengono stoccati in cisterne e suddivisi a seconda della loro natura (acidi, alcalini, con contenuto organico, età)
- Preparazione - Dalle cisterne i rifiuti liquidi vengono pompati in altri serbatoi nei quali vengono omogeneizzati (tramite un miscelatore) e pesati. A questa miscela si aggiungono i rifiuti solidi preventivamente frantumati.
- Inertizzazione La miscela così ottenuta viene pompata in un silos di stoccaggio e successivamente dosata nel reattore di inertizzazione insieme coi reagenti.

Il rapporto tra cemento e silico alluminato è estremamente variabile in funzione del tipo di rifiuto.

Dal reattore i rifiuti trattati vengono convogliati in una tramoggia e successivamente pompati allo scarico. I risultati di alcune prove di lisciviazione, effettuate su rifiuti di natura inorganica trattati con processo Stablex, sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 21 - Caratteristiche analitiche dell'eluato ottenuto da prove di lisciviazione su rifiuto inertizzato col processo STA-BLEX (dati in mg/l)

Inquinante	Rifiuto grezzo	Rifiuto inertizzato	
		dopo 1 giorno	dopo 28 giorni
Alluminio	848	2,2	0,5
Arsenico	0,8	<0,005	0,02
Cromo	136	0,07	0,002
Ferro	565	0,005	0,01
Piombo	79	0,1	0,006
Manganese	113	0,01	0,01
Zinco	10.735	<0,005	0,2
Cianuri	129	0,03	>0,03

Inquinante	Rifiuto grezzo	Rifiuto inertizzato	
		dopo 1 giorno	dopo 28 giorni
TOC	163.700	78	4,6
COD	313.000	806	48
Ceneri	252.700	—	—

F 1.4 Processo PETRACEM

Il processo è stato messo a punto recentemente ed ha operato per lo più a livello sperimentale, con l'obiettivo congiunto di innocuizzare il rifiuto e di reimpiegare il prodotto ottenuto come conglomerato. Quest'ultimo aspetto distingue nettamente questo processo dai precedenti.

La innocuità del prodotto è stata valutata sulla base del comportamento alla lisciviazione; l'idoneità al riutilizzo come un normale conglomerato cementizio è stata verificata mediante misure di parametri fisici e meccanici.

Il trattamento prevede l'aggiunta di elevate quantità di cemento al fango. Il reattore di inertizzazione è costituito da un mescolatore in grado di garantire una buona omogeneizzazione malgrado l'elevata viscosità della miscela.

I risultati delle prove effettuate su vari tipi di fanghi inorganici (ricchi in cromo, zinco, piombo, ecc.), hanno consentito di verificare:

1. la buona rispondenza al test di eluizione
2. le elevate caratteristiche di resistenza meccanica dei provini inertizzati
3. il buon esito delle prove di gelività
4. le buone caratteristiche di resistenza all'usura.

F.2 - Trattamenti di cementificazione a base acida

F 2.1 Processo SOLIROC

Brevettato in Belgio, questo processo ha trovato applicazioni anche in Francia ed in Italia.

Tale impianto è costituito essenzialmente da:

1. zona conferimento rifiuti, in cui avvengono la pesatura e le analisi preliminari per stabilire la destinazione del rifiuto stesso.
2. Stoccaggio rifiuti, distinto in stoccaggio per liquidi e per solidi. Lo stoccaggio per i liquidi (acidi, basi, cianuri e acque di processo) avviene in opportuni serbatoi di vetroresina mentre i solidi vengono stoccati in una vasca protetta ed impermeabilizzata
3. Zona trattamento cianuri, dove avviene l'eliminazione dei cianuri attraverso il dosaggio di soda e ipoclorito, con invio dello scarico decianurato allo stoccaggio
4. Dissoluzione di fanghi tossici, che corrisponde alla prima fase del processo e avviene in una vasca di cemento agitata nella quale vengono dosate soluzioni acide derivanti dallo stoccaggio reflui liquidi
5. Zona di trattamento, costituita da reattori di tipo cilindrico che vengono alimentati in discontinuo dagli scarichi da inertizzare e dai reattivi necessari. Gli scarichi liquidi provengono direttamente dai serbatoi di stoccaggio mentre i solidi vengono prima disciolti in fase acida in recipienti dotati di agitatori. La movimentazione dei reattivi avviene per mezzo di nastro trasportatore e di coclee
6. Trattamento liquidi, ove pervengono i fanghi disciolti unitamente ai liquidi stoccati. In questa fase vengono dosate loppa di altoforno e calce, reattivi necessari alla reazione di polimerizzazione
7. Trattamento fanghi, ove avviene la cementazione mediante miscelatori a coclea che omogeneizzano fanghi, cemento, calce e loppa. Il prodotto finale viene inviato alle lagune e,

successivamente, alla discarica controllata

8. Vasche di consolidamento, in cui viene convogliata la pasta fluida già stabile chimicamente. Nell'arco di 3-4 giorni il prodotto acquista una consistenza tale da consentirne il trasporto in discarica dove dopo un'altra settimana assume elevata resistenza meccanica e permeabilità dell'ordine dei 10^{-7} cm/s.

Le reazioni che avvengono nel corso del processo sono state descritte nella sezione relativa a processi di cementazione a base acida. Le eccellenti qualità di ritenzione del prodotto rispetto agli elementi tossici sono conseguenza del fatto che durante la fase di polimerizzazione l'acido silicico si deprotona e lega alle sue catene gli ioni dei metalli pesanti completamente solubilizzati visto il basso pH di partenza.

F.3 - Trattamenti a base di calce

F 3.1 - Processo PETRIFIX

Il processo è stato brevettato ed applicato da tempo in Francia e recentemente in Italia.

Questo processo tratta i rifiuti tossici con una miscela di silicati di calcio ed un attivatore per ottenere silicati idrati e silico-alluminati di particolare composizione e struttura. I reattivi sono dosati in maniera da ridurre al minimo la porosità ed il fenomeno del ritiro; si fa quindi uso di scoria d'altoforno additivata a calce.

Il trattamento è costituito dalle seguenti fasi:

1. conferimento rifiuti, realizzato su due linee distinte (palabili e pompabili). I rifiuti liquidi vengono inviati ai serbatoi di ricevimento previa separazione degli inerti, mentre i rifiuti palabili sono accumulati in una vasca interrata, da cui vengono asportati mediante una benna
2. Selezione ed accumulo, riguardante i soli rifiuti liquidi che, dal serbatoio di ricevimento, a seconda della loro natura, vengono inviati ai diversi serbatoi di accumulo (acidi, basici, cromatici); i rifiuti cromatici, prima di essere avviati alle fasi successive sono sottoposti ad un trattamento di riduzione
3. Neutralizzazione, effettuata sui rifiuti liquidi che, dai serbatoi di accumulo, vengono pompati nel comparto di dosaggio calce (sotto forma di idrossido)
4. Inertizzazione, che avviene miscelando i rifiuti liquidi neutralizzati e i rifiuti palabili con i reattivi di stabilizzazione/solidificazione (calce e scoria d'altoforno)
5. Consolidamento in vasche dove viene pompato l'impasto in uscita dalla fase di inertizzazione per la necessaria solidificazione
6. Frantumazione del prodotto solidificato e stoccaggio in silos prima dello smaltimento in discarica. Durante il processo si verificano quindi reazioni di neutralizzazione, precipitazione (di silicati, arseniati, fosfati, piombati), adsorbimento (di piombo, zirconio, vanadio, molibdeno, selenio, tellurio, uranio, platino), azioni chelanti (nei confronti di cloruri, bromuri, ioduri, nitrati, nitriti, cromati, carbonati), disinfezione.

Nella tabella che segue sono riportati i risultati delle prove di lisciviazione.

Tabella 22 - Risultati di una prova di lisciviazione secondo norme C. E. R. I. L. H, di un fango trattato con processo Petrifix

Contenuti	Fango grezzo (p. p. m)	Petrifix (p. p. m.)	Rendimenti di immobilizzazione
Cd	0,6	0,002	99,70%
Cr6+	1,2	0,003	99,75%
Cr3+	1,4	0,001	99,99%
Fé	39,4	0,04	99,99%
Mn	0,5	0,01	98,00%
Cu	1,6	0,007	99,50%
Ni	0,7	0,005	99,30%
Pb	1,4	0,02	98,50%
Zn	1,05	0,06	94,30%
Ca	139,2	17,00	87,80%
P	2,0	0,30	85,00%

A differenza degli altri processi sopra descritti, per i quali l'applicabilità a rifiuti contenenti composti organici è ancora in fase di studio, il processo Petrifix è adatto anche al trattamento di fanghi civili e rifiuti costituiti da sostanze organiche come catrami, aldeidi, chetoni e fenoli.

F 3.2 - Processo CIRIBELLE

Consiste nel miscelare rifiuti palabili e liquidi, preventivamente selezionati, con calce viva (o cemento) e altri additivi trasformandoli in un materiale solido costituito da sfere (diametro 1 - 3 cm) facilmente manipolabili e trasportabili.

Il calore sviluppato dalla reazione (per effetto dello spegnimento della calce viva) è recuperato per scaldare l'aria utilizzata nella fase di essiccamento finale dell'inerte.

Il rifiuto grezzo viene diviso per lo stoccaggio in pompabile e palabile.

I fanghi pompabili vengono stoccati in silos verticali muniti di speciali pompe estraiatrici; quelli palabili sono raccolti in vasche piane coperte.

Le fasi del processo sono le seguenti:

- a) condizionamento, che viene eseguito su due linee separate (una per i fanghi pompabili e una per i fanghi palabili) e mira ad omogeneizzare il rifiuto e a separare i materiali inerti eventualmente contenuti in esso. In uscita da tale fase i fanghi pompabili costituiscono una soluzione densa ed omogenea, mentre i fanghi palabili si presentano sotto forma di blocchetti avviabili direttamente allo stadio successivo.
- b) Miscelazione dei fanghi con calce (o cemento) ed altri additivi (essenzialmente ceneri volanti da centrali termoelettriche) in miscelatori a coclea: all'uscita, il materiale viene estruso attraverso griglie forate ad una temperatura di -100°C. Il dosaggio di reattivo varia, orientativamente, dal 20% al 40% in peso rispetto al rifiuto da trattare.
- c) Produzione di palline solide (Ciribelle) in un cilindro rotante. Il materiale rimane nel forno per circa 30 minuti dopodiché le Ciribelle umide vengono inviate ad un essiccatoio. All'uscita dall'essiccatoio le Ciribelle, pressoché prive di umidità, vengono smaltite direttamente o inviate allo stoccaggio.

L'impianto del processo Ciribelle è composto da due linee in ingresso:

1. la prima riguardante i fanghi liquidi che arrivano ad un silos di stoccaggio da dove vengono inviati a gruppi dosatori e, quindi, al condizionatore dove il semiprodotto subisce una pulitura e una omogeneizzazione.
2. La seconda riguardante i fanghi palabili che vanno ai comparti di stoccaggio da dove

vengono inviati ai gruppi dosatori ed al condizionatore-

A questo punto le due linee convergono verso due sezioni:

1. raccolta e vaglio dei materiali assimilabili ai rifiuti urbani che vanno verso trattamenti dedicati;
2. miscelazione fine seguita da una fase di dosaggio degli additivi polverulenti (CaO, Portland, ceneri ecc.) e dal trattamento in forno; a questo punto i prodotti passano all'essiccatoio e poi allo stoccaggio delle Ciribelle.

Oltre allo smaltimento in discarica controllata, le Ciribelle, a seconda della tipologia di fango trattato, subiscono altre destinazioni la più importante delle quali è il riutilizzo come additivo per la produzione di cemento. Tale impiego è stato oggetto di sperimentazione partendo da fanghi industriali poveri di materiale organico, ricchi di idrossidi di alluminio e ferro e contenenti metalli pesanti derivanti da attività galvaniche, meccaniche, metallurgiche ecc.

Attraverso una opportuna selezione dei fanghi grezzi, che non devono contenere elementi dannosi per l'impiego in cementificio, e l'azione dei leganti si ottiene un materiale la cui composizione si avvicina a quella delle farine crude da clinker in misura sufficiente a consentire la miscelazione con le farine stesse. La percentuale di fanghi utilizzati è solitamente intorno al 5%.

Sul prodotto innocuizzato da avviare al cementificio sono stati eseguiti saggi di eluizione i cui risultati analitici sono riportati nella tabella che segue.

Tabella 23- tipiche analisi di una miscela di fanghi industriali (H₂O= 67%) e dell'eluato dopo inertizzazione - processo Ciribelle

Parametro	Fango tal quale		Eluato sul (*) fango inertizzato	
PH		8,15		9,75
Oli e grassi animali e vegetali	g/kg	13,3	mg/l	5
Oli minerali	g/kg	7,3	mg/l	<4
M. B. A.S.	mg/kg	73,7	mg/l	1,15
Calcio	%	13,3	mg/l	975
Ferro	%	21,5	mg/l	0,09
Alluminio	%	0,42	mg/l	<0,40
Zinco	%	0,22	mg/l	0,17
Rame:	%	0,37	mg/l	0,09
Boro	mg/kg	20,3	mg/l	0,12
Arsenico	mg/kg	53,2	mg/l	<0,003
Cadmio	mg/kg	123	mg/l	<0,001
Cromo	mg/kg	334	mg/l	<0,05
Mercurio	mg/kg	0,01	mg/l	<0,003
Nichel	mg/kg	184	mg/l	0,09
Piombo	mg/kg	294	mg/l	0,12
Fosforo	mg/kg	15,8	mg/l	0,1

(*) Eluizione effettuata con la metodica prevista nella, normativa della Regione Lombardia e pertanto non direttamente confrontabile con i valori ottenuti con metodiche diverse.

Allo scopo, poi, di verificare l'entità delle emissioni di metalli, sono stati effettuati prelievi al camino; i risultati dell'analisi relative sono riportati nella tabella che segue.

Tabella 24 - Tipiche emissioni di alcuni metalli pesanti al camino (alimentazione al forno senza e con il 5% di fanghi inertizzati col processo CIRIBELLE)

Parametro	Alimentazione			
	normale		con fanghi inertizzati	
Co mg/Nm ³	0,049	0,051	0,065	0,066
Cu, mg/Nm ³	0,006	0,007	0,004	0,005
Ni, mg/Nm ³	0,019	0,005	0,005	0,004
Pb, mg/Nm ³	0,765	0,738	0,232	0,245
V, mg/Nm ³	0,020	0,020	0,010	0,010

Sono state infine condotte prove di verifica delle proprietà fisico-meccaniche del clinker ottenuto con fanghi inertizzati: i risultati sperimentali non hanno, in definitiva, evidenziato alcun peggioramento di tali caratteristiche. Fattori limitanti potrebbero, invece, essere rappresentati da eventuali variazioni significative nelle emissioni di polveri al camino e dalla presenza di cloruri, solfati e alcali (che, come noto, possono dare inconvenienti quali corrosione, surriscaldamenti locali, ecc.).

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

Esistono diverse tecnologie attualmente poco utilizzate o ancora allo studio da parte di esperti che potrebbero rappresentare una interessante alternativa a processi di più diffuso utilizzo.

Tra le numerose tecniche che si possono trovare in applicazioni industriali o di ricerca, le più interessanti sono le seguenti:

1. autocementazione
2. innocuizzazione delle ceneri volanti e dell'amianto con processi ad arco elettrico o plasma
3. produzione di materiali ceramici sintetici
4. utilizzo di ceneri vetrificate
5. inglobamento in matrici di rivestimento

G1 - Autocementazione

Si parla di autocementazione quando la cementazione che si va a realizzare tra i materiali che sono a contatto avviene a causa del solo riscaldamento e senza l'intervento di sostanze leganti.

Tale tecnica ben si presta al trattamento di alcuni rifiuti industriali, quali ad esempio i fanghi da depurazione o desolfurazione dei fumi, che contengono grandi quantità di solfato di calcio e di solfito di calcio.

Una certa frazione di rifiuto (8-10 % in peso) viene calcinata in condizioni attentamente controllate, per produrre un solfato o solfito di calcio cementizio. Questo rifiuto calcinato viene poi reintrodotta nel rifiuto fangoso con l'aggiunta di altri additivi (le ceneri volanti vengono spesso aggiunte per correggere il contenuto di umidità). Il prodotto finale è duro, simile alla plastica, facilmente manipolabile e con bassa permeabilità. In tabella 25 sono riassunti i problemi di compatibilità determinati dalla presenza, nel rifiuto, di diverse tipologie di sostanze.

Tabella 25 – Compatibilità del rifiuto con il processo di Autocementazione

Tipo di rifiuto	componenti del rifiuto	compatibilità con il processo di autocementazione
Organici	Solventi ed oli	Pericolo di incendio durante il riscaldamento
	Solidi (resine, plastiche, ecc.)	
Inorganici	Acidi	Possono essere neutralizzati per formare solfati
	Ossidanti	Compatibili se sono presenti solfati
	Solfati	Compatibili
	Alogeni	Compatibili se sono presenti anche solfati
	Metalli pesanti	Compatibili se sono presenti solfati
	Materiali radioattivi	

G2 - Processo con produzione di minerali o materiali ceramici sintetici

Il processo presenta notevoli analogie con quello della vetrificazione. Consiste infatti nel miscelare il rifiuto con silice per formare, dopo fusione, un minerale silicato sintetico (costituito da silicati aggregati in strutture cristalline). Anche in questo caso l'applicazione è conveniente solo per il trattamento di rifiuti particolarmente pericolosi. Il prodotto che si ottiene è solido compatto, sicuro dal punto di vista del rilascio di sostanze inquinanti. Dato il costo, il processo viene raramente impiegato nel caso di rifiuti industriali. La compatibilità del processo con le sostanze presenti nel rifiuto è sinteticamente riportata in tabella 26.

Tabella 26 – Compatibilità del rifiuto con il processo di produzione di minerali o materiali ceramici sintetici

Tipo di rifiuto	Componenti del rifiuto	Compatibilità con il processo di produzione di minerali o materiali ceramici sintetici
Organici	Solventi ed oli	I rifiuti si decompongono ad alte temperature
	Solidi (resine, plastiche, ecc.)	
Inorganici	Acidi	Possono essere neutralizzati ed incorporati
	Ossidanti	Le alte temperature possono causare reazioni indesiderate
	Solfati	Compatibili in molti casi
	Alogeni	
	Metalli pesanti	
	Materiali radioattivi	Compatibili

G3 Processo a base di ceneri vetrificate

Consiste nella fusione delle ceneri in forno a microonde e nell'utilizzo del prodotto fuso come elemento stabilizzante di alcuni rifiuti tossici. L'applicazione del trattamento risulta problematica non solo per gli elevati costi ma anche per la necessità di prevedere una linea di trattamento dei fumi generati dal forno di fusione. Tale processo è stato utilizzato perlopiù in fase sperimentale, ha come obiettivo il trattamento combinato di due specifiche tipologie di inquinanti: le ceneri prodotte dagli impianti di termodistruzione e i rifiuti tossici.

G4 Processo di inglobamento in una matrice di rivestimento

Questi processi consistono nel deporre il rifiuto in un primo involucro (generalmente metallico) da rivestire poi con una matrice a tenuta stagna (e per determinati rifiuti anche sottovuoto) in cemento armato (o altro materiale). In tal modo le sostanze inquinanti vengono fisicamente inglobate in una matrice con notevoli caratteristiche di inerzia agli agenti chimici e proprietà fisico - meccaniche tali da rendere il prodotto riutilizzabile per esempio come materiale pesante da costruzione.

G5 Sistema al plasma

Il plasma è un fluido altamente conduttivo, ionizzato elettricamente ma globalmente neutro che possiede, in parte, caratteristiche proprie di un gas ed, in parte, quelle di un liquido. Può essere generato in vari modi ed in un ampio intervallo di pressioni e livelli di energia: una diffusa modalità di generazione è quella di utilizzare, a pressione quasi atmosferica, un riscaldatore elettrico comunemente definito torcia ad arco plasma, che consente di applicare un arco elettrico (prodotto tra due elettrodi) ad un flusso di gas che viene in tal modo ionizzato.

Il vantaggio che offre questa tecnologia è quello di consentire l'atomizzazione di qualunque inquinante e di aver luogo in ambiente riducente che non favorisce la formazione di sostanze pericolose quali ad esempio le diossine; essa, tuttavia, necessita di linee trattamento fumi molto sofisticate e costose per evitare che in determinati campi di temperature vengano a formarsi (o a riformarsi) composti pericolosi.

Le applicazioni sono molteplici anche se il trattamento risulta comunque destinato allo smaltimento di rifiuti particolarmente pericolosi (rifiuti solidi altamente clorurati, amianto, ecc.) visti gli alti costi.

Il principio di funzionamento è semplice: il plasma trasferisce la sua energia alla carica, le sostanze contaminanti vengono dissociate in atomi, ionizzate, pirolizzate e, pertanto, distrutte. Nel caso di terreni contaminati il calore generato dal plasma causa la fusione delle particelle di terreno, che vengono ad intermittenza scaricate, e raffreddate ad aria o acqua; la conseguente solidificazione dà luogo ad un materiale vetrificato altamente stabile, nel quale restano imprigionati ed efficacemente immobilizzati i contaminanti inorganici (ad esempio, metalli pesanti).

I gas esausti pervengono generalmente ad una camera di post-combustione dove sono mantenute in presenza di un eccesso di ossigeno per un periodo di tempo sufficiente ad assicurare una completa

conversione dei composti organici in anidride carbonica e vapor d'acqua. In uscita dalla camera di post - combustione, tali gas vengono, infine, depurati ricorrendo a tecnologie tipiche di abbattimento (vedi utilizzo di calce ecc.).

L'APAT ha indetto una gara europea per la sperimentazione su scala pilota di questa tipologia di trattamento al fine di verificarne l'efficacia su alcune tipologie di rifiuti pericolosi quali le ceneri leggere da incenerimento di rifiuti.

H - Definizione 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 essendo sottinteso che di esse occorre tenere conto, ove applicabili, 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 chimico – fisico dei rifiuti solidi.

Nei capitoli D e F delle presenti Linee Guida sono stati descritti i principali trattamenti chimico – fisici dei rifiuti solidi, mentre nel capitolo E sono state descritte le migliori tecniche ad oggi individuate dal Bref comunitario.

Nel presente capitolo si espongono le migliori tecniche e tecnologie comuni a tutte le tipologie di impianto di trattamento chimico - fisico dei rifiuti solidi in Italia per ogni fase di processo (ivi inclusi pre e post- trattamenti), fermo restando quanto individuato nel capitolo E, relativo alle conclusioni del Bref.

Nella tabella che segue vengono sinteticamente illustrate le BAT valide per tutte le tipologie di impianti trattate.

Tabella 27 - Individuazione delle BAT

Conferimento e stoccaggio dei rifiuti all'impianto
<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>

- Accertamento visivo da parte del tecnico responsabile.
- Prelievo di un campione del carico (o della partita omogenea) da parte del tecnico responsabile.
- Analisi del campione 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.

5. Congedo automezzo.

- Bonifica automezzo con lavaggio ruote.
- Sistemazione dell'automezzo sulla pesa.
- Annotazione della tara da parte dell'ufficio accettazione.
- Congedo dell'automezzo.
- Registrazione del carico sul registro di carico e scarico.

Occorre inoltre prevedere:

- 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 di impianto
- Adeguati isolamento, protezione e drenaggio dei rifiuti stoccati
- Minimizzazione della durata dello stoccaggio
- Mantenimento del settore di stoccaggio dei reagenti distinto dal settore di stoccaggio dei rifiuti
- Aspirazione delle arie esauste dalle aree di stoccaggio
- Installazione di adeguati sistemi di sicurezza ed antincendio
- Minimizzazione dell'emissione di polveri durante le fasi di movimentazione

Pretrattamenti

- Definizione delle modalità operative di pretrattamento e di miscelazione di rifiuti compatibili.
- Test di laboratorio per definire i dosaggi di reagenti.
- Garantire il miglioramento delle caratteristiche qualitative e granulometriche dei rifiuti da inviare al trattamento chimico - fisico mediante trattamenti complementari quali: vagliatura per la separazione dei corpi estranei che possono danneggiare le apparecchiature; ispessimento o disidratazione meccanica onde ottenere lo stato fisico più idoneo all'attuazione del processo; macinazione dei materiali grossolani che non presentano granulometria compatibile con il sistema di trattamento; umidificazione dei rifiuti conferiti allo stato solido polveroso; trattamento di decianurazione per i rifiuti che possono dar luogo a emissioni di HCN; reazioni di riduzione dei composti solubili come i cromati.
- Prevedere una pre-omogeneizzazione dei rifiuti da trattare, se compatibili per il trattamento.
- Possono essere utilizzati anche processi chimici quali ad esempio neutralizzazione, ossidazione, riduzione.

Modalità operative del Trattamento chimico fisico adottato

- Predisposizione del "foglio di lavoro", firmato dal tecnico responsabile dell'impianto, su cui devono essere riportate almeno le seguenti informazioni:
 - numero del carico (o di più carichi);
 - numero della/e piazzola/e di deposito preliminare;
 - numero dell'analisi interna di riferimento;
 - dosaggi dei vari reagenti;
 - tempi di miscelazione e quantitativi di reagenti utilizzati
- Consegna del "foglio di lavoro" in copia agli operatori dell'impianto.
- Avvio del processo di trattamento chimico - fisico più adatto alla tipologia di rifiuti trattati a seguito dell'individuazione delle BAT:
 - esecuzione e controllo delle operazioni da una cabina di comando chiusa;
 - impianto di aspirazione in funzione;
- Prelievo di campioni del materiale trattato.
- Consegna ed archiviazione del "foglio di lavoro", con eventuali osservazioni, in originale nella cartella del cliente.

Inoltre occorre garantire:

- Risparmio delle risorse ambientali ed energetiche
- Le strutture degli impianti e le relative attrezzature di servizio devono essere realizzate in materiali idonei rispetto alle caratteristiche dei rifiuti da trattare e da stoccare

<ul style="list-style-type: none"> • Tutte le apparecchiature di trattamento devono essere previste all'interno di strutture chiuse (o almeno coperte) pavimentate e dotate di sistemi di captazione e drenaggio delle acque • Si devono prevedere strumentazioni automatiche di controllo dei processi per mantenere i principali parametri funzionali entro i limiti prefissati.
Post-trattamenti
<ul style="list-style-type: none"> • Stoccaggio del rifiuto trattato per eventuale completamento della stabilizzazione e solidificazione e relative verifiche analitiche • adeguata gestione dei residui ed eventuali altri scarti di processo • Caratterizzazione e adeguato smaltimento dei rifiuti non recuperabili • controlli sulla lisciviazione dei rifiuti trattati in caso di conferimento in discarica degli stessi
Raccolta e conservazione dei dati sui rifiuti in uscita
a Dati raccolti:
<ul style="list-style-type: none"> • data del trattamento; • data dell'analisi; • numero progressivo dell'analisi; • caratteristiche dell'eluato; • verifica analitica periodica del rifiuto; • 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
Trattamento dell'aria in uscita dall'impianto
<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
Trattamento delle acque di scarico
<ul style="list-style-type: none"> • Impiego di sistemi di trattamento a minor produzione di effluenti • Massimizzazione del ricircolo delle acque reflue • Raccolta separata delle acque meteoriche pulite • Adeguati sistemi di stoccaggio ed equalizzazione • Impiego di sistemi di trattamento chimico-fisico e/o biologico delle acque reflue
Rumore
<ul style="list-style-type: none"> • Sistemi di scarico e pretrattamento al chiuso • 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
<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 e/o su Internet

H.1 - Migliori tecniche e tecnologie comuni a tutte le tipologie di impianto

Il processo di trattamento chimico-fisico evolve in genere attraverso le seguenti fasi:

- caratterizzazione del rifiuto ed accettazione
- stoccaggio dei rifiuti grezzi
- trattamenti preliminari
- trattamento chimico - fisico

- trattamenti di rifinitura
- stoccaggio finale.

H 1.1 - Configurazione base di un impianto

Tutti gli impianti di trattamento chimico-fisico dei rifiuti solidi devono essere dotati di:

- una zona di conferimento ed eventuale stoccaggio temporaneo dei rifiuti in ingresso
- una area di pre-trattamento dei rifiuti
- 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.

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
- deposito per le sostanze da usare per l'assorbimento dei liquidi in caso di sversamenti accidentali
- adeguato impianto di raccolta delle acque reflue
- 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 1.2 Ricevimento e Stoccaggio

Prima dell'accettazione dei rifiuti presso l'impianto di trattamento, il gestore deve acquisire tutte le informazioni necessarie per l'individuazione e caratterizzazione del rifiuto 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 produttivi 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, emissioni di gas o effetti termici acuti)
- la composizione finale della miscela inertizzata.

Accanto alla caratterizzazione iniziale, con frequenza proporzionale al numero di carichi conferiti, devono essere 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 27.

Il personale addetto alla sorveglianza ed alla gestione dell'impianto deve effettuare per ogni carico conferito una verifica visiva in loco mediante confronto con campioni prelevati in precedenza.

Il settore di accettazione dei rifiuti deve essere distinto da quello di stoccaggio dei rifiuti.

Devono essere previste aree di conferimento distinte in funzione della tipologia di rifiuti e delle diverse modalità di stoccaggio degli stessi.

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 grezzi deve permettere la programmazione razionale dei tempi e delle modalità di trattamento, senza condizionare i conferimenti alle esigenze del processo. Deve essere realizzata in modo da minimizzare l'impatto ambientale e da garantire la sicurezza e l'igiene nel lavoro. Deve presentare caratteristiche volumetriche e di dislocazione tali da consentire lo stoccaggio differenziato di diverse categorie di rifiuti, le operazioni di omogeneizzazione fra rifiuti compatibili, i tempi di stoccaggio sufficienti per una completa caratterizzazione qualitativa del rifiuto, una razionale movimentazione dei rifiuti da inviare ai pretrattamenti.

Il settore di stoccaggio dei reagenti deve essere distinto dal settore stoccaggio rifiuti. Le modalità di stoccaggio devono essere conformi a quanto stabilito dalla normativa vigente in materia di stoccaggio dei prodotti.

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 1.3 Movimentazione

Qualora la movimentazione dei rifiuti sia eseguita mediante pala meccanica a ragno o gru ponte, la cabina di manovra della macchina deve essere dotata di climatizzatore e sistema di filtrazione adeguato alle tipologie di rifiuti da movimentare.

Durante la movimentazione dei rifiuti e del materiale inertizzato può verificarsi l'emissione di polveri. Quindi:

- lo stoccaggio dei rifiuti palabili in entrata deve avvenire in ambiente chiuso con sistemi di scarico dotati di sistemi di nebulizzazione ad acqua verso l'interno per evitare la fuoriuscita di materiale volatile
- lo stoccaggio dei rifiuti polverulenti deve avvenire in silos e con movimentazione a circuito pneumatico
- il grado di umidità del rifiuto inertizzato in uscita dall'impianto deve essere tale da non consentire la dispersione delle polveri.

H 1.4 Pretrattamenti

Le fasi di trattamento preliminare devono conferire ai rifiuti caratteristiche tali da consentirne una ottimale inertizzazione. Il miglioramento delle caratteristiche qualitative e granulometriche dei rifiuti da inviare all'inertizzazione può richiedere trattamenti preliminari quali:

- vagliatura per la separazione dei materiali indesiderati che possono ostacolare il funzionamento delle apparecchiature di trattamento o danneggiarle
- ispessimento o disidratazione meccanica onde ottenere lo stato fisico più idoneo all'attuazione del processo
- macinazione dei materiali grossolani che non presentano la granulometria compatibile con il sistema di trattamento
- umidificazione dei rifiuti conferiti allo stato solido polveroso
- trattamento di decianurazione per i rifiuti che possono dare luogo a emissione di HCN
- reazioni di riduzione di composti solubili, come i cromati.

Se l'impianto tratta differenti tipologie di rifiuti è necessaria una pre-omogeneizzazione degli stessi, una volta assicurata la compatibilità.

H 1.5 Migliori Tecniche e tecnologie di Trattamento chimico – fisico dei rifiuti solidi

Si rinvia a quanto riportato nei capitoli D e F riguardo al campo di applicazione ed ai principali vantaggi e svantaggi dei processi di trattamento chimico – fisico dei rifiuti solidi nonché alle migliori tecniche già individuate nel capitolo E.

H 1.6 Post – trattamenti

A seconda della tipologia di trattamento adottata e delle caratteristiche del rifiuto può rendersi necessario il ricorso a post-trattamenti volti a garantire che le successive operazioni di smaltimento/recupero siano effettuate in condizioni di sicurezza. In particolare potrebbero rendersi necessarie le seguenti operazioni:

- stoccaggio del rifiuto trattato per eventuale completamento della stabilizzazione e solidificazione e relative verifiche analitiche
- adeguata gestione dei residui ed eventuali altri scarti di processo
- caratterizzazione e adeguato smaltimento dei rifiuti non recuperabili
- controlli sulla lisciviazione dei rifiuti trattati in caso di smaltimento in discarica

H 1.7 Manutenzione

Devono essere previsti accorgimenti in grado di eseguire agevolmente operazioni di manutenzione; a tale scopo tutti i macchinari impiegati nel trattamento chimico - fisico devono essere dotati di:

- sistemi di ingrassaggio e lubrificazione automatici o centralizzati
- cuscinetti autolubrificanti (dove possibile)
- contatori di ore di funzionamento, per la programmazione degli interventi di manutenzione
- pulsantiere locali per azionamento manuale delle macchine durante le manutenzioni
- possibilità di accesso in tutte le zone con mezzi di sollevamento (manipolatore telescopico, autogrù) per interventi di modifica o manutenzione pesante. Qualora gli spazi a disposizione non lo permettano, occorrerebbe prevedere un carro ponte o paranchi di manutenzione dedicati.

H 1.8 Accorgimenti per limitare la diffusione di rifiuti negli ambienti di lavoro

Negli impianti di selezione meccanica devono essere previsti accorgimenti in grado di impedire la fuoriuscita dei rifiuti dai nastri e dalle macchine di trattamento per mantenere la pulizia degli ambienti; a tale scopo occorre mettere in opera:

- nastri trasportatori ampiamente dimensionati dal punto di vista volumetrico
- pulitori sulle testate dei trasportatori e nastri pulitori al di sotto dei trasportatori
- carterizzazioni
- cassonetti di raccolta del materiale di trascinamento, in corrispondenza delle testate posteriori o dei rulli di ritorno
- strutture metalliche di supporto delle macchine tali da permettere il passaggio di macchine di pulizia dei pavimenti.

H 1.9 Limitazione delle emissioni

Gli impianti di trattamento chimico-fisico devono essere eserciti in modo da non produrre emissioni dannose all'ambiente esterno e all'ambiente di lavoro, in particolare:

- emissioni di polveri
- emissioni di sostanze osmogene
- emissione di rumori
- scarichi liquidi
- produzione di rifiuti

Per quanto riguarda 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.

H. 2 Migliori tecniche di gestione degli impianti di trattamento chimico - fisico

La gestione degli impianti a tecnologia complessa deve:

- 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 2.1 Piano di gestione operativa

In fase di esercizio gli impianti di trattamento chimico fisico 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. 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 previsto
- 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.2.2 Programma di sorveglianza e controllo (PSC)

Nell'ambito delle BAT va individuata la predisposizione ed 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:

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.

Nel caso di impianti di inertizzazione il PSC deve contenere i piani e le modalità esecutive dei controlli relativi a:

- monitoraggio delle acque e del terreno in prossimità della fossa di accettazione
- 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.3 - Strumenti di gestione ambientale

H 3.1 - Personale

La responsabilità della gestione dell'impianto di trattamento deve essere affidata ad una persona competente, tutto il personale deve essere adeguatamente addestrato.

H 3.2 - 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 3.3 - Certificazione

Vanno attivate le procedure per l'adozione di sistemi di gestione ambientale (EMS) nonché di certificazione ambientale (ISO 14000) e soprattutto l'adesione al sistema EMAS.

H 3.4 - 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 3.5 - Comunicazione e consapevolezza pubblica

E' necessaria la predisposizione di un programma di comunicazione periodica che preveda:

- 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.4 - Aspetti di pianificazione e gestione**H 4.1 - 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 e con gli impianti di destinazione dei rifiuti trattati 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 4.2 - 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.

H.5 Indicazioni specifiche per la gestione dei rifiuti contenenti amianto

I rifiuti contenenti amianto possono essere sottoposti a due differenti tipologie di trattamento:

- trattamenti che riducono il rilascio di fibre
- trattamenti finalizzati alla totale trasformazione cristallochimica dell'amianto

Sulla base di quanto previsto dalla normativa in materia di recupero dei prodotti e beni di amianto e contenenti amianto le diverse tipologie di trattamento, i relativi effetti e le possibili destinazioni dei rifiuti/materiali ottenuti (a seconda delle loro caratteristiche) vengono di seguito riportati.

TRATTAMENTI FINALIZZATI AL CONTENIMENTO DEL POTENZIALE INQUINANTE DEI RCA SENZA TRASFORMAZIONE DELLA STRUTTURA DELL'AMIANTO				
Trattamento	Principio	Volume del prodotto	Effetto	Destinazione finale
condizionamento in matrice cementizia	Impasto con cemento ed eventuali additivi	Inferiore al volume iniziale	Riduzione del rilascio di fibre	Discarica

Condizionamento in matrice di resine	Miscelazione con materiali polimerici	Superiore al volume iniziale	Riduzione del rilascio di fibre	Discarica
TRATTAMENTI DI TRASFORMAZIONE DELLA STRUTTURA DELL'AMIANTO				
Trattamento	Principio	Volume del prodotto	Effetto	Destinazione finale
Attacco chimico	Modificazione della struttura del rifiuto e precipitazione di sali non tossici	Aumento a seguito della formazione di fanghi di trattamento	Trasformazione totale delle fibre di amianto	Discarica Riutilizzo come materia prima
Litificazione	Fusione a temperature elevate (1.300-1.450 °C)	Inferiore al volume iniziale	Trasformazione totale delle fibre di amianto	Discarica Riutilizzo come materia prima
Litificazione pirolitica	Produzione di argilla espansa	Superiore al volume iniziale	Trasformazione totale delle fibre di amianto	Discarica Riutilizzo come materia prima
Vetrificazione	Fusione con additivi a temperature elevate (1.000-1.300 °C)	Inferiore al volume iniziale	Trasformazione totale delle fibre di amianto	Discarica Riutilizzo come materia prima
Produzione di clinker	Fusione con calcare ed argilla	Inferiore al volume iniziale	Trasformazione totale delle fibre di amianto	Discarica Riutilizzo come materia prima
Ceramizzazione	Cottura a 800-1.000°C	Inferiore al volume iniziale	Trasformazione totale delle fibre di amianto	Discarica Riutilizzo come materia prima
Vetroceramizzazione	Fusione a 1.300°C Cristallizzazione a 900 °C	Inferiore al volume iniziale	Trasformazione totale delle fibre di amianto	Discarica Riutilizzo come materia prima
Trasformazioni meccanochimiche	Distruzione della struttura cristallina mediante stress meccanico	Inferiore al volume iniziale	Trasformazione totale delle fibre di amianto	Discarica Riutilizzo come materia prima

Fermo restando il rispetto delle normative vigenti in materia di amianto ed, in generale in materia, di rifiuti e delle BAT precedentemente riportate, negli impianti di gestione dei rifiuti contenenti amianto devono, inoltre, essere sempre seguite le seguenti prescrizioni:

- negli ambienti ove si eseguono attività lavorative che possono comportare il superamento dei valori limite previsti dalla legge si devono sempre indossare i mezzi di protezione.
- I mezzi protettivi da utilizzare devono essere definiti sulla base del rischio di diffusione di fibre connesso all'attività svolta.
- I mezzi di protezione vanno indossati negli appositi spogliatoi prima di accedere alla zona contaminata o potenzialmente contaminata
- I mezzi di protezione potranno essere monouso o del tipo riutilizzabile; al termine del turno di lavoro i mezzi di protezione contaminati non a perdere saranno recuperati per la necessaria decontaminazione mentre quelli monouso saranno considerati RCA. I mezzi di protezione si distinguono in:
 - mezzi protettivi delle vie respiratorie;
 - abbigliamento protettivo
- Gli apparecchi di protezione delle vie respiratorie o respiratori che possono essere utilizzati nelle attività di manipolazione degli RCA devono essere adatti per ambienti inquinati da particelle.
- I mezzi protettivi delle vie respiratorie devono essere provati prima di ogni utilizzo per verificarne la rispondenza ai dati di targa.
- Durante le attività in presenza di amianto si deve indossare un adeguato abbigliamento protettivo.

- L'abbigliamento protettivo deve minimizzare il deposito delle fibre di amianto sulla pelle e sui capelli che possono costituire veicolo della diffusione delle fibre
- L'abbigliamento protettivo deve pertanto ridurre il più possibile le parti del corpo scoperte e generalmente è costituito da tuta intera, soprascarpe, copritesta o cappuccio e guanti del tipo a perdere.
- Le giunzioni dell'abbigliamento saranno sigillate mediante nastratura adesiva.
- Sotto l'abbigliamento protettivo deve essere indossata biancheria intima anch'essa possibilmente di tipo a perdere.
- Gli operatori, prima di indossare l'abbigliamento protettivo dovranno togliersi qualsiasi oggetto non strettamente necessario all'attività di manipolazione.
- Si dovrà effettuare una valutazione del rischio proveniente dalle fibre di amianto aerodisperse al fine di stabilire le misure preventive e protettive da attuare; tale valutazione dovrà tendere ad accertare l'inquinamento ambientale e a determinare l'esposizione dei lavoratori alle fibre di amianto.
- Si dovrà predisporre un piano di lavoro contenente le misure necessarie per garantire la sicurezza dei lavoratori e la protezione dell'ambiente, prima di iniziare i lavori di manipolazione dei materiali contenenti amianto.
- I lavoratori addetti dovranno ricevere adeguate informazioni in merito a:
 - i rischi potenziali per la salute dovuti all'esposizione alle fibre di amianto;
 - le norme igieniche, ivi compresa la necessità di: non fumare, non mangiare o masticare gomma;
 - le precauzioni da prendere per l'uso di equipaggiamenti e indumenti di protezione;
 - le misure di precauzione particolari che debbano essere prese per ridurre al minimo l'esposizione;
 - le varietà e i quantitativi di amianto utilizzati;
 - le tecniche di rimozione dell'amianto che dovranno includere un addestramento all'uso delle maschere respiratorie, sulle procedure per la rimozione, la decontaminazione e la pulizia del luogo di lavoro.
- Dovranno, inoltre, essere prese misure appropriate affinché:
 - i luoghi in cui si svolgono le attività siano accessibili esclusivamente ai lavoratori che vi debbano accedere a motivo del lavoro o delle loro funzioni;
 - siano predisposte aree speciali che consentano ai lavoratori di mangiare e bere senza rischio di contaminazione di polvere di amianto;
 - gli indumenti di lavoro e i mezzi protettivi siano riposti in luogo separato da quello destinato agli abiti civili
 - i lavoratori possano disporre di impianti sanitari adeguati, provvisti di docce destinati al loro uso esclusivo per tutta la durata dell'asportazione e decontaminazione

I. Analisi dell'applicabilità ad impianti esistenti delle tecniche di prevenzione integrata dell'inquinamento elencate al punto precedente, anche con riferimento ai tempi di attuazione

II. - 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.

II.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.

II.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.

II.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 come evidenziato nei paragrafi precedenti: bisognerà perciò avere una conoscenza esatta della composizione del rifiuto.

II.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.

I2- 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 ancora 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

K1 - La definizione di BAT

K1.1 - 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.

K1.2 - 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.

K1.3 - 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.

K1.4 - 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 della specifica applicazione, tenuto conto dei fattori locali e degli aspetti summenzionati possa portare ad una valutazione della sua applicabilità.

K2 - 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.

K2.1 - 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

K2.2 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.

K3 - 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).

K4 - 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 chimico-fisico dei rifiuti.

Qualsiasi tecnica deve dimostrare anche la capacità di evolvere ed essere in grado di adattarsi a nuove soluzioni e condizioni.

K5 - 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.

K6 - Messa in funzione degli impianti nuovi o esistenti

Sono da considerare la vita media di un impianto e la sua capacità produttiva nel tempo.

K7 - 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.

K8 - 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.

K9 - 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 valutato che un impianto non affidabile può mettere in crisi il servizio (pubblico o meno) di smaltimento rifiuti.

Inoltre, occorre ridurre al minimo il numero di fermate e avviamenti dell'impianto, perché in queste fasi vengono, di solito, emesse le maggiori quantità di inquinanti.

Sono richieste tecniche di misurazione di elevata qualità per il monitoraggio in continuo dei parametri operativi dell'impianto e delle emissioni.

K10 - 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. Gli impianti devono essere dotati di sistemi di sicurezza intrinseca e di adeguate riserve. In caso di guasto improvviso o di mancanza di alimentazione, le apparecchiature devono portarsi autonomamente in condizioni di massima sicurezza.

Tenere in debita considerazione l'avvio, le perdite, le disfunzioni, gli arresti temporanei e l'arresto definitivo dell'impianto. 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.

L – Glossario***L1 - Abbreviazioni e acronimi***

AIA	Autorizzazione Integrata Ambientale
APAT	Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici
APC	Air Pollutions
BAT	Best Available Technologies
BOD	Biologic Oxigen Demand
Brefs	Best Available Technologies Reference Documents
CE	Commissione Europea
CEN	Comitato Europeo di Normazione
COD	Chemical Oxigen Demand
EMAS	Sistema Comunitario di Ecogestione ed Audit (Environmental Management and Audit System)
ETAC	European Technical Admetee Committee
FMECA	Failure Modes Effects Critical Analysis
FMEA	Failure Modes Effects Analysis
GTR	Gruppi Tecnici Ristretti
GUCE	Gazzetta Ufficiale Comunità Europea
HazOp	Hazard Operability
ISO	International Standards Organization
IPA	Idrocarburi Policiclici Aromatici
IPPC	Integrate Pollution Prevention and Control – Prevenzione e Riduzione Integrate dell'Inquinamento
MATT	Ministero Ambiente Tutela del Territorio
MDT	Migliori Tecniche Disponibili - vedi BAT
ORC	odour recognition concentration
OT	odour threshold
PAH	vedi IPA
PCB	Poli Cloro Bifenili
PCDD - F	PoliCloroDibenzoDiossine e Furani
PHA	Preliminary Hazard Analysis
Ph -c	Fisico – Chimico
RSAU	Rifiuti Solidi Assimilati agli Urbani
SGA	Sistema di Gestione Ambientale
SVOCs	Semi Volatile Organic Compounds
TLV	Threshold Limit Value
TOC	Carbinio Organico Totale
TWA	Time Weighting Average
VIA	Valutazione Impatto Ambientale
VOCs	Volatile Organic Compounds

BIBLIOGRAFIA

- European IPPC Bureau (a cura di) “Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries”
- Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG), CNR, Progetto LIFE99 / ENV / IT / 000153 - AMOS
- CITEC (a cura di) (2004), “Linee guida per la progettazione, realizzazione e gestione degli impianti a tecnologia complessa per lo smaltimento dei rifiuti urbani”, Ed. Hyper
- Maffezzoni - S. Valletti - R. Pedrazzoni L. E. Depero - Laboratorio di strutturistica Chimica, facoltà di ingegneria - università degli studi di Brescia- IV convegno Nazionale - Utilizzazione Termica dei rifiuti Abano Terme n. 12 - 13 giugno 2003
- SEP-Pollution, Convegni e seminari SEP 2000 - “La bonifica dei siti inquinati”, Ed. Hyper