



ISTITUTO SUPERIORE DI SANITA'

MINISTERO DELL'AMBIENTE

**Indicazioni per gli studi  
di impatto ambientale relativamente  
alla componente "salute pubblica"**

**Impianti di trattamento e discariche di rifiuti  
industriali, tossici e nocivi**

**Parte I**

**Procedure di campionamento e analisi,  
parametri e criteri di stima degli effetti,  
criteri di qualità ambientale**

**Lavoro promosso dal Ministero dell'Ambiente - Servizio valutazione di impatto ambientale,  
informazione ai cittadini e per la relazione sullo stato dell'ambiente**

Istituto Superiore di Sanità, Roma; Ministero dell'Ambiente, Roma

**Indicazioni per gli studi di impatto ambientale relativamente alla componente "salute pubblica". Impianti di trattamento e discariche di rifiuti industriali, tossici e nocivi. Parte I. Procedure di campionamento e analisi, parametri e criteri di stima degli effetti, criteri di qualità ambientale.**

Giu 94, iv, 104 p. Rapporti ISTISAN 94/6 Pt. 1 (In italiano)

Vengono fornite indicazioni sulle possibilità di trattamento dei rifiuti tossici e nocivi (RTN) considerando i diversi aspetti del problema: la legislazione, le diverse tipologie e provenienze dei RTN e il loro campionamento, le tecnologie di smaltimento e i relativi possibili impatti con l'ambiente e sulla salute umana. Vengono anche trattate le misure di mitigazione che possono essere messe in atto in relazione alle diverse tecniche di trattamento o smaltimento da adottare e i criteri di qualità ai quali si può fare riferimento per i diversi comparti ambientali: aria, acqua e suolo.

*Parole chiave:* Impatto ambientale, Smaltimento dei rifiuti tossici e nocivi, Trattamento dei rifiuti tossici e nocivi.

Istituto Superiore di Sanità, Rome (Italy); Ministero dell'Ambiente, Rome (Italy)

**Indications for environmental impact studies regarding the "public health" component. Industrial hazardous waste treatment plants and landfill. Part I. Collection and analysis procedures, parameters and criteria for evaluating effects, environmental quality criteria.**

Jun 94, iv, 104 p. Rapporti ISTISAN 94/6 Pt. 1 (In Italian)

Indications regarding hazardous waste treatment possibilities are considered. Different aspects are examined: legislation, kind and source of wastes, collection, disposal technologies and related environmental and health impacts. Several mitigation technologies concerning various kinds of waste management and quality criteria for the environmental air, water and soil compartments, are also reported.

*Key words:* Environmental impact, Hazardous waste disposal, Hazardous waste management.

## PREMESSA

Il presente volume fa parte di una serie di "Pubblicazioni tecniche" sul tema Ambiente/Salute elaborate nell'ambito dei lavori della Convenzione tra il Ministero dell'Ambiente e l'Istituto Superiore di Sanità, avente come oggetto la "Consulenza e collaborazione operativa per attività di ricerca nel campo dell'Impatto Ambientale".

Tale convenzione si è articolata sulle seguenti linee di ricerca:

- Identificazione ed analisi del rischio connesso a sostanze chimiche di interesse prioritario;
- Impianti di trattamento e discariche di rifiuti industriali, tossici e nocivi;
- Centrali termoelettriche e turbogas;
- Linee elettriche.

Le pubblicazioni tecniche, di cui la presente fa parte, sono volte a fornire un contributo concreto in termini di dati, criteri, modelli e valutazioni, al fine dell'analisi e della gestione delle problematiche inerenti la componente salute nella valutazione di impatto ambientale.

Linea di ricerca: "Impianti di Trattamento e Discariche di Rifiuti Industriali, Tossici e Nocivi".

Il presente lavoro si compone di due parti:

- Parte I     Procedure di campionamento e analisi, parametri e criteri di stima degli effetti, criteri di qualità ambientale
- Parte II    Modelli per lo studio della mobilità e destino ambientale delle principali sostanze inquinanti di acque sotterranee.

La stesura del presente lavoro è stata realizzata da:

Giuseppe Viviano  
Loredana Musmeci  
Carlo Lupi  
Andrea Gordiani  
Natascia Masciocchi  
Gaetano Settimo

Si ringraziano Giancarlo Boeri e Maria Laura D'Anna, membri della "Commissione paritetica" Ministero dell'Ambiente/Istituto Superiore di Sanità, per gli utili suggerimenti forniti durante la preparazione del presente lavoro.

## INDICE

1. INTRODUZIONE.....	1
2. CENNI SUGLI ASPETTI LEGISLATIVI.....	3
2.1. Classificazione dei rifiuti in base alle nuove direttive CEE.....	4
2.2. Scenario futuro .....	5
3. TIPOLOGIA DEI RIFIUTI SPECIALI E LORO PROVENIENZA.....	7
3.1. Settore metallurgico.....	7
3.2. Settore chimico.....	9
3.3. Settore metalmeccanico .....	9
3.4. Settore agro-alimentare.....	10
3.5. Settore tessile.....	11
3.6. Settore pelli e cuoio .....	12
3.7. Settore calzature e abbigliamento .....	12
3.8. Settore legno .....	12
3.9. Settore carta e stampa.....	13
3.10. Settore gomma e manufatti di materie plastiche.....	13
3.11. Settore petrolifero.....	14
3.12. Altri settori manifatturieri.....	15
4. LO SMALTIMENTO DEI RIFIUTI TOSSICI E NOCIVI .....	22
4.1. Tecnologie di trattamento .....	22
4.1.1. Processi fisici .....	22
4.1.2. Processi chimico-fisici .....	23
4.1.3. Processi biologici .....	24
4.1.4. Processi termici.....	24
4.1.5. Processi in via di sviluppo e innovativi.....	25
4.2. Tecnologie di smaltimento finale .....	27
5. POSSIBILI EFFETTI SULLA SALUTE.....	34
5.1. Parametri e criteri per l'identificazione dei rischi .....	34
5.2. Rischi derivanti da incidenti.....	40

5.3. Livelli di contaminazione ambientale ed esposizione .....	41
5.3.1. Esposizione per inalazione.....	42
5.3.2. Esposizione per assorbimento dermico .....	42
5.3.3. Esposizione per ingestione .....	43
6. MISURE DI MITIGAZIONE .....	49
6.1. Aspetti gestionali .....	49
6.2. Sistemi di abbattimento delle emissioni.....	50
6.2.1. Impianti di abbattimento degli inquinanti particolati .....	50
6.2.2. Impianti di abbattimento degli inquinanti gassosi .....	51
6.2.3. Impianti di post-combustione .....	53
6.3. Contenimento dei percolati e dei gas .....	53
6.4. Controlli e monitoraggi.....	55
6.4.1. Sorveglianza ambientale.....	56
6.4.2. Orientamenti in ambito Comunitario.....	57
7. CRITERI DI QUALITA' .....	70
7.1. Comparto aria.....	70
7.2. Acque.....	71
7.3. Suolo.....	72
7.4. Composti organoclorurati .....	73
BIBLIOGRAFIA.....	94
APPENDICE: CAMPIONAMENTO E ANALISI DEI RIFIUTI.....	95
Campionamento.....	96
Analisi .....	98

## 1. INTRODUZIONE

La produzione sempre maggiore di materiali, il loro utilizzo e circolazione, comporta un costante incremento di sostanze chimiche con conseguente relativo aumento di rifiuti ed in particolare di quelli che, secondo la legislazione nazionale, sono classificabili come tossici e nocivi. Recenti stime pubblicate dal Ministero dell'Ambiente (Ministero Ambiente, Rapporto sullo stato dell'ambiente, 1992) hanno evidenziato, a livello nazionale, una produzione di circa 35 milioni di tonnellate anno di rifiuti industriali, di cui circa il 10 % classificabili come tossici e nocivi.

La necessità di smaltire quantità sempre crescenti di rifiuti rappresenta un problema di non facile soluzione nella maggior parte dei paesi industrializzati. Inoltre, la rilevante variazione nella loro composizione qualitativa si presenta come problema aggiuntivo, che va affrontato attraverso nuove forme di approccio che privilegiano la prevenzione, piuttosto che l'intervento a valle. Infatti il migliore modo di affrontare tale problema deve essere inteso in maniera globale; la Commissione delle Comunità Europee (CEE) già nel suo primo "Programma di azione in materia ambientale" (1972) raccomandava l'adozione, a supporto di strategie di protezione dell'ambiente, di strategie di approccio globale e di prevenzione. Gli obiettivi prioritari indicati in tale programma erano:

- a) Produrre meno residui.
- b) Produrre residui meno dannosi.
- c) Programmare a scala territoriale adeguata le azioni di risanamento.
- d) Promuovere il recupero e il riutilizzo di materiali ed energia presenti nei residui.

Inoltre nel 1983, l'Organizzazione per la Cooperazione Economica e lo Sviluppo (OCSE) indicava come obiettivi prioritari:

- a) Selezione e controllo dei prodotti chimici esistenti (relativamente pochi sono stati verificati in modo rigoroso quanto ai loro effetti sulla salute e sull'ambiente).
- b) Sviluppo ed applicazione di efficaci misure di prevenzione degli incidenti e di controllo per quanto concerne il trasporto di sostanze pericolose a livello nazionale e internazionale.
- c) Risanamento delle discariche di rifiuti pericolosi e dei siti contaminati abbandonati, individuazione di nuove tecnologie di trattamento ed eliminazione.

Successivamente, nella Prima Conferenza Europea su Ambiente e Salute tenutasi a Francoforte il 7-8 dicembre 1989, veniva stilata dalla Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) la "Carta Europea su ambiente e salute" che, relativamente ai rifiuti, riportava:

nei "Principi per la sorveglianza e la vigilanza":

- "La produzione e l'emissione sul mercato dell'insieme delle sostanze chimiche, dei materiali, dei prodotti e dei rifiuti dovrebbe essere gestito in modo da raggiungere un uso ottimale delle risorse naturali e causare una minima contaminazione ambientale";

negli "Elementi strategici":

- "Si dovranno incoraggiare tecnologie e prodotti a basso impatto ambientale ed il riciclaggio ed il riutilizzo dei rifiuti. Dovranno essere operati dei cambiamenti, se necessario, nell'utilizzo delle materie prime, dei processi produttivi e delle tecniche di gestione dei rifiuti;

ed infine si indicavano nelle "Priorità":

- "Rifiuti tossici, inclusi la gestione, il trasporto e lo smaltimento".

Recentemente la CEE ha inteso adottare una strategia per la gestione dei rifiuti, riportata nella "Risoluzione del Consiglio delle Comunità Europee del 7 maggio 1990, sulla politica in materia di rifiuti", che definisce sei linee direttrici, che sinteticamente possono così essere schematizzate:

- 1) prevenzione,
- 2) riciclaggio e reimpiego,
- 3) ottimizzazione dello smaltimento finale,
- 4) regolazione del trasporto,
- 5) azioni di risanamento (es.: decontaminazione di siti),
- 6) applicazioni puntuali da parte degli stati membri della legislazione comunitaria e codici di buona prassi.

In tale risoluzione il Consiglio si è impegnato altresì a modificare le direttive 75/442/CEE relativa ai rifiuti e 78/319/CEE relativa ai rifiuti tossici.

## 2. CENNI SUGLI ASPETTI LEGISLATIVI

La situazione legislativa italiana in materia di rifiuti tossici e nocivi si è avviata verso un progressivo adeguamento della realtà comunitaria con il DPR n. 915 del 10 settembre 1982 "Attuazione delle direttive (CEE) n. 75/442 relativa ai rifiuti, n. 76/403 relativa allo smaltimento dei policlorodifenili e dei policlorotrifenili e n. 78/319 relativa ai rifiuti tossici e nocivi".

Secondo la definizione di legge che "per rifiuto si intende qualsiasi sostanza od oggetto derivante da attività umane o da cicli naturali, abbandonato o destinato all'abbandono" deve quindi essere ben distinto il rifiuto da quello che, a livello industriale, può costituire un sottoprodotto o un intermedio di lavorazione. Questo ha portato ad introdurre il concetto di "materia prima secondaria", che comprende tutti i residui che hanno una effettiva ed oggettiva destinazione finale nel riutilizzo, per ben distinguere che i rifiuti sono i residui di cui il detentore intende o ha l'obbligo di disfarsi.

In particolare con il citato DPR 915/1982 i rifiuti vengono classificati in : urbani, speciali, tossici e nocivi; con questa ultima nomenclatura vengono indicati tutti i rifiuti che contengono o sono contaminati da alcune sostanze e loro miscele. Tali sostanze, riportate in un apposito elenco contenuto nello stesso decreto, vengono di seguito elencate:

- 1) Arsenico e suoi composti;
- 2) Mercurio e suoi composti;
- 3) Cadmio e suoi composti;
- 4) Tallio e suoi composti;
- 5) Berillio e suoi composti;
- 6) Composti di cromo esavalente;
- 7) Piombo e suoi composti;
- 8) Antimonio e suoi composti;
- 9) Fenoli e loro composti;
- 10) Cianuri, organici e inorganici;
- 11) Isocianati;
- 12) Composti organoalogenati esclusi i polimeri inerti ed altre sostanze considerate nel presente elenco;
- 13) Solventi clorurati;
- 14) Solventi organici;
- 15) Biocidi sostanze fitofarmaceutiche;
- 16) Prodotti a base di catrame derivanti da procedimenti di raffinazione e residui catramosi derivanti da operazioni di distillazione;
- 17) Composti farmaceutici;
- 18) Perossidi, clorati, perclorati e azoturi;
- 19) Eteri;
- 20) Sostanze chimiche di laboratorio non identificabili e/o sostanze nuove i cui effetti sull'ambiente non sono conosciuti;
- 21) Amianto (polveri e fibre);
- 22) Selenio e suoi composti;
- 23) Tellurio e suoi composti;
- 24) Composti aromatici policiclici (con effetti cancerogeni);

- 25) Metalli carbonili;
- 26) Composti del rame solubili;
- 27) Sostanze acide e/o basiche impiegate nei trattamenti in superficie dei metalli;
- 28) Policlorodifenili, policlorotrifenili e loro miscele.

Successivamente, con la "Delibera Comitato Interministeriale 27 luglio 1984 Disposizioni per la prima applicazione dell'art. 4 del DPR 10 settembre 1982, n. 915" concernente lo smaltimento dei rifiuti, sono stati adottati due criteri per la classificazione dei rifiuti in "tossici e nocivi". Il primo è basato sulla presenza di uno o più componenti potenzialmente pericolosi in concentrazione superiore alle concentrazioni limite stabilite (Tabb. 1.1 e 1.2 della Delibera del Comitato Interministeriale del 27 luglio 1984), il secondo è basato sulle caratteristiche dei rifiuti quali prevedibili in funzione della loro provenienza e/o composizione merceologica. Vi è poi un terzo criterio, introdotto con il D.M. del 26 aprile 1989 (Istituzione del catasto nazionale dei rifiuti speciali), ed è quello dell'approssimazione; va applicato ai casi dubbi e fa riferimento al processo produttivo, all'origine, allo stato fisico, alle caratteristiche chimico-fisiche ed alla composizione del rifiuto.

La concreta applicazione delle norme succitate nel corso degli anni ha portato spesso a situazioni di oggettiva difficoltà nel classificare i rifiuti in tossici e nocivi, sia per i soggetti che smaltiscono i rifiuti, sia, anche se in misura minore, per gli organismi di controllo, soprattutto per ciò che concerne la presenza di componenti pericolosi, in quanto nella maggior parte dei casi sono assenti metodiche analitiche standardizzate.

Relativamente alla definizione "rifiuti tossici e nocivi" va osservato che ancora oggi, in base alla direttiva CEE 79/831 (più nota come "VI modifica della direttiva 67/548") sulla classificazione e disciplina dell'imballaggio e dell'etichettatura delle sostanze pericolose, "sono tossiche le sostanze ed i preparati che per ingestione, inalazione o penetrazione cutanea, possono comportare rischi gravi, acuti o cronici, anche la morte". La definizione di sostanze nocive per la stessa direttiva di cui sopra è: "sono nocive le sostanze ed i preparati che per ingestione, inalazione o penetrazione cutanea possono comportare rischi di gravità limitata"; risulta quindi, chiara la differenza che presentano le sostanze tossiche da quelle nocive. Attualmente, invece, la nostra legislazione accomuna le due definizioni identificando i rifiuti come "tossici e nocivi", a differenza della direttiva CEE 78/319 che definisce soltanto i "rifiuti tossici e pericolosi".

## **2.1. Classificazione dei rifiuti in base alle nuove direttive CEE**

Le azioni della Comunità Europea si basano su principi generali e sono guidate da strategie globali a medio e lungo termine e stabiliscono delle priorità generali da traslare in azioni fino al 2000. In sintesi la politica comunitaria in materia di rifiuti nel corso degli anni si è trasformata da azione di controllo ad azione di prevenzione, al fine di minimizzare il fabbisogno di smaltimento e di permettere una gestione di rifiuti più compatibile con l'ambiente. Tale evoluzione nasce dalla consapevolezza che i rifiuti costituiscono non solo una potenziale forma di inquinamento, bensì possono anche essere una fonte di risorse naturali. Infatti nella già citata Risoluzione del Consiglio del 7 Maggio 1990 viene data larga enfasi alla prevenzione della formazione del rifiuto, alla promozione del riciclaggio e del riuso, e, solo in seconda battuta, all'ottimizzazione dei metodi di smaltimento finale.

Recentemente la CEE ha emanato due nuove direttive: la 91/156/CEE del 18/03/1991 relativa ai rifiuti e la 91/689/CEE del 12/12/1991 relativa ai rifiuti pericolosi; esse modificano le precedenti: 75/442/CEE e 78/319/CEE. Nell'articolo 1 della direttiva 91/156/CEE si definisce come "rifiuto": "qualsiasi sostanza ed oggetto che rientri nelle categorie riportate nell'allegato I e di cui il detentore si disfi o abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi". Il Consiglio della CEE, con la stessa direttiva, ha dato mandato alla Commissione delle Comunità Europee di redigere un catalogo comunitario (liste positive dei rifiuti) che contenga e descriva tutti i tipi di rifiuti secondo criteri concordati. Inoltre tale catalogo dovrà contenere i tipi di rifiuti considerati nei cataloghi e nelle liste dei Paesi membri della CEE, della European Free Trade Agreement (EFTA), dell' OCSE e negli elenchi statistici comunitari dei rifiuti.

Per i rifiuti pericolosi la direttiva 91/689/CEE identifica come criterio classificatorio sia la presenza di sostanze pericolose, sia l'origine del rifiuto, sia le caratteristiche di pericolo esibite dal rifiuto stesso (Allegati 1, 2 e 3 della direttiva stessa). Per il trasporto fuori dal territorio della CEE il catalogo dovrà stabilire una correlazione con gli altri cataloghi dei Paesi dell' EFTA e con quello dell' OCSE ed inoltre anche con il catalogo dell' OCSE relativo al trasporto transfrontaliero dei rifiuti da avviare ad operazioni di valorizzazione (Decisione dell' OCSE C(92)39/Finale). Infine la correlazione andrà fatta anche con la lista della "Convenzione per il trasporto dei rifiuti pericolosi" concordata a Basilea nel 1989. Inoltre, nella stessa direttiva sopra citata, sono contenuti tre allegati nei quali si specificano ed elencano:

- 40 categorie di rifiuti pericolosi, individuate sia in base alla natura del residuo, sia all'attività che li ha prodotti;
- 51 categorie di sostanze che, se costituenti e/o presenti nel rifiuto, ne possono determinare la classificazione come pericoloso;
- 14 caratteristiche tipologiche di pericolo, definite in relazione ai rischi per l'ambiente e la salute.

Stessi criteri si riscontravano già nella citata Convenzione di Basilea del 1989 nella quale il rifiuto viene classificato pericoloso in base ai flussi produttivi, alla presenza di specie chimiche pericolose ed alle caratteristiche di pericolo che il rifiuto stesso può esibire. L'orientamento in ambito internazionale appare quindi quello di procedere ad una classificazione dei rifiuti attraverso l'esame di più parametri; inoltre un elemento innovativo appare quello di considerare il reale pericolo per l'uomo e l'ambiente, che il rifiuto può presentare, quale parametro di giudizio determinante per la sua classificazione.

Il mandato del Consiglio della CEE di redigere un catalogo europeo dei rifiuti prevede anche l'elaborazione di una lista di rifiuti pericolosi che si baserà sugli allegati 1, 2 e 3 della Direttiva sui rifiuti pericolosi 91/689/CEE.

## 2.2. Scenario futuro

Quando le nuove direttive comunitarie diverranno norme dello Stato italiano, la categoria dei "rifiuti tossici e nocivi", oggi presente nella normativa vigente, sarà sostituita da quella dei "rifiuti pericolosi" individuati questi ultimi anche in base alle caratteristiche di pericolosità molto simili a quelle indicate nei disposti normativi relativi alla etichettatura e imballaggio delle sostanze e preparati pericolosi (Direttiva del

Consiglio 67/548/CEE e successive modifiche e integrazioni). Sembra evidente quindi come, a livello comunitario, vi sia l'intenzione di unificare le categorie di pericolosità dei rifiuti e quelle delle sostanze e preparati pericolosi. Tale avvicinamento normativo appare opportuno in quanto in tal modo si verrà a gestire con le stesse modalità una "materia prima e/o un preparato pericoloso" ed un "rifiuto pericoloso".

Al fine di identificare i gruppi e le categorie omogenee di rifiuti pericolosi si dovrà procedere, quindi, alla:

a) identificazione delle attività industriali a maggior rischio di produzione di rifiuti pericolosi (tramite una caratterizzazione in termini chimico-fisici degli "input-output" produttivi);

b) identificazione nel rifiuto di contaminanti che rendono il rifiuto stesso pericoloso. In quest'ultimo caso si potrà procedere all'individuazione di tali contaminanti sulla base dell'allegato 2 della già citata direttiva comunitaria sui rifiuti pericolosi, con la possibilità (da parte dei Paesi membri) di ampliare tale elenco tenendo conto di fattori quali: la pericolosità intrinseca, il comportamento ambientale della sostanza stessa (destino, diffusione, persistenza, fugacità ecc.) e le vie di esposizione.

Va altresì rilevato come, ancora oggi, siano lacunose le conoscenze sui dati tossicologici ed epidemiologici riferiti ai rifiuti, poichè i dati reperibili si riferiscono quasi sempre a sostanze pure. Risulta quindi necessario approfondire le conoscenze sulla materia da vari punti di vista: tossicologico, epidemiologico, ecotossicologico ed anche nel campo delle metodiche di prelievo ed analisi (al fine di consentire periodiche ed accurate indagini alla portata anche di laboratori di primo livello). Infatti, ad esempio, per ciò che concerne i saggi per l'identificazione delle caratteristiche chimico-fisiche, della tossicità ed ecotossicità a tutt'oggi sono stati emanati solo i test relativi alle sostanze pure od ai preparati la cui composizione è in genere nota.

Altro requisito fondamentale per una corretta strategia di gestione dei rifiuti deve essere la disponibilità di informazioni attendibili e raccolte in modo sistematico, secondo protocolli prestabiliti, sulla quantità, natura ed origine dei rifiuti stessi.

A tale proposito si ricordano le proposte di direttiva relative all'incenerimento ed alla discarica dei rifiuti ("Proposta di direttiva del Consiglio della CEE sull'incenerimento dei rifiuti" e "Proposta di direttiva del Consiglio della CEE relativa alla discarica dei rifiuti") che forniscono anche una serie di indicazioni sulle procedure operative e sui controlli (vedi cap. 6).

### 3. TIPOLOGIA DEI RIFIUTI SPECIALI E LORO PROVENIENZA

Diverse possono essere le provenienze e la natura dei rifiuti speciali; una loro suddivisione schematica, e comunque arbitraria, può essere fatta tra solidi e semisolidi, pastosi e liquidi.

a) Tra i rifiuti speciali solidi si hanno:

- Gli assimilabili agli urbani; si tratta di rifiuti di ristorazione collettiva, mensa, spazzatura di ambienti, stracci, carta, plastica, legno e altri che per tipologia, caratteristiche e quantitativi sono analoghi ai rifiuti di provenienza civile.
- Gli inerti; comprendono quei rifiuti che non presentano reattività chimica residua, quali: terre di fonderia, sabbie, ceneri e scorie, abrasivi, materiali refrattari, laterizi, piastrelle, prefabbricati, marmo, vetro, macerie.
- I materiali metallici; si tratta di trucioli, sfridi e rottami metallici, scaglie di laminazione, contenitori vari, materiali da demolire, ecc..
- I materiali cellullosici; comprendono sostanzialmente carta e cartone, legno e segatura, tessuti, imballaggi, ecc..
- Le gomme e le plastiche; generalmente provengono da magazzini di ricevimento e di spedizione (contenitori, imballaggi di scarto), dagli uffici, ecc. Si tratta in genere di materiali facilmente isolabili dagli altri rifiuti e quindi recuperabili se presenti in quantitativi significativi, nei casi in cui il recupero non sia conveniente o non venga effettuato questo tipo di rifiuto va ad incrementare il gruppo degli assimilabili agli urbani.
- Le sostanze organiche; sono compresi in questa definizione rifiuti di origine vegetale e animale proveniente per la grande maggioranza dalle industrie alimentari, tessili, pelli, cuoio e calzature.
- Altri rifiuti che per quantità o per qualità possono non essere evidenziati separatamente quali contenitori vari in metallo e plastica, sacchi vuoti, scarti di lavorazioni.

b) Tra i rifiuti semisolidi, pastosi e liquidi si hanno:

- Fanghi; si tratta di un rifiuto proveniente dal ciclo di lavorazione o dagli impianti di depurazione delle acque di processo, la loro composizione può essere di natura organica, inorganica o mista.
- Liquidi; generalmente costituiti da solventi, olii, emulsioni oleose, bagni esausti concentrati, reflui dell'industria chimica, inchiostri, ecc..

Delle categorie sopra esposte solo alcune, in relazione al loro contenuto e provenienza, rientrano nei RTN. Di seguito si riportano per i maggiori settori industriali le principali tipologie di rifiuti prodotte e la loro composizione di massima.

#### 3.1. Settore metallurgico

Le aziende del settore metallurgico sono quelle nelle quali si ha la produzione e prima trasformazione dei metalli; in base ai cicli produttivi è possibile una loro suddivisione in:

- a) fonderia di prima fusione, alla quale può essere allegata la lavorazione dell'acciaio a ciclo integrato;
- b) produzione di ghisa, acciaio, ferroleghie e laminati di ferro e di acciaio;
- c) produzione e lavorazioni di pezzi e di fili, lamiere e nastri in ferro e acciaio;

d) produzione e lavorazione dei metalli non ferrosi.

- Le tipologie di rifiuti che si possono originare dalle industrie metallurgiche sono:
- loppe d'altoforno; essenzialmente costituite da  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$  provenienti esclusivamente dalle fonderie di prima fusione e vengono in larga parte impiegate nei cementifici e nell'industria del vetro. Possono essere classificate come tossiche e nocive per la presenza di arsenico;
  - scorie e ceneri di acciaieria; vengono in genere riciclate nei cicli produttivi o possono essere utilizzate per sottofondi stradali;
  - sfridi di materozze, trucioli, rottami metallici, polveri di molatura; vengono recuperati quasi interamente all'interno dei cicli produttivi o venduti ad altri utilizzatori;
  - scaglie di laminazione; vengono solo parzialmente recuperate in quanto la maggior parte è inquinata da scorie, ossidi metallici, terre e sabbie;
  - polveri provenienti dai filtri a secco delle emissioni di fonderie di prima fusione; possono essere reinserite nel ciclo produttivo previa pellettizzazione, mentre le altre, delle quali oltre agli ossidi di ferro sono presenti anche metalli pesanti tossici, vengono in genere smaltite;
  - terre e sabbie di fonderia; provenienti essenzialmente da reparti di formatura, possono essere inquinate da sostanze tossiche quali pigmenti e resine fenoliche utilizzate come leganti e additivi;
  - macerie e refrattari derivanti dalle operazioni di manutenzioni dei forni;
  - fanghi provenienti dalla depurazione ad umido dei fumi; contengono metalli pesanti in quantità variabile;
  - fanghi di decantazione delle acque tecnologiche utilizzate in ricircolo per il lavaggio dei fumi e per il raffreddamento e dissabbiatura pezzi;
  - fanghi di decapaggio; provenienti dalla neutralizzazione dei bagni di trattamento e dalle acque di lavaggio dei prodotti decapati. Nel caso di impiego di acido cloridrico, è possibile recuperare direttamente dagli scarichi liquidi l'acido e gli ossidi di ferro presenti, mentre nel caso di impiego di acido solforico si può giungere ad ottenere del solfato ferroso che viene in parte riutilizzato sfruttandone il potere flocculante. Talvolta i fanghi di decapaggio possono contenere rame e cromo, in concentrazioni tali da renderne possibile il recupero;
  - morchie e fanghi oleosi derivati essenzialmente dalle operazioni di manutenzione. In alcuni casi sarebbe anche possibile utilizzarli come combustibili;
  - fanghi biologici provenienti soprattutto dal trattamento delle acque utilizzate per la depurazione dei fumi delle cokerie annesse alle fonderie di prima fusione. In tali acque possono essere presenti fenoli, cianuri, ammoniaca, metalli pesanti;
  - oli ed emulsioni esauste; vengono utilizzati come lubrificanti, refrigeranti o per le operazioni di tempra. Solo una parte di essi viene attualmente recuperata tramite l'incenerimento con recupero di calore all'interno delle stesse unità produttive o mediante cessione a ditte specializzate nella loro rigenerazione (tale conferimento deve essere effettuato attraverso il Consorzio Obbligatorio per gli Oli Usati).

Per quanto riguarda le tipologie di rifiuti che si possono originare dalle industrie di minerali non ferrosi si hanno:

- materiali inerti quali silice, sabbia, terra, argille, provenienti dalla decantazione delle acque utilizzate per il lavaggio delle materie prime. Tali materiali possono essere usati come materiali di riempimento per sottofondi stradali o smaltiti come rifiuti;
- polveri di materiali abrasivi ed altre sostanze inerti; tali residui generatisi nel corso delle lavorazioni unitamente a manufatti finiti, difettosi o rotti vengono reimmessi nel ciclo produttivo o inviati a discarica;
- materiali refrattari: provenienti da operazioni di manutenzione dei forni;
- polveri e fanghi derivanti dalla depurazione a secco o ad umido dei fumi che possono contenere notevoli quantità di metalli tossici.

### 3.2. Settore chimico

In questo settore sono comprese aziende che effettuano lavorazioni di tipo assai diverso quali:

- a) produzione di prodotti chimici di base;
- b) produzione di mastici, pitture, vernici e inchiostri da stampa;
- c) produzione di prodotti chimici principalmente destinati all'industria e all'agricoltura, ecc.;
- d) produzione di prodotti farmaceutici.

I sottoprodotti dei cicli produttivi comprendono numerosi composti chimici organici ed inorganici, ivi comprese sostanze tossiche. Un elenco completo degli scarti e dei rifiuti delle industrie chimiche risulta di difficile compilazione, in prima approssimazione si possono citare:

- solventi organici e clorurati;
- soluzioni saline, soluzioni organiche e alogenate;
- glicoli, plastificanti, composti organici vari;
- fanghi contenenti mercurio;
- fanghi da impianti di depurazione chimico-fisici contenenti metalli pesanti e fenoli;
- fanghi biologici;
- melme oleose e fondami di serbatoi;
- terre di filtrazioni e decoloranti inquinate da oli e da altri prodotti;
- prodotti chimici e vernici di scarto;
- peci da operazioni di distillazione e rettifica;
- materie plastiche;
- polveri da impianti di filtrazione a secco.

### 3.3. Settore metalmeccanico

Tale settore comprende:

- a) costruzione e installazione di macchine e materiale meccanico;
- b) costruzione, installazione e riparazione di macchine per ufficio, di macchine e di impianti per l'elaborazione dei dati;
- c) costruzione, installazione di impianti e riparazione di materiale elettrico ed elettronico;
- d) costruzione e montaggio di autoveicoli e mezzi di trasporto, carrozzerie parti ed accessori;
- e) costruzione di strumenti e apparecchi di precisione medico-chirurgici-ottici ed affini.

Per quanto riguarda le aziende appartenenti a queste classi, i principali rifiuti generati sono:

- sfridi, trucioli, torniture e rottami metallici ferrosi e non ferrosi; tali scarti, prodotti in notevoli quantitativi, sono quasi completamente recuperati, eventualmente dopo operazioni preliminari di selezione od eliminazione di elementi inquinanti;
- oli interi ed emulsioni oleose esauste; largamente utilizzati nei diversi cicli produttivi sia a scopo di refrigerazione che di lubrificazione, sono parzialmente ceduti a ditte rigeneratrici per quanto riguarda gli oli;
- idrocarburi, solventi organici e solventi clorurati; provenienti dalle vasche di sgrassaggio e dalla pulizia di pezzi ed apparecchiature, possono essere in alcuni casi recuperati tramite distillazione o trattati con accorgimenti particolari nel caso contengano composti clorurati;
- bagni concentrati esausti contenenti acidi, basi, cianuri; vengono sottoposti a depurazione e danno origine a fanghi contenenti sostanze nocive;
- fanghi di galvanica e da trattamenti superficiali; derivano dalla depurazione dei bagni concentrati e delle acque di lavaggio utilizzate nelle officine che eseguono trattamenti superficiali ed elettro galvanici; possono contenere rame, nichel, cromo;
- sali di tempra; possono costituire un rifiuto estremamente pericoloso in quanto sono per la maggior parte dei prodotti a base di cianuri e richiedono pertanto dei trattamenti preliminari per poter essere smaltiti correttamente;
- melme e fanghi da lavorazioni meccaniche; si originano essenzialmente nel corso delle operazioni di rettifica e sono costituiti da polverino di ferro, olio, acqua, materiali abrasivi;
- melme di verniciatura; sono costituite essenzialmente della parte di vernici e solventi abbattuti nelle cabine di verniciatura a velo d'acqua, possono contenere metalli pesanti che le rendono potenzialmente tossiche. Essendo costituite in buona parte da resine termoindurenti non ancora polimerizzate possono essere in parte riciclate nella produzione delle stesse vernici;
- fanghi di depurazione acque tecnologiche; provengono dalla depurazione finale degli scarichi industriali ed hanno un tenore di acqua variabile dal 60% all' 80% mentre il residuo secco può essere costituito da idrossidi di metalli pesanti e flocculanti inorganici con possibili tracce di oli minerali;
- fanghi biologici; derivano essenzialmente dal trattamento delle acque nere e sono presenti in alcuni stabilimenti di grandi dimensioni che operano direttamente tale trattamento;
- polveri da filtrazione emissioni; sono essenzialmente costituite da polverino metallico e da materiali abrasivi generati dall'usura delle carte e dei nastri a vetro;
- rifiuti vari; costituiti da materiali eterogenei quali batterie e pneumatici fuori uso, cavi elettrici da rottamare, ecc. provenienti dai servizi e dalle officine.

### 3.4. Settore agro-alimentare

In questo settore è prevalente la produzione di rifiuti soprattutto di tipo organico le cui caratteristiche dipendono strettamente dalle materie prime utilizzate e dalle tipologie industriali quali:

- a) Industrie dei grassi animali e vegetali, della macellazione del bestiame, della preparazione e conservazione della carne; da esse si generano essenzialmente scarti costituiti da ossa, sangue, grasso, che possono essere recuperati per la produzione di farine animali, stearina, oleina ed altri prodotti. Un rifiuto quantitativamente importante é costituito anche dai fanghi biologici degli impianti di depurazione; analoghi sono i rifiuti provenienti dalle industrie della lavorazione e conservazione del pesce.
- b) Industrie casearie; i principali sottoprodotti di tali industrie sono costituiti da siero o da latticello e si trovano, in genere, anche negli scarichi delle aziende che producono derivati del latte.
- c) Industrie della trasformazione e conservazione di frutta, ortaggi e funghi; da una origine a rifiuti costituiti da semi, da bucce, da scarti di lavorazione e da terra che si accompagna ai fanghi degli impianti di depurazione delle acque di lavaggio.
- d) Industrie della lavorazione delle granaglie, delle paste alimentari, panificazione e pasticceria, dei prodotti amidacei; da una origine a rifiuti assimilabili agli urbani e costituiti, a seconda del caso, da scarti di crusca, germe di grano, farinacei, riutilizzati nella produzione di mangimi.
- e) Industrie della produzione e raffinazione dello zucchero, del cacao, del cioccolato e dolci in genere; originano essenzialmente degli scarichi liquidi ad alto tenore zuccherino e di elevato valore se recuperati.
- f) Industrie di prodotti alimentari per zootecnica; vengono generati rifiuti che sono per lo più riciclabili.
- g) Industrie dell'alcool etilico, di acquaviti e liquori, del vino, della birra e del malto; i principali residui sono costituiti da raspi d'uva, fecce e vinacce (che vengono in parte sottoposti a successiva estrazione e distillazione), da farine fossili, bentonite e carboni utilizzati come mezzi filtranti e decoloranti (che possono essere inquinati da ferrocianuro di potassio), da fanghi biologici provenienti dalla depurazione degli scarichi liquidi.
- h) Industria olearia; produce come sottoprodotti acque di vegetazione e sansa, da quest'ultima vengono estratti, mediante solvente, oli di sansa. Le sanse esauste trovano applicazione nella produzione di mangimi per animali, nella produzione di furfurolo, nella produzione di carboni attivi; vengono inoltre anche usate come combustibile "non convenzionale" negli stessi sansifici.
- i) Industria idrominerale: i rifiuti prodotti comprendono essenzialmente vetri di bottiglie rotte od inutilizzabili, carboni disattivati, fanghi dal trattamento delle soluzioni di lavaggio delle bottiglie e delle apparecchiature.

### 3.5. Settore tessile

In tale settore si ha, per la produzione di fibre artificiali e sintetiche, una serie di rifiuti provenienti dalle lavorazioni quali: residui di acetato di cellulosa, di caprolattame, di polimeri e monomeri, di sostanze organiche ed inoltre fanghi di trattamento delle acque tecnologiche che possono contenere metalli pesanti ed in particolare rame.

Nella lavorazione delle fibre naturali e sintetiche, in termini di rifiuti, il problema maggiore é costituito dal trattamento degli scarichi liquidi. Principalmente nelle aziende in cui vengono svolte operazioni di sgrassatura, sbazzatura, carbonizzazione, mercerizzazione, sbianca e candeggio, tintura, stampa, appretto, finissaggio, sono utilizzati bagni concentrati contenenti sostanze potenzialmente tossiche quali fenoli,

solventi clorurati, sali di cromo, composti organici vari, acidi e basi. Possibili recuperi si possono avere per la lanolina, ottenibile dal grasso di lana presente nelle acque di sgrassatura e lavatura della lana, e per la peluria, costituita da fibre provenienti da varie lavorazioni sia ad umido che a secco dell'industria tessile. Altri rifiuti delle aziende del settore tessile sono rappresentate da cascami e filati di lavorazione, non sempre recuperabili, e da quelli assimilabili ai rifiuti urbani nei quali risulta esserci una discreta presenza di imballi e contenitori in materie plastiche.

### **3.6. Settore pelli e cuoio**

L'attività delle industrie delle pelli e del cuoio dà origine a scarichi liquidi e rifiuti solidi che presentano notevoli problemi di smaltimento; in particolare nel corso delle lavorazioni di sgrassaggio pelli, concia, tiratura, viene fatto uso di bagni concentrati e di soluzioni contenenti anche sostanze potenzialmente tossiche. La loro depurazione, unitamente a quelle delle acque provenienti dai lavaggi e dai risciacqui successivi alle singole lavorazioni, dà origine a fanghi di difficile smaltimento; inoltre nel corso delle varie operazioni produttive si originano anche notevoli quantitativi di rifiuti solidi. Attualmente solo una parte limitata di tali rifiuti viene recuperata, principalmente per la fabbricazione di colle e "carton-cuoio". Sono possibili recuperi di scarti di conceria per la produzione di mangimi e di fertilizzanti o per la produzione di biogas.

### **3.7. Settore calzature e abbigliamento**

I principali scarti delle industrie delle calzature sono costituiti da ritagli e sfridi in pelle, cuoio e gomma e da polveri di materiali abrasivi utilizzati nel corso delle lavorazioni. I ritagli e gli sfridi in pelle e cuoio sono in parte commercializzati mentre quelli di gomma finiscono generalmente in discarica. Le industrie del vestiario e dell'abbigliamento sono quelle con la minore produzione di rifiuti, quasi interamente costituiti da sfridi di materiali lavorati, che vengono in genere commercializzati, e da rifiuti assimilabili dagli urbani.

### **3.8. Settore legno**

Gli scarti delle industrie del legno sono costituiti essenzialmente da cortecce, trucioli, ritagli, segatura e polveri di legno. A seconda delle dimensioni e della localizzazione delle aziende, tali residui vengono utilizzati dalle cartiere, dalle industrie dei pannelli truciolati, inceneriti con o senza recupero di energia termica o avviati a discarica. Altri rifiuti che si generano in misura limitata nelle industrie del legno sono: oli e sostanze grasse provenienti dalla lubrificazione dei macchinari, fanghi di depurazione delle acque di lavaggio delle apparecchiature per la preparazione di colle e resine. Il tipo di rifiuti prodotti nelle aziende del mobile in legno è analogo a quello delle industrie del legno; si possono avere in aggiunta dei solventi esausti e delle morchie provenienti da operazioni di verniciatura.

### 3.9. Settore carta e stampa

In questa classe sono comprese le industrie che producono e trasformano la carta, fino alla fabbricazione dei relativi prodotti, sono inoltre incluse anche le industrie della stampa, poligrafiche, editoriali ed affini. I principali residui delle industrie della carta e cartotecniche sono essenzialmente costituiti da cortecce e sfridi di legno, generatisi nelle prime operazioni di scortecciatura e taglio delle materie prime in ingresso, e dai fanghi di depurazione degli effluenti, generalmente inquinati da sostanze in sospensione e da sostanze organiche. Altri rifiuti possono essere costituiti da carta non macerabile o parzialmente macerata, sfridi di carta e cartone, sfridi di materie plastiche; una parte di tali scarti può essere recuperata come combustibile (RDF), può anche essere interessante una valorizzazione dei fanghi derivanti dalla depurazione degli effluenti dato il loro alto contenuto in materiale organico.

Dalle lavorazioni delle industrie poligrafiche, editoriali ed affini si generano degli sfridi di carta e cartone, quasi interamente commercializzati, e degli scarichi liquidi in quantitativi limitati ma che possono contenere una alta concentrazione di inquinanti. Infatti nelle operazioni di preparazione lastre nei reparti di fotoincisione, di lavaggio rulli di sviluppo e fissaggio e di lavaggio manuale delle macchine da stampa si generano degli effluenti liquidi che possono contenere solventi (quali: petrolio, benzina, toluene, ragia minerale), acido fosforico, metalli (cromo esavalente, rame, zinco), resine, inchiostri, sostanze grasse.

### 3.10. Settore gomma e manufatti di materie plastiche

I principali rifiuti prodotti delle aziende della gomma sono rappresentate da:

- scarti di mescole, sfridi e ritagli in gomma pura o con inserti tessili o metallici;
- nerofumo;
- oli o morchie oleose;
- solventi e prodotti organici vari;
- fanghi da impianti trattamento delle acque tecnologiche.

Un recupero di alcuni scarti potrebbe essere previsto associandoli ai pneumatici usurati che vengono attualmente parzialmente recuperati o riciclati nelle stesse aziende o utilizzati come combustibile alternativo grazie al loro alto potere calorifero. I rifiuti delle industrie di manufatti in materie plastiche sono essenzialmente costituiti da sfridi di lavorazione, materiali provenienti dalle operazioni di pulizia macchine, scarti di prodotti e imballi. Possono essere suddivisi in termoplastici e termoindurenti; i primi sono già in buona parte recuperati o all'interno dello stesso ciclo produttivo o dopo essere stati sottoposti ad opportuni trattamenti di rigenerazione, i secondi sono invece solo in piccola parte utilizzati o come cariche inerti o come combustibili per sfruttarne l'elevato potere calorifico. Un altro tipo di rifiuto che può essere presente in alcune aziende del settore è costituito da fanghi di trattamento delle acque tecnologiche che possono contenere metalli tossici.

### 3.11. Settore petrolifero

Il settore petrolifero, escludendo la fase di estrazione del greggio, comprende essenzialmente:

- a) La raffinazione del greggio, che provvede alla produzione dei diversi prodotti mediante una serie di operazioni chimiche e fisiche.
- b) I depositi, che provvedono allo stoccaggio ed alla distribuzione dei diversi prodotti.
- c) Le stazioni di servizio, che provvedono alla vendita al dettaglio dei prodotti petroliferi.

Le principali operazioni che possono dar luogo alla produzione di rifiuti sono relative a processi di trattamento dei prodotti petroliferi e di bonifica di serbatoi, terreni, parti di impianto; detti rifiuti sono quindi costituiti da:

- Fondami di serbatoio relativi a stoccaggio di: olio combustibile, gas, benzina etilata, greggio, prodotti intermedi (lubrificanti, nafta).
- Terreni, stabilizzati e inertizzati, inquinati da sversamenti accidentali o da perdite di idrocarburi.
- Prodotti chimici esausti quali: soda, monoetanolamina, dietanolamina. In particolare sulle sode esauste si ha la presenza di solfuro di sodio, mercaptani, fenoli, idrocarburi.
- Fanghi di alchilazione che contengono polimeri fluorurati, calce e potassa.
- Bitumi fuori specifica.
- Catalizzatori esausti costituiti da: supporti e sfere di allumina, setacci molecolari, allumina attivata, silice e allumina, cobalto, molibdeno, ossido di zinco.
- Rifiuti assimilabili agli urbani provenienti da operazioni di pulizia e manutenzione di edifici e impianti.

Nella tabella 1 vengono riassunte le principali tipologie di rifiuti, classificabili come speciali o tossici e nocivi, desunte dall'esame delle dichiarazioni effettuate da alcune raffinerie italiane in base al DM 26 aprile 1989 "Istituzione del catasto nazionale dei rifiuti speciali". Nella stessa si riporta la denominazione attribuita al rifiuto, il processo che lo ha generato e la classificazione che ne è stata data in base alle attuali normative. In questo settore i processi di trattamento dei fondami di serbatoi, contenenti gasolio, olio combustibile, benzina etilata e benzina senza piombo, sono quelli che maggiormente contribuiscono alla produzione di rifiuti. Sostanzialmente tali operazioni consistono in un lavaggio di serbatoi e nel recupero di frazioni organiche che vengono riutilizzate, il residuo acquoso viene avviato all'impianto di depurazione delle acque reflue e i fanghi stabilizzati e inertizzati avviati in discarica. Nella figura 1 viene riportata una schematizzazione del trattamento dei fondami di serbatoio che consiste essenzialmente in una asportazione dei fondami stessi mediante emulsione in acqua e successiva precipitazione dei solidi mediante flocculazione con polielettroliti e separazione della fase oleosa mediante centrifugazione. Le successive fasi di trattamento dei fanghi derivanti dalla flocculazione consistono in una separazione per centrifugazione, un trattamento chimico di stabilizzazione con calce ed infine in una inertizzazione per il finale avvio in discarica; la figura 2 illustra in dettaglio lo schema di tali operazioni.

### **3.12. Altri settori manifatturieri**

Si possono comprendere in questa classe:

- a) produzione di oreficeria, argenteria, ecc. ;
- b) costruzione di strumenti musicali ad accessori relativi;
- c) costruzione di giochi ed articoli sportivi;
- d) laboratori fotografici e cinematografici;
- c) industrie del confezionamento di generi alimentari, non alimentari, ecc..

In particolare per quanto riguarda i laboratori fotografici, i rifiuti maggiori sono rappresentati dagli scarichi liquidi provenienti dal ciclo di sviluppo, fissaggio e lavaggio delle pellicole, in quanto possono contenere sali riducenti, prodotti organici, metalli. I principali scarti prodotti dagli altri tipi di industrie di questa classe consistono in: rifiuti assimilabili agli urbani, sfridi di materiali metallici, di filati e tessuti, di materie plastiche, fanghi di depurazione acque, soluzioni esauste contenenti metalli pregiati che vengono recuperati.

La nuova direttiva CEE sui rifiuti pericolosi (91/689/CEE del 12/12/1991) identifica i rifiuti pericolosi anche in base all'attività che li ha prodotti; secondo tale indicazione è possibile identificare le attività produttive, seguendo come traccia la classificazione ISTAT (in rami, classi, sottoclassi e categorie), che possono generare rifiuti potenzialmente tossici e nocivi in base alla presenza di specie chimiche pericolose. Nella tabella 2 si riportano, seguendo la suddetta schematizzazione, le attività industriali ed i possibili RTN da esse prodotti.

Tabella 1.

Principali tipologie di rifiuti speciali tossici e nocivi nel settore petrolifero, loro provenienza e possibile classificazione secondo le attuali normative (Elaborazione degli A.A. su dati sperimentali).

DENOMINAZIONE DEL RIFIUTO	PROCESSO CHE PRODUCE IL RIFIUTO	CLASSIFICAZIONE*
Fanghi di depurazione	Depuratori acque tecnologiche	RS
Fanghi oleosi	Stoccaggi e trattamenti di inertizzazione	RS
Fanghi di alchilazione	Alchilazione butileni con isobutano e acido fluoridrico	RS
Fanghi thickener	Impessimento fanghi trattamento primario acque	RS
Catalizzatori esausti	Polimerizzazione catalitica	RS
Allumina spenta	Isomerizzazione n-butano	RS
Allumina e gel di silice	Essiccamento gas di processo	RS
Cobalto e molibdeno	Desolfurazione catalitica	RS
Ossido di zinco	Desolfurazione gas strippaggio di lubrificanti	RS
Sfere di allumina	Catalisi idrocarburi	RTN
Gel di silice esausto	Essiccamento gas processo	RS
Soluzioni alcaline (sode spente) provenienti dal "sour water stripper" (SWS)	Strippaggio gas acque reflue acide	RTN
Fanghi oleosi contenenti: - materiale lapideo inquinato da sostanze oleose - terriccio inquinato - rifiuti vari (terre/coke/zolfo) - rifiuti vari	Bonifica terreno Bonifica terreno Bonifica parti impianti Bonifica parti impianti	RS RS RS RTN
Zolfo	Recupero zolfo da gas acido	RS
Melme da torri di raffreddamento	Torri di raffreddamento acqua industriale	RS
Morchie bitume	Bonifica vasche acque reflue	RTN
Carbone disattivato	Condizionamento aria (filtri)	RS
Carbone attivo esausto	Filtri a carbone attivo	RS
Amianto	Smantellamento strutture	RTN
Rifiuti vari	Bonifica parti impianti	RTN
Rottami ferro	Stoccaggio piombo tetraetile	RTN
Ceneri cammi	Pulizia cammi forni	RS
Anelli rashing	Mantenimento colonne lavaggio	RS
Soda esausta	Lavaggio benzina semilavorata	RTN
Metanolammia (MEA) esausta	Desolfurazione combustibili e gas	RTN
Residui con amianto	Sosinibentazioni impianti e linee	RTN
Fondami di serbatoio	Bonifica serbatoi prodotti petroliferi	RS, RTN

\* Nota:

RS = rifiuto speciale.

RTN = rifiuto tossico e nocivo.

Tabella 2.

Attività industriali, suddivise secondo la classificazione ISTAT, e principali rifiuti speciali, tossici e nocivi che possono essere prodotti (Regione Emilia Romagna, 1989).

RAMO	CLASSE	SOTTOCLASSE	CATEGORIA	RIFIUTI SPECIALI, TOSSICI E NOCIVI
Estrazione di combustibili solidi, liquidi e gassosi- Industria petrolifera	Cokerie (comprese quelle annesse a stabilimenti siderurgici)	Cokerie (comprese quelle annesse a stabilimenti siderurgici)		Monoclorofenolo-Triclorofenolo- Altri solventi organici non alogenati- Mercaptani-Cianuri
	Industria delle estrazioni di petrolio e gas naturali	Estrazione con annessa distillazione di roccia asfaltica e scisti bituminosi		Fenoli-Mercaptani-Cianuri
	Industria petrolifera	Industria petrolifera	Raffinerie di petrolio Preparazione o miscelazione di derivati del petrolio (esclusa la petrolchimica)	Catalizzatori- Terre da sbianca- Mercaptani-Fenoli-Resine-Acidi- Catrame acido-Sostanze organiche estraibili in etere di petrolio
Energia elettrica, gas e acqua	Industria della produzione e distribuzione di energia elettrica, gas, vapore e acqua calda	Produzione e distribuzione di energia elettrica  Produzione e distribuzione del gas	Officine del gas, distribuzione del gas a mezzo di reti cittadine	PCB  Fenoli-Cresoli-Tiocianati-Tiosolfati
Industrie estrattive- Industrie manifatturiere per la lavorazione di minerali non energetici e prodotti derivati- Industrie chimiche	Industria della produzione e prima trasformazione dei metalli	Produzione e prima trasformazione dei metalli non ferrosi	Produzione di metalli non ferrosi di prima e seconda fusione	Composti di arsenico-Metalli
	Industria della lavorazione dei minerali non metalliferi	Produzione di articoli in amianto (esclusi quelli in amianto-cemento)		Filtri e corpi adsorbenti come Farina fossile-Terre attive-Carbone attivo- Residui contenenti fibre di amianto

segue tabella 2.

Industrie estrattive- Industrie manifatturiere per la trasformazione di minerali non energetici e prodotti derivati- Industrie chimiche	Industrie chimiche	Produzione di prodotti chimici di base		Cloruro di etile-Clorobenzolo-Clorofornio- Triclorofenolo-Cloruro di metile- Monoclorofenolo-Paraffina clorurata- Perclore etilene-Plasticanti in PVC- Tetracloruro di carbonio-Tricloro Etano- Tricloro Etilene-Acetone-Acetano di etile- Glicole etilenico-Etilfenolo-Benzolo- Acetano di butile-Cicloesano- Decaidronaftalina- Etere dietilico- Dietilformammide-Dimetilsolfuro-Ossido di dimetilsolfuro-Diossano-Metanolo- Metilacetato-Metiletilchetone-Iidrochinone- Metil isobutil chetone-Metilfenolo-Piridina- Solfuro di Carbonio- Tetraidrofurano-Tetraidronaftalina- Trementina-Toluolo-Xilolo-Sali di metalli pesanti e non-Catalizzatori- Ferrocianuri
		Produzione di mastici, vernici, pitture e inchiostri da stampa		
		Produzione di altri prodotti chimici principalmente destinati all'industria e all'agricoltura	Produzione di prodotti chimici per l'agricol- tura e di insetticidi	Insetticidi-Erbicidi-Fungicidi- Rodenticidi-Acaricidi-Molluscicidi- Pesticidi in genere
		Produzione di prodotti farmaceutici		Fenoli-Tannini-Metalli pesanti- Tensioattivi-Etanol-Toulene-Acetone- Clorofornio-Sostanze estraibili in etere di petrolio-Esteri -Complessi-Residui di tessuti animali e vegetali trattati-Esteri fosforati
	Produzione di altri prodotti chimici	Produzione di prodotti fotochimici	Produzione di specialità chimiche per uso domestico e manutenzione	Stessi rifiuti delle sottoclassi produzioni di prodotti chimici di base, di vernici e altri prodotti chimici. In particolare: Ferrocianuri-Metalli pesanti-Fenoli- Idrochinone-Metanolo.
	Produzione di prodotti chimici per ufficio e consumo non industriale			
Industria della produzione di fibre artificiali e sintetiche	Industria della produzione di fibre artificiali e sintetiche		Metalli pesanti (Zinco-Rame)-Oli- Sostanze organiche	

segue tabella 2.

Industrie manifatturiere per la lavorazione e la trasformazione dei metalli-Meccanica di precisione	Industria della costruzione di prodotti in metallo (escluse le macchine e i materiali da trasporto)	Fonderie	Fonderie di metalli ferrosi (getti di ghisa e di acciaio)	Cianuri-Solfocianuri-Fenoli-Piridina-Fanghi da depurazione fumi-Scorie di metalli leggeri (Alluminio e Magnesio) Metalli pesanti
			Fonderie di metalli non ferrosi	Cianuri-Solfocianuri-Fenoli-Piridina-Fanghi da depurazione fumi-Scorie e sali di metalli leggeri(Alluminio e Magnesio)-Metalli pesanti (CrVI-Cu-Zn-Pb-Cd)
		Seconda trasformazione, trattamento e rivestimento dei metalli	Sinterizzazione dei metalli e loro leghe (metallurgia delle polveri)	Metalli pesanti-Tensioattivi-Solventi
			Trattamento e rivestimento dei metalli	Cianuri-Solfocianuri-Solventi organici (Nafte-Dicloroetilene-Tricloroetilene-Tetracloroetilene)-Xilene-Toulene-Metalli pesanti in soluzioni concentrate ed in fanghi-Sali per tempratura-Pigmenti e resine in soluzione ed in fanghi con metalli pesanti e residui organici
	Industria della costruzione, installazione di impianti e riparazione di materiale elettrico e elettronico	Costruzione di apparecchiature elettriche per mezzi di trasporto e per uso industriale, pile e accumulatori	Costruzione di pile e di accumulatori Riparazione di macchinari elettrici e impianti elettrotermici per uso industriale	Soluzioni acide contenenti metalli pesanti PCB
	Industrie manifatturiere alimentari, tessili, delle pelli e cuoio, dell'abbigliamento, del legno, del mobilio e altre industrie manifatturiere	Industrie tessili		
Industria delle pelli e del cuoio		Concia e tintura delle pelli e del cuoio		Arsenico-Cromo-Rame-Ferro-Nichel-Zinco-Piombo-Alluminio-TanninFenoli-Aldeidi-Etanolo-Sostanze organiche estraibili in etere di petrolio-Pigmenti
Industria della gomma e dei manufatti di materie plastiche		Industria della gomma		Piombo-Solventi organici e clorurati
Industrie manifatturiere diverse		Laboratori fotografici e cinematografici	Sviluppo e stampa di film cinematografici Laboratori fotografici	Metalli pesanti (CrVI-Cu-Zn-Pb-Cd) Metalli pesanti (CrVI-Cu-Zn-Pb-Cd)

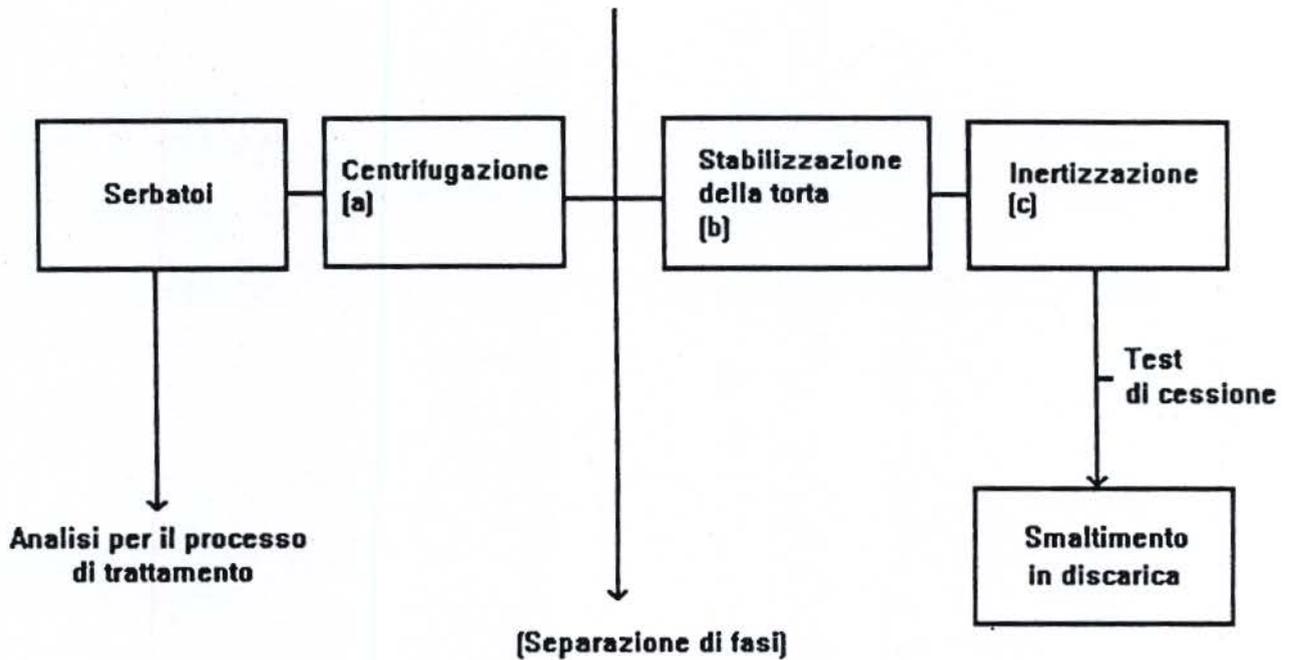
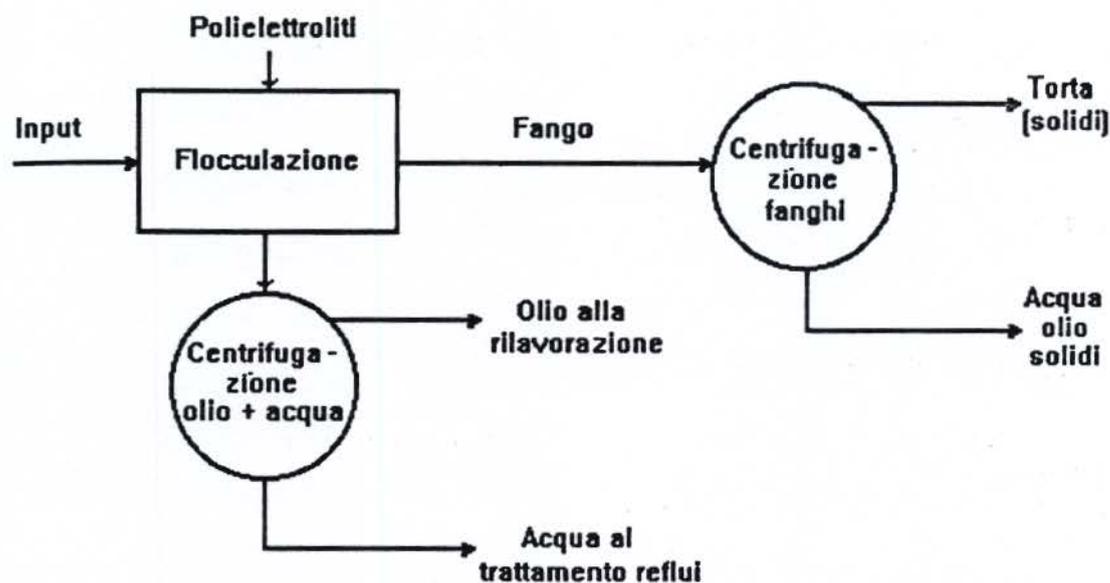


figura 1.

Schema di trattamento fondami di serbatoi contenenti gasolio, olio combustibile, benzina senza piombo. Le fasi indicate con (a), (b), (c) vengono riprese in dettaglio in figura 2.

## a) Schema di trattamento fondami omogeneizzati: CENTRIFUGAZIONE.



## b) Schema di trattamento fondami omogeneizzati: STABILIZZAZIONE.



## c) Schema di trattamento fondami omogeneizzati: INERTIZZAZIONE.



figura 2.  
Fasi di trattamento dei prodotti provenienti dal trattamento di fondami di serbatoio (vedi figura 1).

## 4. LO SMALTIMENTO DEI RIFIUTI TOSSICI E NOCIVI

Lo smaltimento di un RTN può essere effettuato o sul tal quale così come si presenta all'origine, ad esempio mediante stoccaggio definitivo sul suolo in discarica controllata, o trattandolo preventivamente. Nell'ambito dei diversi trattamenti possibili per i RTN, gli obiettivi che si cerca di raggiungere sono: la riduzione della quantità e la riduzione della pericolosità dei rifiuti; questo, oltre a consentire un più agevole smaltimento, riduce il loro impatto sull'ambiente.

### 4.1. Tecnologie di trattamento

Le tecnologie maggiormente utilizzate nei processi di trattamento dei RTN comportano:

- a) la modificazione della struttura chimica;
- b) la fissazione della sostanza o dell'elemento pericoloso (inertizzazione).

La modifica della struttura chimica viene effettuata, a seconda della natura del rifiuto, mediante l'ossidazione per via chimica, per via biologica o per via termica o mediante altri trattamenti chimici quali: riduzione, solidificazione, neutralizzazione, ecc.. Nella inertizzazione la finalità è quella di rendere la sostanza interessata difficilmente veicolabile nell'ambiente e quindi meno disponibile. La riduzione della possibilità di rilascio degli inquinanti da parte del rifiuto, oltre a rappresentare una riduzione della sua pericolosità ambientale, può, in alcuni casi, permettere il "declassamento" del rifiuto e quindi lo smaltimento in discariche con grado di protezione meno spinto e più facilmente realizzabili e localizzabili. Di seguito vengono descritti i processi maggiormente in uso e in via di sviluppo.

#### 4.1.1. Processi fisici

In genere consistono in pretrattamenti del rifiuto tesi a migliorarne la possibilità di smaltimento; tra questi i principali sono:

- 1) Cernita, compattazione, triturazione, arricchimento; che consentono una migliore gestione del prodotto (trasporto, stoccaggio, combustione, ecc.).
- 2) Separazione di fasi; mediante filtrazione, centrifugazione, processi termici, processi osmotici, adsorbimento, assorbimento, desorbimento, ecc. è possibile separare la fase che contiene il composto tossico dalla massa del rifiuto.
- 3) Inertizzazione; in tale processo si ha una modifica delle caratteristiche chimico-fisiche del rifiuto con:
  - formazione di composti insolubili capaci di imprigionare in una struttura polimerica o cristallina stabile gli elementi tossici, in genere ioni metallici presenti (stabilizzazione);
  - trasformazione del rifiuto dallo stato liquido o pastoso in un prodotto solido che ne consente un più idoneo smaltimento in discarica (solidificazione).

In tal modo si ottiene una riduzione sostanziale del rilascio delle sostanze inquinanti presenti nel rifiuto mediante la riduzione della superficie di contatto tra il rifiuto e l'acqua percolante e la riduzione della mobilità dell'inquinante mediante i legami di tipo fisico o chimico. In generale il trattamento di inertizzazione comporta, qualora necessario, una separazione dei rifiuti non adatti al trattamento stesso (ad esempio quelli

con elevato contenuto di sostanza organica); un pretrattamento fisico o chimico (ad esempio: sminuzzamento, umidificazione, ecc.) e una miscelazione del rifiuto con reagenti stabilizzanti in genere inorganici (cemento, silicati, calce ed argilla).

a) Processi a base di cemento e silicati

Il normale processo di presa del cemento comporta l'incapsulamento dei cationi metallici presenti nel rifiuto grazie a reazioni chimiche e alla successiva solidificazione dell'impasto così ottenuto. I processi di inertizzazione a base di cemento sono in genere condotti a pH neutro o tendenzialmente basico oppure a pH acido. In quest'ultimo caso nella fase iniziale si abbassa il pH a valori di 1,5-2 per consentire la completa solubilizzazione degli ioni metallici che vengono successivamente meglio fissati nella matrice cementizia. Più complesso il ruolo dei silicati, che sono presenti sotto forma di acido silicico a pH fortemente acidi, mentre tendono a polimerizzare a pH più elevati formando quindi composti insolubili con gli ioni di metalli pesanti.

b) Processi a base di calce

Tali processi sono analoghi a quelli a base di cemento; la calce, combinata con materiali pozzolanici, naturali od artificiali, produce una matrice di tipo cementizio capace di intrappolare gli inquinanti.

c) Processi a base di argilla

In questi processi si sfruttano le attitudini allo scambio di cationi da parte di alcuni minerali che, in presenza di un legante, scambiano gli ioni metallici non tossici ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) con gli ioni metallici contenuti nel rifiuto, che risultano così fissati nella matrice argillosa. Tali trattamenti risultano applicabili a rifiuti semisolidi e liquidi di natura essenzialmente inorganica; una alta concentrazione di sostanza organica rende il processo difficilmente applicabile in quanto rallenta il fenomeno di presa e, comunque, rende necessario un eccessivo dosaggio di legante.

Per quanto riguarda i suddetti processi fisici, i principali inquinanti e le principali vie di immissione nell'ambiente sono:

- emissioni di polveri durante la movimentazione e le operazioni meccaniche (cernita, triturazione, ecc.);
- emissione di reflui e di percolati che possono contenere alte concentrazioni di inquinanti (es.: metalli pesanti);
- emissioni di gas e vapori, nel caso di operazioni di desorbimento o strippaggio.

#### 4.1.2. Processi chimico-fisici

Al fine di modificare la natura del rifiuto e le sue proprietà vengono utilizzati processi chimico-fisici che, in generale, si possono così riassumere:

- Ossidazione o riduzione chimica; attraverso l'uso di reattivi (quali cloro e suoi composti, permanganato di potassio, ozono) si opera la trasformazione di sostanze tossiche in altre non tossiche; ad esempio l'ossidazione dei cianuri o dei fenoli e la riduzione, con bisolfito di sodio, del cromo esavalente.
- Neutralizzazione; viene effettuata mediante l'utilizzo dei comuni reattivi neutralizzanti (acidi e basi forti). Soprattutto con la correzione del pH da acido a basico si possono avere formazioni di precipitati o coagulazione di solidi sospesi; in questi casi il processo di neutralizzazione si combina con la precipitazione chimica e la chiariflocculazione.

- **Precipitazione chimica;** tale trattamento è utilizzato per la rimozione, sotto forma di composti insolubili, di sostanze inquinanti costituite essenzialmente da cationi metallici. I metalli vengono rimossi prevalentemente come idrossidi operando a pH alcalini; in alcuni casi si sfrutta la precipitazione di solfuri o carbonati, grazie al prodotto di solubilità, sovente assai basso, di questi sali.
- **Chiariflocculazione;** analogamente alla precipitazione chimica agisce sui solidi sospesi provocandone la sedimentazione mediante l'azione di agenti flocculanti.
- **Sedimentazione, filtrazione, adsorbimento su carbone attivo o resine;** si utilizza in genere come trattamento finale di uno scarico ed opera una filtrazione o un adsorbimento su un apposito substrato.
- **Rottura di emulsioni oleose;** comporta separazione di due fasi immiscibili e può essere ottenuta sia variando il pH, acidificando, sia per via termica ed eventualmente anche per centrifugazione.
- **Distillazione;** viene utilizzata per il trattamento di solventi esausti ed anche nel trattamento di morchie di fanghi di verniciatura, di carboni attivi, di oli usati, ecc.; si ottiene una fase liquida organica con tenore limitato di acqua, solidi sospesi e metalli, i prodotti recuperati possono venire riciclati o destinati ad altri usi (es: combustione).

A seconda dei processi adottati, le principali fonti di emissione saranno costituite da reflui (trattamenti a umido) che potranno contenere alte concentrazioni di metalli pesanti o da gas e vapori organici (distillazioni).

#### 4.1.3. Processi biologici

Si basano sull'azione di batteri che determinano trasformazioni di diverso tipo, quali: aerobiosi, anaerobiosi, biolisciviazione, biocatalisi, biodegradazione. Tali processi sono essenzialmente simili a quelli che si verificano nel trattamento dei reflui urbani, e trovano particolare applicazione nel trattamento delle soluzioni acquose che contengono sostanze organiche biodegradabili. Generalmente debbono essere preceduti da trattamenti chimico-fisici (neutralizzazione, omogeneizzazione, rimozione dei metalli pesanti, riduzione dei solidi sospesi) e sono seguiti da trattamenti secondari (filtrazione, carboni attivi, resine a scambio ionico).

Da tali processi si ha la produzione di reflui che possono risultare più o meno contaminati a seconda della tipologia del rifiuto e delle tecnologie adottate; in alcuni casi si possono anche verificare emissioni diffuse di odori.

Altro aspetto da considerare è quello relativo alla presenza di resine e carboni che, avendo operato una forte concentrazione di inquinanti, devono essere adeguatamente gestiti.

#### 4.1.4. Processi termici

I principali processi termici per il trattamento dei RTN comprendono:

- **L'incenerimento,** che attua l'ossidazione del materiale combustibile contenuto nel rifiuto operando ad alta temperatura e con eccesso di ossigeno.
- **La gassificazione o combustione in difetto di ossigeno;** che attua la combustione incompleta del rifiuto grazie ad una limitazione nella alimentazione di ossigeno

comburente producendo un rifiuto carbonioso e fumi ricchi di sostanze incombuste ad alto potere calorifico che possono venire bruciate successivamente.

- La pirolisi; che è un trattamento termico che opera a bassa concentrazione di ossigeno, con conseguente cracking o distillazione del rifiuto ad alta temperatura e produzione di un residuo gassoso ad alto potere calorifico che viene bruciato in un secondo stadio dello stesso impianto.

In generale le tipologie dei forni di incenerimento dei RTN possono suddividersi in:

a) Forni a tamburo rotante; che permettono la combustione di una ampia tipologia di rifiuti poichè operano un rimescolamento continuo del materiale mediante la rotazione della camera di combustione.

b) Forni a letto fluido; che consentono la combustione di fanghi, materiali semisolidi e di solidi purchè a pezzatura idonea.

c) Forni a griglia; che vengono in genere utilizzati per rifiuti solidi di diversa provenienza e pezzatura.

d) Forni a piani multipli; che vengono prevalentemente utilizzati per i materiali semisolidi o fangosi quali ad esempio fanghi di impianti di depurazione.

e) Forni ad iniezione; utilizzabili unicamente per rifiuti liquidi o che comunque possono essere iniettati mediante apposite lance nella camera di combustione.

La tabella 3 riassume i diversi tipi di inceneritore utilizzabili in relazione allo stato fisico dei rifiuti.

Nel caso della termodistruzione la maggiore via di impatto con l'ambiente è rappresentata dalle emissioni in atmosfera dei fumi di combustione che, in relazione al rifiuto trattato, possono contenere oltre agli usuali prodotti della combustione (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, ecc.) microinquinanti inorganici (metalli pesanti) ed organici (idrocarburi policiclici aromatici, policlorodibenzodiossine, policlorodibenzofurani), acidi alogenidrici. Nel caso di impianti forniti di sistemi di abbattimento ad umido, si possono anche avere reflui che risultano fortemente contaminati da metalli pesanti.

#### 4.1.5. Processi in via di sviluppo e innovativi

Numerosi processi sono attualmente ancora in fase di studio o di applicazione sperimentale; in linea di massima i principali possono essere così classificati:

- Processi a base di resine termoplastiche; utilizzano sostanze organiche polimeriche capaci di indurire e rammollire reversibilmente con la variazione della temperatura. Il trattamento avviene mescolando ad alta temperatura il rifiuto con gli additivi suddetti; il successivo raffreddamento provoca la solidificazione della struttura con conseguente inglobamento dell'inquinante mediante un meccanismo puramente fisico.

- Processi a base di polimeri basici; sono trattamenti che, mediante l'utilizzo di reagenti organici (i più studiati sono a base di urea-formaldeide), fissano il rifiuto incapsulandolo in una matrice polimerica.

- Processi a base di composti microincapsulanti; il rifiuto subisce un vero e proprio "rivestimento" da parte di reagenti che formano involucri ad alta resistenza.

I processi innovativi si sono maggiormente sviluppati nell'ambito della termodistruzione, dei trattamenti chimici e del recupero dei metalli.

Tra i principali trattamenti termici si hanno:

- a) La termodistruzione ad arco di plasma; è un processo di pirolisi ottenuto esponendo i rifiuti ad elevatissime temperature (15 000-20 000 °C) in un plasma creato ionizzando, mediante arco elettrico, particelle gassose. In tal modo i legami delle molecole complesse si scindono ed i rifiuti sono ridotti allo stato atomico. In fase di raffreddamento si formano molecole più semplici quali idrogeno, biossido ed ossido di carbonio, acido cloridrico e componenti organici semplici quali acetilene ed etano. I rendimenti di distruzione dei composti organici clorurati risultano estremamente elevati.
- b) La termodistruzione in vetro fuso; in questo caso il calore viene trasmesso al rifiuto immettendolo in un bagno di vetro fuso riscaldato elettricamente (con temperatura pari o superiore a 1 200 °C). I rendimenti di termodistruzione sono paragonabili a quelli della termodistruzione tradizionale, il vantaggio consiste nella drastica riduzione delle emissioni e nel fatto che i residui inorganici vengono incorporati nel bagno fuso che viene periodicamente spillato. Poiché i metalli pesanti vengono incorporati in un residuo vetroso, praticamente inerte, tale trattamento risulta particolarmente indicato per rifiuti altamente tossici ad elevate concentrazioni di metalli pesanti.
- c) La termodistruzione in bagno a sali fusi; il rifiuto è immesso in un bagno liquido, costituito da carbonato di sodio, riscaldato a circa 900 °C. L'utilizzo del carbonato di sodio è stato proposto in quanto il sodio è in grado di legarsi con gli elementi (quali il cloro, lo zolfo ed il fosforo) in grado di produrre gas acidi. Con l'aggiunta di opportuni scorificanti è possibile in alcuni casi trasformare la parte inorganica del rifiuto in una scoria vetrosa.
- d) La termodistruzione con ossidazione ad umido; è applicabile a reflui liquidi industriali ad alto contenuto di frazione organica disciolta per i quali non è possibile operare un trattamento biologico (a causa della loro tossicità) o un incenerimento convenzionale (a causa della loro diluizione).

Lo schema di trattamento consiste nell'ossidazione in un reattore, tramite ossigeno puro od aria, mediante temperature fino a 350 °C e pressioni fino a 250 atmosfere. Una grossa quota della sostanza organica viene ossidata e si ha spesso un incremento di biodegradabilità del residuo ed in questo senso è stato utilizzato per alcuni reflui industriali come trattamento preliminare alla depurazione biologica. Una variante a questo processo è l'ossidazione ad umido supercritica, in cui si opera a temperature e pressioni superiori a quelle corrispondenti al punto critico dell'acqua raggiungendo rendimenti di distruzione elevati (paragonabili a quelli dell'incenerimento).

I trattamenti chimici sono in gran parte derivati da tecnologie presenti nell'industria chimica e mirano a detossificare il rifiuto essenzialmente rimuovendo i composti organo-alogenati che sono i più critici per la termodistruzione. In generale i rendimenti di distruzione dei composti organoclorurati sono inferiori od al massimo paragonabili a quelli di termodistruzione; l'interesse di tali trattamenti consiste nel fatto di operare in reattori chiusi in condizioni blande, con emissioni più facilmente controllabili, e nel produrre un sottoprodotto che può essere recuperato o combusto. La possibilità di recupero è essenzialmente legata alla qualità del rifiuto di partenza. Si tratta comunque di processi che richiedono una alimentazione relativamente costante ed omogenea e sono quindi utilizzabili per classi di rifiuti ristrette. Quelli che attualmente vengono indicati come più promettenti sono:

a) La dealogenazione catalitica; è un processo selettivo per il trattamento di composti organo-alogenati. In un reattore che agisce in condizioni relativamente blande (temperatura di circa 150-200 °C e pressione di 3-10 atmosfere) viene immesso insieme al rifiuto idrogeno in eccesso. Gli atomi di alogeni dei composti organo-alogenati vengono sostituiti da atomi di idrogeno e si trasformano in idrocarburi alifatici ed aromatici; le condizioni relativamente blande della reazione consentono che i legami carbonio-carbonio non vengano alterati. Il prodotto finale, a seconda del rifiuto trattato, può essere recuperato o essere inviato all'incenerimento in condizioni meno critiche di quelle del rifiuto di partenza.

b) La demolizione alcalina dei composti alogenati; sfrutta una reazione in fase acquosa dei composti clorurati con il sodio a temperature nel range 250-400 °C. Il prodotto che si ottiene è un liquido dotato di un buon potere calorifico che viene separato dalla soluzione acquosa per centrifugazione o decantazione.

c) La Clorolisi; è un processo di derivazione industriale che può convertire molti idrocarburi clorurati a tetracloruro di carbonio operando con un eccesso di cloro in un reattore con pressioni dell'ordine delle 20 atmosfere e temperatura dell'ordine dei 500 °C. Il tetracloruro di carbonio può essere poi separato per distillazione: va evidenziato che il processo produce come sottoprodotto, oltre alla quota di rifiuto non reagito o solo parzialmente reagito, fosgene ed acido cloridrico. Inoltre, essendo il cloro fortemente reattivo, richiede l'utilizzo di reattori costruiti con materiali speciali.

I trattamenti per il recupero di metalli consentono essenzialmente di: separare i metalli dai rifiuti permettendone il recupero; inglobarli in una matrice inorganica stabile nel tempo.

La separazione dei metalli dai rifiuti può avvenire per via chimica o per via termica. Nel primo caso il rifiuto viene trattato con acidi forti per solubilizzare i metalli pesanti che vengono poi separati dalla soluzione per via elettrolitica; nel secondo caso i metalli vengono fatti evaporare e successivamente ricondensati; la separazione può essere più o meno spinta a seconda delle temperature a cui si opera.

L'inglobamento dei metalli viene effettuato operando a temperature sufficientemente elevate e con l'aggiunta di opportuni reagenti; si ha la trasformazione del residuo inorganico in una massa vetrosa (vetrificazione) praticamente inerte rispetto al rilascio. Un risultato simile viene ottenuto anche attraverso la sinterizzazione in cui si produce la vetrificazione solo della superficie esterna del rifiuto previamente ridotto in granuli.

## 4.2. Tecnologie di smaltimento finale

I rifiuti tossici e nocivi, tal quali o dopo i vari processi di trattamento, trovano come loro destino finale, se si esclude un eventuale riutilizzo, l'avvio in "discarica controllata". Nella già citata legislazione italiana vengono definite tre diverse classi di discariche controllate, suddivise in base alla tipologia dei rifiuti che vi devono essere smaltiti:

- Discarica di prima categoria; è intesa come un impianto per lo smaltimento finale dei rifiuti solidi urbani, speciali assimilabili agli urbani e fanghi non tossici e nocivi degli impianti di depurazione civile.

- Discarica di seconda categoria; suddivisa a sua volta in sottotipi rispettivamente:

- A) per rifiuti inerti;

B) per rifiuti speciali (anche tossici e nocivi) tal quali o trattati, purché non contengano sostanze appartenenti ai gruppi 9-20, 24, 25, 27 e 28 (dell'elenco già riportato nel capitolo 2 del presente lavoro) in concentrazione superiore ad 1/100 delle rispettive concentrazioni limite (CL) e che alle prove di cessione diano, per i metalli, eluati conformi alla tabella A della legge sulle acque di scarico n.319/1976;

C) per rifiuti speciali quali:

- quelli derivanti da lavorazioni industriali; quelli derivanti da attività agricole, artigianali, commerciali e di servizio, che non siano assimilabili agli urbani;
- i residui delle attività di trattamento dei rifiuti e della depurazione degli effluenti; (nel caso trattasi di fanghi questi devono essere stabilizzati e palabili);
- i rifiuti tossici e nocivi, tal quali o trattati purché non contengano sostanze appartenenti ai gruppi 9-20, 24, 25, 27 e 28 dell'elenco già riportato nel capitolo 2 del presente lavoro, in concentrazione superiore a 10 volte le rispettive CL.
- Discarica di terza categoria; riservata a rifiuti tossici e nocivi contenenti le sostanze appartenenti ai gruppi 9-20, 24, 25, 27 e 28 dell'elenco già riportato nel capitolo 2 del presente lavoro, in concentrazione superiore a 10 volte le rispettive CL.

La tabella 4 riassume, per le tre classi di "discariche controllate", i requisiti minimi richiesti dalla attuale normativa in relazione alle diverse tipologie di rifiuti.

Tabella 3.

Schematizzazione delle tipologie di forni di incenerimento in relazione allo stato fisico dei rifiuti da trattare.

Tipo di rifiuto	Forno rotativo (1)	Forno a letto fluido (1)	Forno a griglia	Forno a piani multipli	Forni a iniezione
<b>SOLIDI</b> - Granulari omogenei	x	x	x	x	
- Irregolari e voluminosi	x	x (2)	x		
- Basso punto di fusione (ceraloni, ecc.)	x	x			x (3)
- composti organici con cenere fusibili	x				
<b>GAS o vapori organici</b>	x (4)	x (4)	x (4)		x
<b>LIQUIDI</b> - Acquosi con alta conc. di sostanze organiche	x (5)	x (5)	x (5)		x
- Organici	x (5)	x (5)	x (5)		x
<b>FANGHI</b> - Palabili	x	x		x	
- Fluidi	x	x		x	x

Note:

- (1) Idoneo anche per operazioni di pirolisi
- (2) Limitata capacità di trattare rifiuti voluminosi
- (3) Materiali fusi o pompabili
- (4) Se equipaggiato con iniettori per gas
- (5) Se equipaggiato con iniettori per liquidi

Tabella 4a.

Schema delle tipologie di discarica e dei loro requisiti minimi secondo il DPR 915/82.  
**DISCARICA DI PRIMA CATEGORIA.**

TIPOLOGIA RIFIUTI	REQUISITI MINIMI
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solidi urbani</li> <li>- Speciali assimilabili agli urbani</li> <li>- Fanghi non tossici e nocivi, stabilizzati e palabili, derivanti dagli impianti di depurazione di reflui provenienti da insediamenti civili, nonché fanghi con caratteristiche analoghe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicazione: distanza di sicurezza da centri abitati, grandi vie di comunicazione, approvvigionamento acque potabili, alvei di piena di laghi, fiumi e torrenti.</li> <li>- Sito geologicamente stabile.</li> <li>- Protezione delle acque superficiali e falde idriche dal percolato.</li> <li>- Drenaggio e captazione del percolato.</li> <li>- Smaltimento del biogas.</li> <li>- Esercizio dell'impianto con modalità che limitano pericoli per l'ambiente e il personale.</li> <li>- Drenaggio acque superficiali.</li> <li>- Recinzione dell'area e sistemi antincendio.</li> <li>- Sistemazione finale e recupero area all'esaurimento discarica.</li> <li>- Registri carico e scarico rifiuti</li> </ul>

Tabella 4b.  
DISCARICA DI SECONDA CATEGORIA.

TIPOLOGIA DEI RIFIUTI	REQUISITI MINIMI
<p>TIPO A</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inerti (sfaldi di materiali di costruzione e materiali provenienti da demolizioni, costruzioni e scavi; materiali ceramici cotti; vetri di tutti tipi; rocce e materiali litoidi da costruzione)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sito geologicamente stabile.</li> <li>- Recinzione dell'area.</li> <li>- Esercizio dell'impianto con modalità che limitano pericoli per l'ambiente (trasporto eolico polveri).</li> <li>- Sistemazione finale e recupero area all'esaurimento discarica.</li> </ul>
<p>TIPO B</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rifiuti sia speciali che tossici e nocivi tal quali o trattati, purché non contengano sostanze appartenenti ai seguenti gruppi dell'allegato al DPR 915/82 :             <ul style="list-style-type: none"> <li>. fenoli e loro composti</li> <li>. cianuri organici e inorganici</li> <li>. isocianati</li> <li>. organoalogenati, esclusi polimeri inerti e altre sostanze considerate nel presente elenco</li> <li>. solventi clorurati</li> <li>. solventi organici</li> <li>. biocidi, farmaci, sostanze fitofarmaceutiche ed altre sostanze chimiche, fuori specifica</li> <li>. prodotti a base di catrame derivanti da procedimenti di raffinazione e residui catramosi derivanti da operazioni di distillazione</li> <li>. composti farmaceutici</li> <li>. perossidi, clorati, perclorati, azoturi</li> <li>. eteri</li> <li>. sostanze chimiche di laboratorio non identificabili e/o sostanze nuove i cui effetti sull'ambiente non sono conosciuti</li> <li>. IPA (cancerogeni)</li> <li>. metalli carbonili</li> <li>. sostanze acide e/o basiche impiegate nei trattamenti in superficie dei metalli</li> <li>. PCB, PCT e loro miscele in concentrazioni superiori a valori corrispondenti ad 1/100 delle rispettive CL, e che, sottoposti alle prove di cessione diano eluati conformi ai limiti di accettabilità previsti dalla tabella A della legge 319/1976 e successive modifiche, per i metalli compresi nell'allegato al DPR 915/82.</li> </ul> </li> <li>- Rifiuti contenenti amianto (polveri e fibre libere) in concentrazione non superiore a 10 000 mg/kg.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicazione: distanza di sicurezza da centri abitati, approvvigionamento acque potabili.</li> <li>- Sito geologicamente stabile.</li> <li>- Esercizio dell'impianto con modalità che limitano pericoli per l'ambiente (trasporto eolico polveri).</li> <li>- Sistemazione finale e recupero area all'esaurimento discarica.</li> <li>- Registri carico e scarico rifiuti.</li> </ul>

segue tabella 4b.

<p>TIPO C</p> <p>Oltre ai rifiuti precedentemente elencati possono essere smaltiti :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- rifiuti speciali di cui ai punti 1) e 5) del 4° comma art. 2 del DPR 915/1982; nel caso trattasi dei fanghi questi devono essere stabilizzati e palabili)</li> <li>- rifiuti speciali, tossici e nocivi tal quali o trattati ad eccezione di quelli contenenti sostanze appartenenti ai seguenti gruppi dell'allegato DPR 915/82:             <ul style="list-style-type: none"> <li>. fenoli e loro composti</li> <li>. cianuri organici e inorganici</li> <li>. isocianati</li> <li>. organoalogenati, esclusi polimeri inerti</li> <li>. solventi clorurati</li> <li>. solventi organici</li> <li>. biocidi , farmaci, sostanze fitofarmaceutiche ed altre sostanze chimiche fuori specifica</li> <li>. prodotti base di catrame derivanti da procedimenti di raffinazione e residui catramosi derivanti da operazioni di distillazione da distillazione</li> <li>. composti farmaceutici</li> <li>. perossidi, clorati, perclorati, azoturi</li> <li>. eteri</li> <li>. sostanze chimiche di laboratorio non identificabili e/o sostanze nuove i cui effetti sull'ambiente non sono conosciuti</li> <li>. IPA (cancerogeni)</li> <li>. metalli carbonili</li> <li>. sostanze acide e/o basiche impiegate nei trattamenti in superficie dei metalli</li> <li>. PCB, PCT e loro miscele in concentrazione superiori a 10 volte le rispettive CL:</li> </ul> </li> <li>- non possono essere smaltiti:             <ul style="list-style-type: none"> <li>. infiammabili ( p.i. &lt; 55 °C )</li> <li>. comburenti</li> <li>. sostanze che possono dare reazioni pericolose con acqua, acidi e basi deboli, con sviluppo di gas e vapori tossici e/o infiammabili</li> <li>. liquidi</li> <li>. ospedalieri e simili non assimilabili a RSU</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicazione al di fuori di:             <ul style="list-style-type: none"> <li>. zone sismiche di prima categoria</li> <li>. aree vulcaniche attive e campi solfatarici</li> <li>. doline, inghiottitoi, forme carsiche superficiali</li> <li>. vincoli idrogeologici</li> </ul> </li> <li>- Ubicazione a distanza di sicurezza da centri abitati approvvigionamento acque potabili.</li> <li>- Impermeabilizzazione del fondo e delle pareti.</li> <li>- Drenaggio e captazione del percolato.</li> <li>- Captazione e recupero del biogas.</li> <li>- Esercizio dell'impianto con modalità che limitano pericoli per l'ambiente e il personale addetto.</li> <li>- Drenaggio delle acque superficiali.</li> <li>- Recinzione dell'area.</li> <li>- Sistemazione finale e recupero area all'esaurimento discarica.</li> <li>- Registri carico e scarico rifiuti.</li> </ul>
--	--

Tabella 4c.  
DISCARICA DI TERZA CATEGORIA.

<ul style="list-style-type: none"> <li>- rifiuti speciali, tossici e nocivi tal quali o trattati contenenti:             <ul style="list-style-type: none"> <li>. fenoli e loro composti</li> <li>. cianuri, organici e inorganici</li> <li>. isocianati</li> <li>. organoalogenati esclusi polimeri inerti</li> <li>. solventi clorurati</li> <li>. solventi organici</li> <li>. biocidi, farmaci, sostanze fitofarmaceutiche ed altre sostanze chimiche fuori specifica</li> <li>. prodotti a base di catrame derivanti da procedimenti di raffinazione e residui catramosi derivanti da operazioni di distillazione</li> <li>. composti farmaceutici</li> <li>. perossidi, clorati, perclorati, azoturi</li> <li>. eteri</li> <li>. sostanze chimiche di laboratorio non identificabili e/o sostanze nuove i cui effetti sull'ambiente non sono conosciuti</li> <li>. IPA (cancerogeni)</li> <li>. metalli carbonili</li> <li>. sostanze acide e/o basiche impiegate nei trattamenti in superficie dei metalli</li> <li>. PCB, PCT e loro miscele in concentrazione superiore a 10 volte le rispettive CL per i quali non risultino adottabili diversi e adeguati sistemi di smaltimento.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicazione al di fuori di:             <ul style="list-style-type: none"> <li>. zone sismiche di prima categoria</li> <li>. aree vulcaniche attive e campi solfatarici</li> <li>. doline, inghiottitoi, forme carsiche superficiali</li> <li>. vincoli idrogeologici</li> </ul> </li> <li>- Ubicazioni a distanza di sicurezza da centri abitati (&gt; 2 000 m), approvvigionamento acque potabili.</li> <li>- Stoccaggio rifiuti in contenitori ermetici.</li> <li>- Caratteristiche costruttive particolari (bacini in cemento, difesa da agenti atmosferici, ventilazione, ecc.).</li> <li>- Stoccaggio che impedisca il contatto tra rifiuti incompatibili.</li> <li>- Recinzione, allarme interno, impianto di comunicazione, sistema antincendio, presidio dell'impianto 24 h su 24 con almeno due addetti.</li> <li>- Piano di emergenza.</li> <li>- Registri carico e scarico rifiuti.</li> </ul>
---	--

## 5. POSSIBILI EFFETTI SULLA SALUTE

La identificazione e previsione degli impatti per i parametri ambientali più rilevanti dal punto di vista sanitario (fattori igienico-ambientali), consente di stimare i rischi sulla salute ed anche individuare le possibili misure di mitigazione degli stessi.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) proponeva al termine degli anni ottanta una sequenza logica di successive analisi e verifiche per l'esame degli impatti sulla salute umana nelle procedure di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA), applicabile per altro alla maggior parte delle altre componenti, almeno nel suo schema fondamentale. Questo schema coincide praticamente con l'articolazione delle fasi indicate dalla normativa nazionale in materia di VIA, ed è in buona parte sovrapponibile allo schema logico della valutazione di rischio per la salute, in particolare tossicologico ("Risk Assessment", "Toxicological Risk Assessment") adottato da agenzie internazionali (ad es. OMS) e nazionali (ad es.: Environmental Protection Agency (EPA), Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale (CCTN), Istituto Superiore di Sanità).

Lo schema in questione include i seguenti passi (WHO, 1987. "Health and Safety Component of Environmental Impact Assessment"):

- a) identificazione e classificazione dei fattori di rischio;
- b) identificazione e classificazione dei potenziali rischi di incidente rilevante;
- c) emissione e rilascio di sostanze e forme pericolose di energia;
- d) caratterizzazione del contesto ambientale e della sua vulnerabilità specifica, inclusi i dati di popolazione, con particolare attenzione alla componente salute. Appropriata definizione della "linea di base" (condizioni ante-operam);
- e) processi di dispersione, diffusione, destino ambientale;
- f) scenari di esposizione umana ed ecosistemica;
- g) effetti conseguenti a tali scenari di esposizione;
- h) eventuali misure di mitigazione e prescrizioni.

Alcune di queste operazioni richiedono uno studio prevalentemente volto al progetto e all'impianto in esame, mentre altre richiedono anche un'appropriate conoscenza delle caratteristiche rilevanti dell'ambiente coinvolto.

### 5.1. Parametri e criteri per l'identificazione dei rischi

La caratterizzazione del rischio tossicologico si basa su un insieme di criteri, parametri e procedure ben definiti a livello nazionale e internazionale. Questa operazione, nei suoi aspetti applicativi quale quello della VIA, fa generalmente riferimento a criteri, standard e stime di rischio già disponibili, che debbono essere interpretati alla luce dei dati che caratterizzano il caso specifico. Infatti, le classificazioni di pericolosità delle sostanze chimiche sono oggi effettuate generalmente da Enti ed Organizzazioni a ciò ufficialmente deputate, sia a livello internazionale (CEE, OCSE, OMS, ecc.) sia a livello nazionale (ad es., CCTN, Consiglio Superiore di Sanità, Commissioni del Ministero dell'Ambiente, ecc.). Frequentemente gli stessi Enti provvedono inoltre a valutare i rischi tossicologici delle sostanze chimiche in specifici contesti di uso e di esposizione umana, e non solo in termini generali (ad es., attività della CCTN, specifiche Commissioni CEE e Commissioni dei Ministeri Sanità ed Ambiente). L'esperienza internazionale in questo ambito indica che solo in casi molto rari può essere

necessario operare "ex novo" valutazioni di rischio tossicologico nell'ambito di studi di VIA; l'OMS, in questi casi, raccomanda comunque una qualche forma di coinvolgimento di organismi pubblici deputati alla prevenzione dei danni alla salute e all'ambiente. Si può quindi assumere, per quanto riguarda i rischi tossicologici e quelli connessi con la reattività della sostanza, derivanti dalle proprietà intrinseche delle sostanze stesse, che siano disponibili valutazioni, limiti, standard, parametri di accettabilità, parametri di rischio e altri dati permanenti più o meno esaustivi, la cui applicazione richiede una limitata quantità di analisi ed elaborazioni.

Per quanto riguarda invece il problema degli eventuali gruppi di individui particolarmente sensibili e vulnerabili potenzialmente esposti ai fattori di rischio in esame e il problema della contemporanea presenza di più fattori di rischio, vi può essere l'esigenza di effettuare valutazioni specifiche approfondite, che debbono basarsi su di un'adeguata conoscenza del contesto che subisce l'impatto. Questo può richiedere, e spesso richiede, che l'utilizzo dei limiti e degli altri parametri di rischio rilevanti non sia una procedura automatica, quanto piuttosto il risultato di un'attenta analisi. In altre parole, il rispetto dei limiti è da ritenere una condizione necessaria, ma non necessariamente sufficiente.

Nel caso dei RTN andranno quindi considerati:

- a) Qualità, quantità e numero delle sostanze; dedotti dal ciclo tecnologico e tenendo anche conto delle fasi di lavorazione e di manutenzione (ad esempio: cicli di pulizia, cambio di materiali, possibilità di variazioni nella produzione, residui derivanti da manutenzioni ordinarie e straordinarie degli impianti e dei sistemi di abbattimento e depurazione).
- b) Proprietà intrinseche; che caratterizzano il comportamento di una sostanza e che comprendono a loro volta le proprietà chimico-fisiche e le proprietà tossicologiche delle sostanze stesse.
- c) Matrice nella quale il rifiuto è contenuto; il supporto nel quale si trova il contaminante condiziona nella maggior parte dei casi la possibilità e modalità di trattamento (ad esempio un solvente organico adsorbito su carbone attivo necessita di modalità di stoccaggio, trasporto e trattamento diversi rispetto ad un fango che contenga lo stesso solvente).
- d) Possibilità di reazioni secondarie e di sinergismi o antagonismi; particolarmente importanti, nel caso di trasporti, di stoccaggi (anche provvisori) e di messa a discarica, risultano essere le compatibilità chimiche.
- e) Interazioni delle sostanze con il recettore (comparto ambientale); in questo caso si può determinare una diminuzione o potenziamento dei rischi, e quindi degli impatti, conseguente ad un prolungamento, annullamento o magnificazione della attività della sostanza e ad una sua maggiore o minore diffusione nell'ambiente.

La pericolosità intrinseca delle sostanze chimiche è definita da:

- Parametri, generalmente standardizzati, atti a caratterizzare gli effetti negativi potenziali di tossicità, di ecotossicità (tossicità su organismi acquatici, terrestri, su alghe, ecc., rappresentativi degli effetti potenziali su componenti di ecosistemi e su ecosistemi tipici) e di reattività (radioattività, infiammabilità, esplosività, proprietà corrosive, ecc.).
- Parametri, generalmente standardizzati, atti a fornire affidabili elementi predittivi sul comportamento delle sostanze in questione, una volta introdotte nell'ambiente, sul loro "destino ambientale", il loro potenziale di bioaccumulo, la loro persistenza in specifici

substrati ambientali, e, in conclusione, sui possibili scenari di esposizione. Si tratta di parametri fisico-chimici fondamentali che hanno particolare rilevanza per prevedere le possibili interazioni delle sostanze in esame con i vari substrati dell'ambiente e che sono di estrema utilità per prevedere la possibile esposizione, umana ed ecosistemica in specifiche condizioni ambientali.

Questi parametri, i criteri con cui sono stati selezionati e con cui vengono misurati, interpretati ed utilizzati, le procedure in cui sono impiegati ed i modelli teorici e matematici in cui sono inseriti per ottenere valutazioni di rischio, sono il risultato di una vasta mole di studi di tossicologia ambientale ed ecotossicologia effettuati in particolare negli ultimi trent'anni. La "classificazione di pericolosità" e l'"etichettatura" delle nuove sostanze chimiche, prevista da direttive CEE (dir. 79/831 e 79/370 CEE e successive integrazioni), e la normativa nazionale in questo ambito, si basano su questi parametri. Essi sono altresì considerati nella normativa nazionale relativa ai "rischi industriali rilevanti" in recepimento della direttiva "Seveso" (D.P.R. 175/88 e successive integrazioni), nella normativa CEE e nazionale relativa alla classificazione dei rifiuti tossici e nocivi (D.P.R. 915/82 e successive integrazioni) ed in moltissimi altri campi, di studio e normativi. Si tratta cioè di parametri e criteri che fanno parte del contesto culturale e normativo relativo alla tossicologia ambientale e dell'impatto dei contaminanti sulla salute umana ed ecosistemica.

L'analisi dei rischi connessi all'immissione di sostanze chimiche nell'ambiente deve basarsi in modo essenziale su limiti di accettabilità o tollerabilità in genere, che costituiscono il risultato di valutazioni di rischio già effettuate, e periodicamente riesaminate ed aggiornate, da Enti nazionali ed internazionali a ciò ufficialmente deputati. Tali limiti rappresentano anche precisi criteri normativi, oltrechè ovvi e fondamentali parametri di immediato riferimento. E' del tutto evidente che questi parametri debbano essere impiegati sin dall'inizio della procedura di VIA per identificare e caratterizzare i rischi.

Rientrano in questa categoria di parametri:

limiti e standard di esposizione (ad esempio: dosi accettabili giornaliere - ADI, Dosi Tollerabili Giornaliere TDI, ecc.), limiti e standard di qualità ambientale (ad esempio: limiti di qualità dell'aria e dell'acqua, ecc.), limiti e standard relativi all'ambiente di lavoro (ad esempio: TLV, MAC, ecc.), valutazioni qualitative (ad esempio: classificazione IARC, CEE e CCTN) e quantitative di rischio cancerogeno e relativi parametri (ad esempio: "Rischio Unitario" - "Unit Risk", "Potenza Cancerogena" - "Carcinogenic Potency", ecc.), limiti e parametri di riferimento per le emergenze chimiche (ad esempio: Immediately Dangerous for Life and Health - IDLH, Level of Concern - LOC, ecc.), ed altri parametri pertinenti.

Le informazioni sulle proprietà intrinseche delle sostanze coinvolte, oltre a fornire la base per l'identificazione preliminare degli impatti potenziali, rappresentano anche il riferimento fondamentale per interpretare gli scenari di esposizione relativi ai processi in esame.

In linea di massima si possono considerare:

Le seguenti categorie di rischio:

- rischi tossicologici (tossicità acuta, subcronica, cronica, mutagenesi, cancerogenesi, embriotossicità e tossicità riproduttiva, effetti sul metabolismo, induzione di effetti allergici, ecc.);

- rischi connessi con la reattività delle sostanze (infiammabilità, esplosività, radioattività, corrosività).

I seguenti aspetti connessi con il contesto:

- suscettibilità e vulnerabilità individuale dei soggetti a rischio;
- coesistenza di più fattori di rischio, sinergismi, antagonismi, additività.

Ed inoltre la mobilità e il destino ambientale delle sostanze pericolose ed gli altri processi che concorrono a definire gli scenari di esposizione, quali:

- proprietà fisico-chimiche delle sostanze pericolose che ne influenzano e definiscono il comportamento ambientale;
- processi di ripartizione chimica delle sostanze in esame tra suolo, aria, acqua, sedimenti, materia vivente;
- persistenza ambientale ed emivita, nei vari substrati, delle sostanze in esame.

Nella fase iniziale dell'analisi come regola generale, può essere importante selezionare e considerare adeguatamente rilevanti studi epidemiologici e di medicina del lavoro. Questi studi possono essere identificati con una ricerca bibliografica su banche e basi di dati pertinenti con l'ausilio di "parole chiave" quali: i nomi delle sostanze chimiche sopra discusse, le tipologie degli impianti in esame e dell'attività lavorativa connessa, ecc. E' evidente che la selezione, lettura ed interpretazione di questi studi non è sempre agevole e può richiedere una specifica competenza epidemiologica e di medicina del lavoro. Esistono comunque pubblicazioni dello IARC (collana IARC Monographs, Lyon) e dell'OMS (ad esempio, WHO "Air Quality Guidelines") che includono liste di studi epidemiologici validati ed assunti quale riferimento da queste organizzazioni nelle valutazioni di rischio per un vasto numero di sostanze, processi industriali ed attività lavorative. I pareri della Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale (CCTN) costituiscono un'ulteriore importante fonte di informazione in questo campo. Il riferimento ai documenti prodotti da questi Enti è molto utile, anche perchè sono generalmente incluse indicazioni anche sull'uso appropriato dei dati in questione.

Dagli studi epidemiologici che presentano una stima del "Rischio Relativo" (RR) (rapporto O/E, tra i casi di cancro osservati (O) nella popolazione esposta al fattore di rischio in esame ed i casi attesi (E), sulla base di dati relativi all'incidenza nella popolazione generale o in un campione di soggetti non esposti appropriatamente selezionato) può essere determinata una stima del parametro "Rischio Unitario" ("Unit Risk" - UR), citato nella lista di parametri di accettabilità e di rischio sopra riportata, e proposto dall'OMS (WHO, 1987) per la valutazione di rischio.

Il "Rischio Unitario" è dato dalla formula:

$$UR = P_0 (RR - 1)/X$$

in cui  $P_0$  è il rischio di "background" per il tempo di vita, derivabile dai tassi di mortalità o di incidenza disponibili a livello nazionale o derivabile da una popolazione di controllo appropriatamente selezionata ed accoppiata, RR è il rischio relativo, e X è il livello di esposizione medio per il tempo vita della popolazione esposta sotto studio (WHO, 1987). Il "Rischio Unitario" (UR) fornisce una stima del rischio per l'esposizione della concentrazione unitaria in aria della sostanza in esame. Assumendo una relazione lineare esposizione-rischio per basse dosi e moltiplicando il parametro UR per la specifica

concentrazione in aria, si ottiene una stima conservativa del rischio attribuibile a tale concentrazione, nell'ipotesi che l'esposizione inalatoria duri per il tempo di vita.

Questa procedura può essere estesa ad esposizioni per altre vie, ad esempio per ingestione, attraverso l'acqua potabile o la dieta.

Come è noto, il rischio cancerogeno attribuibile a basse dosi di sostanze chimiche può anche essere derivato da studi su animali. In questo caso la procedura più comune include:

- una selezione e validazione degli studi sperimentali rilevanti;
- l'uso di modelli matematici atti a descrivere la relazione dose-risposta sperimentale (definizione dei parametri del modello attraverso l'adattamento dei dati);
- l'estrapolazione verso le basse dosi del modello per stimare il rischio alle dosi di interesse, ove queste siano inferiori (come generalmente accade) a quelle sperimentali;
- una procedura per l'estrapolazione dall'animale all'uomo dei risultati ottenuti (generalmente basata sull'unità di dose per unità di peso corporeo - U.S. Food and Drug Administration (FDA), o sull'unità di dose per unità di superficie corporea - U.S. EPA; il secondo metodo fornisce stime più conservative).

La procedura impiegata dall'U.S. EPA e da molti altri Enti Nazionali ed Internazionali (usata, insieme ad altri criteri, anche dalla Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale - CCTN), si basa sull'uso del modello "Multistage" e sul riferimento, per l'estrapolazione verso le basse dosi, al limite di confidenza superiore della componente lineare di tale modello (questo implica l'assunzione in ogni caso di una linearità per basse dosi).

La ricerca recente e gli sviluppi per la stima del rischio tossicologico hanno portato allo sviluppo di modelli e metodi che consentono di considerare la farmacocinetica dei cancerogeni e di trarre criteri biologicamente fondati per l'estrapolazione tra specie diverse. Infine, si può aggiungere che la ricerca recente in questo campo ha portato alla definizione di modelli matematici che consentono di considerare anche la proliferazione cellulare indotta dai cancerogeni e fanno esplicitamente riferimento alla realtà biologica del processo cancerogeno (Biologically-Based Models). Va ricordato che, al momento, la procedura dell'U.S. EPA rappresenta il metodo più comunemente usato, con le dovute integrazioni ed innovazioni ove necessario. I dati di "Potenza Cancerogena" (parametro equivalente alla UR e utilizzabile allo stesso modo, che indica il rischio per unità di dose o esposizione, assumendo la linearità per basse dosi) sono stati stimati dall'U.S. EPA per moltissime sostanze e sono un riferimento ufficiale negli USA. Tali dati sono inclusi nel file "IRIS" di questa Agenzia, file disponibile su molte banche di dati. Questi dati sono anche inclusi nell'INSC (Inventario Nazionale delle Sostanze Chimiche dell'ISS).

Oltre a quanto detto precedentemente nella stima dei rischi ha un notevole peso la tipologia di smaltimento adottata o che si ritiene di adottare. L'individuazione delle possibilità di razionale smaltimento comportano, oltre ad una buona conoscenza della qualità e della quantità del rifiuto da trattare, anche una valutazione comparata delle diverse possibilità in alternativa fra loro. Tale valutazione sarà fatta tenendo in considerazione anche la situazione locale relativa a fonti di produzione, possibilità di riutilizzo, possibilità di trasporto e vicinanza di impianti di trattamento o smaltimento già

esistenti. La tecnica di smaltimento considerata andrà esaminata in tutte le sue diverse fasi:

- stoccaggio temporaneo;
- trasporto;
- stazione di conferimento;
- trattamento;
- messa a discarica finale dei prodotti risultanti dal trattamento.

In alcuni casi una migliore comprensione del problema può aversi esaminando anche le fasi che stanno a monte della produzione del rifiuto e del suo successivo smaltimento e i cicli tecnologici di provenienza dello stesso.

L'identificazione dei fattori di rischio e la loro stima va riferita a tutte le emissioni connesse con le fasi di costruzione, esercizio e dismissione dell'opera (ad esempio prodotti in ingresso, intermedi e finali, residui, sostanze suscettibili di formarsi in particolari condizioni di processo, ecc.). Da tali fonti possono essere immessi nei comparti ambientali (aria, acqua, suolo): sostanze chimiche, agenti patogeni, vibrazioni, rumori, radiazioni ionizzanti, ecc., che costituiscono l'insieme degli elementi in grado di determinare effetti negativi sulla salute umana.

Una rappresentazione rapida e sintetica per l'identificazione preliminare del rischio associato alle sostanze chimiche può essere elaborata mediante una matrice che contenga, per ogni sostanza pericolosa, i principali dati che la caratterizzano dal punto di vista chimico-fisico e tossicologico, (tabella 5).

Una base di analisi sufficiente per gli scopi della VIA, anche se non esaustiva, viene anche data dai parametri fisico-chimici e di biodegradazione adottati dalla OCSE e dalla CEE per le nuove sostanze chimiche; tali parametri contribuiscono a delineare gli eventuali scenari di esposizione, la tabella 6 ne riporta i principali. Ulteriori notizie possono essere desunte dai test biologici, tabella 7, i quali consentono di reperire notizie sugli effetti biologici della sostanza in relazione all'esposizione.

I dati precedentemente riportati possono essere reperiti, nella maggior parte dei casi, in letteratura e in inventari e banche dati (ad esempio: Inventario nazionale delle sostanze chimiche presso l'ISS, Environmental Chemicals Data and Information Network (ECDIN), ecc.). A titolo di esempio si riportano, nella tabella 8, le principali voci di interesse per la descritta stima del rischio reperibili nelle schede elaborate nel citato inventario dell'ISS.

I fattori di rischio descritti precedentemente devono essere interpretati in maniera quantitativa correlandoli con il carico inquinante dell'impianto in studio. La stima del carico inquinante viene derivata dai dati di progetto o dai dati misurati per l'impianto in esame (ad esempio: la quantità di rifiuti inceneriti, la portata delle emissioni atmosferiche, la quantità di percolato stimato, ecc.) e dai fattori di emissione caratteristici per quel tipo di tecnologia (ad esempio: kg di polveri emesse per tonnellata di RTN inceneriti, g di inquinante per litro di percolato, ecc.). Tali informazioni possono anche essere ricavate da impianti simili già in funzione o dalla letteratura (ad esempio: Management Control of the Environment, WHO, 1989, Compilation of air pollutant Emission Factors, EPA, 1991).

I dati così elaborati possono essere condensati in una seconda matrice, che può essere correlata con quella precedentemente descritta, nella quale si riportano i carichi inquinanti medi e massimi per i diversi comparti ambientali.

## 5.2. Rischi derivanti da incidenti

Dato il gran numero e varietà di composti che si possono avere in un RTN risulta difficile stabilire indicazioni specifiche per la loro corretta gestione. Tuttavia si possono evidenziare alcuni requisiti necessari di carattere generale:

- Apparecchiature ed attrezzature di movimentazione idonee e specifiche a seconda della tipologia fisica e chimica dei RTN.
- Sistemi di sicurezza e di controllo.
- Conoscenza delle caratteristiche di potenziale pericolosità delle sostanze manipolate.
- Personale addetto all'impianto adeguatamente formato e informato, fornito di idonei sistemi di protezione individuale e motivato al loro utilizzo.

I rischi, che in genere vengono considerati nel caso in esame, sono:

- rischi di incidenti suscettibili di provocare il rilascio di sostanze tossiche nell'ambiente (esterno e interno all'impianto in questione);
- rischi di incendi ed esplosioni;

I dati essenziali per l'identificazione di tali rischi sono: - la pericolosità, le caratteristiche intrinseche, i quantitativi delle sostanze trattate, stoccate e trasportate nel processo di trattamento o smaltimento in esame, - l'ambiente nel quale dette sostanze vengono a trovarsi, - le interazioni che si possono avere con altre sostanze. Queste informazioni potranno essere considerate in una terza matrice nella quale per ogni sostanza già riportata nella matrice per l'identificazione preliminare dei rischi, siano indicati i quantitativi medi e massimi usati, stoccati e trasportati.

Andranno anche considerati i possibili malfunzionamenti dei sistemi o dei processi che possono avere possibili ripercussioni di carattere ambientale quali:

- Interruzioni di energia.
- Sversamenti accidentali di liquidi tossici e/o infiammabili.
- Disfunzioni e guasti imprevedibili: alle linee di trasferimento e movimentazione dei materiali e dei reflui liquidi, agli impianti di trattamento, agli impianti di abbattimento, ecc..
- Rotture di serbatoi.

Per le diverse ipotesi individuate andrà stimata la possibile emissione di sostanze nei diversi comparti graduando l'incidente sui casi più probabili (piccoli sversamenti, rotture, ecc.) ed anche su ipotesi di "caso peggiore". Questo consente di individuare e modulare le necessarie misure di prevenzione e mitigazione (anticendio, allarmi, vasche di contenimento, rete di raccolta degli sversamenti, ecc.).

Altro aspetto da considerare è quello relativo ad emissioni accidentali di gas o vapori a seguito di reazioni tra rifiuti. Infatti il contatto tra rifiuti può dar luogo a reazioni chimiche con conseguente sviluppo di calore, di pressione, di sostanze altamente infiammabili o esplosivi, e quindi causare incendi o scoppi con emissione di fumi e gas tossici.

Tenendo conto delle possibili incompatibilità tra le diverse categorie di rifiuti e delle possibili conseguenze si possono riassumere schematicamente i seguenti casi:

**Reazioni violente con sviluppo di calore;** possono essere causate dalla miscelazione di:

- fanghi contenenti acetilene, sostanze o liquidi alcalini caustici e/o corrosivi,

con:

- fanghi, salamoie o liquidi acidi, pulitori chimici.

**Produzioni di gas tossici;** possono essere causate dalla miscelazione di:

- soluzioni esaurite di cianuro e zolfo

con:

- fanghi, salamoie o liquidi acidi, pulitori chimici.

**Incendio e esplosione con produzione di gas tossici infiammabili;** possono essere causate dalla miscelazione di:

- pesticidi

con:

- solventi, esplosivi, idrocarburi;

di:

- alcoli, aldeidi, idrocarburi, acqua

con:

- fanghi contenenti acetilene, sostanze o liquidi alcalini caustici e/o corrosivi, fanghi salamoie o liquidi acidi, pulitori chimici, metalli reattivi (Al, Be, Ca, Li, Mg, K, Na, Zn); e di:

- cloro, clorati, perclorati, cloriti, ipocloriti, acido cromico, nitrati, acido nitrico, permanganati, perossidi

con:

- acidi organici e minerali, rifiuti minerali concentrati, solventi, esplosivi, idrocarburi, sostanze infiammabili e combustibili, metalli reattivi (Al, Be, Ca, Li, Mg, K, Na, Zn), alcoli, aldeidi.

Di seguito si riporta, tabella 9, uno schema riassuntivo di compatibilità dei rifiuti pericolosi (EPA, 1980).

### 5.3. Livelli di contaminazione ambientale ed esposizione

La concentrazione dei contaminanti nell'ambiente sarà funzione di:

- quantità di contaminante rilasciato nell'unità di tempo;
- modalità di sversamento (sorgente puntiforme, sorgente diffusa, quota di rilascio, ecc.);
- processi di diluizione, trasformazione e degradazione;
- mobilità e destino ambientale del contaminante.

L'uso di modelli matematici di dispersione degli inquinanti (modelli di compartimentalizzazione, modelli di ricaduta, ecc.) rappresenta un efficace ausilio per identificare i comparti ambientali a maggior rischio e definire i possibili ordini di grandezza delle concentrazioni dei contaminanti nei comparti stessi. Sono anche disponibili nomogrammi, tabelle e metodi di semplice uso che consentono una rapida stima di massima senza far uso di complessi processi di calcolo (si veda ad esempio: "Modelli per lo studio della mobilità e destino ambientale delle principali sostanze

inquinanti di acque sotterranee", Ministero dell'Ambiente - Istituto Superiore di Sanità, 1993).

La definizione della qualità e quantità di sostanze rilasciate nell'ambiente e la conoscenza del loro comportamento consente la stima delle possibili concentrazioni alle quali la popolazione può venire esposta. Tale esposizione dovrà tenere conto delle diverse vie d'assunzione da parte dell'uomo: inalatoria, assorbimento dermico, ingestione.

### 5.3.1. Esposizione per inalazione

La stima dell'esposizione per via inalatoria ( $E_{in}$ ) può essere calcolata mediante la seguente relazione:

$$E_{in} = I \times C \times R$$

dove :

"I" è il tasso di inalazione ( $m^3$  aria/giorno); nel caso di un uomo del peso di 70 kg questo tasso può oscillare da 20  $m^3$  aria/giorno (generalmente adottato come tasso respiratorio standard) a 40  $m^3$  aria/giorno (nel caso di attività fisica intensa).

"C" è la concentrazione in aria ( $mg/m^3$ ) dell'inquinante, è consigliabile considerare sia i valori medi che i valori estremi.

"R" è la frazione di inquinante assorbita; nel caso dei gas dipende dalla solubilità del gas stesso nel sangue. In assenza di dati oggettivi che dimostrino il contrario, è consigliabile assumere l'assorbimento completo del gas (cioè  $r=1$ ; stima conservativa). Nel caso di materiale particellare il sito di deposizione nell'apparato respiratorio è fortemente correlato alle dimensioni del particolato. Particelle di 5  $\mu m$  o di maggiori dimensioni si depositano per lo più nella regione nasofaringea da cui possono essere rimosse naturalmente; tali particelle possono anche essere ingerite insieme a quelle inalate attraverso la bocca (esposizione per ingestione "indiretta"). Particelle da 2 a 5  $\mu m$  si depositano prevalentemente nella regione tracheobronchiolare dei polmoni da cui possono essere rimosse dal movimento verso l'alto dello strato mucoso da colpi di tosse e da starnutamento; anche in questo caso le particelle possono essere ingerite (esposizione per ingestione "indiretta"). Particelle di dimensione uguali e inferiori ad 1  $\mu m$  possono invece raggiungere le regioni alveolari del polmone, in questo caso la rimozione del particolato dall'alveolo dipende dalla solubilità del composto nei fluidi polmonari ed è caratterizzata da una bassa efficienza. In genere si assume, in via cautelativa e prudentiale,  $r=1$  per le particelle di dimensione uguale o inferiore a 1  $\mu m$  e  $r<1$  per particelle di dimensioni maggiori, in base anche alla conoscenza di processi biologici e chimici coinvolti ( $r=1$  nel caso di una stima conservativa).

### 5.3.2. Esposizione per assorbimento dermico

La stima dell'esposizione per assorbimento dermico ( $E_{ad}$ ) può essere calcolata dalla seguente relazione:

$$E_{ad} = P \times C \times S \times R$$

dove:

"P" è la quantità di materiale presente sulla superficie cutanea esposta ( $g/m^2$ ). L'esposizione cutanea a contaminanti ambientali può essere dovuta alla deposizione di

polvere presente nell'aria: il grado di deposizione può oscillare da meno di 100 mg/m<sup>2</sup>/giorno in condizioni normali, a 1 g/m<sup>2</sup>/giorno e più in ambienti molto polverosi (ad esempio nel caso di persone esposte professionalmente o nel caso di bambini che giocano su terreno polveroso) i valori di P possono essere più elevati (superiori a diversi grammi per metro quadrato di cute). Valori analoghi possono essere attesi nel caso di liquidi e di aerosol, dipendentemente dalle condizioni di esposizione (da meno di 10 mg/m<sup>2</sup> a più di 1 g/m<sup>2</sup>).

"C" è la concentrazione della sostanza chimica coinvolta nel materiale presente sulla pelle (mg/g). In genere vengono considerati sia i livelli medi che gli estremi.

"S" è la superficie cutanea esposta (m<sup>2</sup>). In media si ritiene che l'intera superficie corporea di un uomo del peso di 70 kg approssimativamente 1,8 m<sup>2</sup>; generalmente la parte di superficie cutanea esposta è il 10-20 % della superficie totale.

"R" è la frazione di inquinante assorbita. L'assorbimento cutaneo di sostanze tossiche dipende da diversi fattori: dalla regione esposta specifica del corpo, dall'umidità della cute (la permeabilità dello strato superiore della pelle, strato corneo, può aumentare più di 10 volte in condizioni di umidità cutanea), dalla integrità cutanea (abrasioni o rimozione dello strato corneo possono aumentare la permeabilità cutanea), dalla presenza di acidi, alcali, solventi e altri agenti suscettibili di causare danno cutaneo o aumentare la permeabilità. Qualora sussistano uno o più di questi fattori negativi, può essere consigliabile adottare r=1 (stima conservativa).

### 5.3.3. Esposizione per ingestione

La stima della esposizione per ingestione ( $E_{in}$ ) può essere calcolata, per ciascuna sostanza e per ciascun cibo assunto, mediante la seguente relazione:

$$E_{in} = (F_i \times C_i) + C_d \times D_{ei}$$

dove:

"F<sub>i</sub>" è la quantità di cibo "i" nella dieta esaminata (g/giorno); in genere si considerano sia i consumi medi che gli estremi.

"C<sub>i</sub>" è la concentrazione della sostanza chimica presente nel cibo "i" (mg/giorno); è consigliabile considerare sia i valori medi che estremi.

"C<sub>d</sub>" è la concentrazione della sostanza chimica presente nelle polveri ambientali (mg/g); in genere si considerano sia valori medi che valori estremi.

"D<sub>ei</sub>" è la quantità di polveri ambientali direttamente ingerite; può variare da 0,1 mg/giorno (valore normale in ambienti chiusi a bassa concentrazione di polvere) a 10 g/giorno (valore proposto per una stima conservativa nel caso di bambini che giocano per un'intera giornata su un suolo molto polveroso e a continuo contatto col terreno).

La valutazione dell'esposizione per ingestione può essere facilitata dall'uso di liste di consumi alimentari relative alla popolazione coinvolta, in cui siano riportate le quantità medie e massime attese dei cibi specifici nella dieta esaminata.

Tabella 5.

Dati di base per la costruzione di una matrice per l'identificazione preliminare del rischio associabile alle sostanze chimiche.

- |     |  |
|-----|--|
| 1.  | Nome e numero codice della sostanza (Numero CAS, CEE, ecc.)  |
| 2.  | Tossicità acuta (DL <sub>50</sub> e classificazione di tossicità)  |
| 3.  | Tossicità subcronica, No Observed Effect Level (Noel) è la definizione sperimentale di una dose per la quale non si osservano effetti in specie animali, Low Observed Adverse Effect Level (Loael)   |
| 4.  | Tossicità cronica (Noel, Loael)  |
| 5.  | Cancerogenità (Si/No, classificazione Iarc, stime di rischio a basse dosi, ecc.)   |
| 6.  | Mutagenicità (Si/No, tipo di test)   |
| 7.  | ADI (Acceptable Daily Intake: definito dal Comitato di esperti Fao/Who sugli additivi alimentari (1974) come "la quantità di additivo che può essere assunto giornalmente con la dieta anche per tutto il tempo-vita, senza rischio")  |
| 8.  | MAC (massime concentrazioni accettabili)   |
| 9.  | TLV-TWA (valore limite di soglia-media ponderata del tempo-concentrazione media ponderata nel tempo per una giornata lavorativa di 8 ore e per 40 ore lavorative settimanali a cui quasi tutti i lavoratori possono essere esposti ripetutamente, giorno dopo giorno, senza effetti negativi)  |
| 10. | TLV-STEL (valore limite di soglia-limite per breve tempo di esposizione-concentrazione a cui i lavoratori possono essere esposti continuamente per un breve periodo di tempo senza che insorgano 1) irritazione, 2) alterazione cronica o irreversibile del tessuto, 3) narcosi di grado sufficiente ad accrescere le probabilità di infortuni, o menomare le capacità di mettersi in salvo o ridurre materialmente l'efficienza lavorativa, purché il TLV-TWA giornaliero non venga superato) |
| 11. | TLV-C (valore limite di soglia-Ceiling-concentrazione che non deve essere superata durante l'esposizione lavorativa. La pratica convenzionale di igiene industriale per la valutazione di un TLV-C consiste nel campionare per un periodo di 15 minuti eccezion fatta per quelle sostanze che possono dar luogo, per esposizioni particolarmente brevi, a fenomeni irritativi immediati)   |
| 12. | Ogni altra stima di dose accettabile (standard di qualità, valore guida, ecc.)   |
| 13. | Persistenza ambientale   |
| 14. | Fattore di bioaccumulo   |
| 15. | Infiammabilità   |
| 16. | Esplosività  |
| 17. | Corrosività  |
| 18. | Radioattività  |
| 19. | Teratogenicità   |
| 20. | Dati di rischio occupazionale  |
| 21. | Dati epidemiologici  |
| 22. | Coefficiente di ripartizione acqua/aria  |
| 23. | Coefficiente di ripartizione suolo/acqua   |
| 24. | Eventuali altri dati di interesse  |

Tabella 6.  
Parametri fisico-chimici di biodegradazione e principali indicazioni ottenibili da essi.

PARAMETRO	PRINCIPALI INDICAZIONI OTTENIBILI
Spettro di assorbimento Uv-visibile	Identificazione della sostanza, reazioni foto-indotte, foto-degradazione
Punto di fusione/intervallo di fusione	Stato fisico nell'ambiente, distribuzione tra i comparti ambientali (suolo, acqua e aria)
Punto di ebollizione/intervallo di ebollizione	Stato fisico nell'ambiente, distribuzione tra i comparti ambientali
Curva della pressione di vapore	Potenziale esposizione dell'uomo, distribuzione tra i comparti ambientali
Solubilità in acqua	Potenziale esposizione dell'uomo, distribuzione tra comparti diffusione in acqua, bioaccumulo negli organismi acquatici
Adsorbimento/desorbimento	Distribuzione nei comparti ambientali, trasporto, biodisponibilità
Coefficiente di ripartizione (n-ottanolo-acqua)	Potenziale di bioaccumulo negli organismi acquatici; estrapolazione ad altri organismi
Densità dei fluidi e dei solidi	Distribuzione tra i comparti ambientali (sedimentazione, stratificazione, ecc.)
Granulometria del materiale particellare	Trasporto, caratteristiche di inalazione, penetrazione nei tessuti biologici
Idrolisi in funzione del pH	Persistenza nell'ambiente, degradazione abiotica
Costante di dissociazione in acqua	Quantità di forma dissociata e indissociata nell'ambiente acquatico; processi di trasferimento dal comparto acqua ad altri comparti
Biodegradabilità	Persistenza ambientale

Tabella 7.  
Test biologici e principali indicazioni ottenibili.

Parametro e specie biologiche comunemente usate	Principali indicazioni ottenibili
Tossicità acuta (roditore)	Informazione iniziale sull'azione tossica. Classificazione ed etichettatura tossicologica delle sostanze chimiche (orale, dermica o inalatoria). DL <sub>50</sub> . Forma della relazione dose-risposta
Irritazione/corrosione oculare acuta (coniglio)	Proprietà irritanti (intervallo di effetto irritante)
Irritazione/corrosione oculare acuta (coniglio)	Effetti nocivi agli occhi
Sensibilizzazione cutanea (cavia)	Dermatiti allergiche da contatto
Tossicità orale per dosi ripetute 14 o 28 giorni di trattamento su roditore	Rischi per la salute derivati da esposizione ripetuta. Organi bersaglio. Dose priva di effetto tossico per dosi ripetute (No Observed Effect Level-Noel)
Mutagenicità (cellule procariote, eucariote, mammiferi, ecc)	Potenziale mutageno e cancerogeno
Inibizione della crescita algale	Effetti potenziali nell'ambiente naturale e sugli ecosistemi. EC <sub>50</sub> . Relazione tempo-effetto
Dafnia, 14 giorni, riproduzione. Immobilizzazione acuta (Daphnia Magna)	Effetti potenziali nell'ambiente naturale e sugli ecosistemi. EC <sub>50</sub> . Relazione tempo-effetto, LC <sub>50</sub> . Forma della relazione dose-risposta e della relazione tempo-risposta. Effetti sulla popolazione e sulla riproduzione
Peace, tossicità acuta (esposizione continua per almeno 48 ore, preferibilmente 96 ore)	Tossicità sulla vita acquatica. Forma della relazione dose-risposta. Forma della relazione tempo-effetto tossico

Tabella 8.  
Elenco delle principali voci di interesse nella valutazione del rischio, presenti nelle schede dell' Inventario Nazionale delle Sostanze Chimiche dell'Istituto Superiore di Sanità.

- Identità della sostanza
- Proprietà fisiche, chimiche, chimico-fisiche
- Precauzioni da adottare nella manipolazione, nel deposito del trasporto
- Pericolo di incendio o esplosione
- Incompatibilità, reazioni pericolose
- Dati tossicologici sui mammiferi
- Dati ecotossicologici
- Studi ambientali (destino ambientale, reattività, degradazione)
- Osservazione sull'uomo (esposizione professionale, esposizione non professionale, esposizione accidentale)
- Misure per l'emergenza e/o l'inattivazione
- Concentrazioni limite
- Classificazioni di pericolo (avvertenze di rischio, frasi R, consigli di prudenza, frasi S)



