

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

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

*5 Gestione dei rifiuti*

*(Impianti di incenerimento)*

## **PREMESSA**

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

Il GTR risulta così costituito:

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

Il documento è stato elaborato nell'ambito del sottogruppo "Impianti di incenerimento" al quale hanno partecipato, oltre alla dott.ssa Rosanna Laraia, coordinatore del GTR i seguenti esperti:

- ing. Pasquale De Stefanis (ENEA)
- dott. Federico Foschini (APAT).

<b>A) SCOPI ED OBIETTIVI.....</b>	<b>7</b>
<b>B) IDENTIFICAZIONE DELLA NORMATIVA AMBIENTALE RILEVANTE NEL SETTORE .....</b>	<b>9</b>
B.1 Normativa Comunitaria .....	9
B.2 Normativa Nazionale .....	11
<b>C) RICOGNIZIONE DELLA SITUAZIONE DEL SETTORE, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLE SPECIFICITA' DEL TESSUTO INDUSTRIALE NAZIONALE.....</b>	<b>19</b>
C.1 Dati sulla quantità di rifiuti trattati.....	19
C.1.1 Incenerimento di rifiuti urbani e speciali.....	19
C.2 Numero del personale impiegato .....	19
C.3 Dati macroeconomici .....	19
C.4 Impatto ambientale del settore .....	19
C.5 Emissioni gassose .....	19
C.5.2 Residui solidi .....	20
<b>D) DESCRIZIONE DEL PROCESSO DI INCENERIMENTO.....</b>	<b>22</b>
D.1 Gestione dei rifiuti in ingresso e dei residui in uscita.....	23
D.1.1 Conferimento, stoccaggio e alimentazione rifiuti.....	23
D.1.2 Raccolta, stoccaggio ed evacuazione dei residui.....	24
D.2 Tecnologie di combustione dei rifiuti.....	25
D.2.1 I forni a griglia .....	26
D.2.2 I forni a tamburo rotante .....	28
D.2.3 I combustori a letto fluido.....	30
D.2.4 Analisi comparata delle diverse tecnologie di combustione.....	33
D.2.5 La post-combustione.....	35
D.2.6 Altre tipologie di apparecchiature di combustione.....	35
D.2.7 Altre tecnologie .....	38
D.3 Trattamento dei fumi .....	38
D.3.1 Generalità.....	38
D.3.2 La rimozione delle polveri.....	39
D.3.3 La rimozione degli inquinanti.....	43
D.4 Il recupero energetico dalla combustione dei rifiuti .....	46
D.4.1 Produzione di energia elettrica .....	48
<b>E) DESCRIZIONE DELLE ANALISI ELABORATE IN AMBITO COMUNITARIO PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE BAT, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO, OVE DISPONIBILI, ALLE CONCLUSIONI DEI BREF.....</b>	<b>50</b>
E.1 Migliori tecniche e tecnologie per lo specifico settore .....	50
E.2 Aspetti tecnici e tecnologici dello specifico settore.....	50
E.2.1 Aspetti generali .....	50
E.2.2 Trattamento dei rifiuti urbani indifferenziati .....	51
E.2.3 Trattamento dei rifiuti pretrattati.....	53
E.2.4 Trattamento dei rifiuti pericolosi .....	55
E.2.5 Trattamento dei fanghi di depurazione .....	56
E.2.6 Trattamento di rifiuti sanitari .....	58
E.2.7 Distruzione di rifiuti contenenti PCB tramite incenerimento .....	59
E.2.8 Tecniche e tecnologie di recupero energetico.....	61
E.2.9 Trattamento dei fumi e controllo delle emissioni .....	63
E.2.10 Tecniche di trattamento e controllo delle acque reflue .....	68
E.2.11 Gestione e trattamento dei residui solidi.....	69

E.2.12 Tecniche di monitoraggio e controllo delle emissioni .....	71
E.3 Aspetti ambientali .....	72
E.3.1 Consumi di energia e risorse .....	72
E.3.2 Emissioni, reflui, scarichi termici, rumore e vibrazioni.....	73
E.3.3 Produzione di residui.....	75
E.4 Migliori tecniche e tecnologie.....	78
<b>F) APPROFONDIMENTO, OVE NECESSARIO, DELLE TECNICHE ANALIZZATE NEI BREF COMUNITARI E DEFINIZIONE, OVE POSSIBILE, DEL RANGE DI PRESTAZIONE DELLE DIVERSE TECNICHE.....</b>	<b>85</b>
F.1 Analisi delle possibili BAT .....	85
F.1.1 Gestione dei materiali in ingresso ed in uscita.....	85
F.1.2 Trattamento termico – tecnologie di combustione.....	86
F.1.3 Scambio termico e recupero energetico .....	87
F.1.5 Trattamento delle acque di processo .....	91
F.1.6 Trattamento dei residui solidi.....	92
F.2 Condizioni operative e prestazioni.....	93
<b>G) IDENTIFICAZIONE DI EVENTUALI TECNICHE ALTERNATIVE E DEFINIZIONE, OVE POSSIBILE, DEL RANGE DI PRESTAZIONE DI TALI TECNICHE.....</b>	<b>96</b>
G.1 Processi e tecnologie alternativi .....	96
G.1.1 Gassificazione.....	96
G.1.2 Pirolisi.....	100
G.1.3 Le tecnologie basate su processi combinati.....	101
G.1.4 Il recupero energetico tramite gassificazione e pirolisi .....	102
G.2 Altre tecnologie in fase di sviluppo per applicazioni particolari.....	104
G.2.1 Combustione con aria arricchita o ossigeno puro.....	104
G.2.2 Processi all’arco-plasma .....	106
G.3 Trattamento termico di rifiuti integrato in impianti di produzione di energia.....	107
<b>H) DEFINIZIONE (SULLA BASE DELL’APPROFONDIMENTO E DELL’ESTENSIONE DELLE ANALISI SVOLTE IN SEDE COMUNITARIA) DELLA LISTA DELLE MIGLIORI TECNICHE PER LA PREVENZIONE INTEGRATA DELL’INQUINAMENTO DELLO SPECIFICO SETTORE IN ITALIA .....</b>	<b>108</b>
H.1 Gestione dei rifiuti in ingresso.....	108
H.1.1 Modalità di raccolta.....	108
H.1.2 Controllo dei rifiuti in ingresso.....	108
H.1.3 Stoccaggio.....	109
H.2 Trattamento termico.....	109
H.2.1 Forni a griglia .....	109
H.2.2 Forni a letto fluido .....	109
H.2.3 Forni a tamburo rotante .....	110
H.2.4 Altri processi e tecnologie .....	110
H.2.5 Tecniche per migliorare le prestazioni delle apparecchiature di combustione....	110
H.3 Recupero energetico .....	111
H.3.1 Generatore di vapore.....	111
H.3.2 Turbogruppo e circuito vapore .....	111
H.3.3 Ottimizzazione dei livelli di recupero energetico (vedi anche punto F.1.3).....	111
H.4 Trattamento fumi e controllo emissioni.....	112
H.4.1 Emissioni puntiformi in aria .....	112
H.4.2 Emissioni diffuse in aria .....	120

H.4.3 Odori .....	121
H.5 Trattamento delle acque reflue .....	121
H.5.1 Trattamento acque .....	121
H.5.2 Protezione della falda .....	121
H.6 Gestione dei residui solidi .....	122
H.6.1 Movimentazione e stoccaggio .....	122
H.6.2 Smaltimento e recupero .....	122
H.6.3 Trattamento dei residui solidi .....	122
H.7 Impiego di risorse .....	123
H.7.1 Materie prime .....	123
H.7.2 Energia .....	124
H.8 Rumore .....	124
H.8.1 Modalità di controllo .....	125
H.9 Strumenti di gestione ambientale .....	125
H.9.1 Migliori tecniche di gestione degli impianti di incenerimento dei rifiuti .....	125
H.9.2 Programma di sorveglianza e controllo (PSC) .....	125
H.9.3 Personale .....	126
H.9.4 Benchmarking .....	126
H.9.5 Certificazione .....	126
H.9.6 Sistemi di supervisione e controllo .....	126
H.10 Monitoraggio .....	126
H.11 Comunicazione e consapevolezza pubblica .....	127
H.12 Aspetti di pianificazione e gestione .....	127
H.12.1 Ubicazione dell'impianto .....	127
H.12.2 Potenzialità dell'impianto .....	127
H.12.3 Bacino di utenza .....	127
H.12.4 Trasporti e collegamento al sistema viario .....	127
<b>D) ANALISI DELL'APPLICABILITA' AD IMPIANTI ESISTENTI DELLE TECNICHE DI PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO ELENcate AL PUNTO PRECEDENTE, ANCHE CON RIFERIMENTO AI TEMPI DI ATTUAZIONE .....</b>	<b>128</b>
I.1 Applicazione delle BAT .....	128
I.1.1 Le dimensioni dell'impianto .....	128
I.1.2 L'età dell'impianto .....	128
I.1.3 L'ubicazione e il contesto locale .....	128
I.1.4 La tipologia di rifiuti trattati .....	129
I.1.5 Presenza di vincoli di carattere tecnico .....	129
I.1.6 La legislazione a livello nazionale e regionale .....	129
I.2 Interventi per l'applicazione delle BAT .....	129
I.2.1 Interventi di carattere operativo-gestionale .....	130
I.2.2 Interventi ristrutturativi .....	132
I.2.3 Adozione di piano di gestione operativa .....	132
I.2.4 Adozione di un programma di sorveglianza e controllo .....	132
I.2.5 Benchmarking .....	133
I.2.6 Certificazione .....	133
I.2.7 Comunicazione e consapevolezza pubblica .....	133
<b>J) FATTIBILITA' ECONOMICA DELLE TECNICHE ELENcate ANALIZZATA ATTRAVERSO L'ANALISI DEI COSTI BENEFICI .....</b>	<b>134</b>
J.1 Considerazioni economiche di carattere generale sugli impianti di incenerimento .....	134
J.1.1 Costi unitari di investimento .....	134

J.1.2 Costi di gestione.....	134
<b>K) DEFINIZIONE DEI CRITERI DI INDIVIDUAZIONE E UTILIZZAZIONE DELLE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI.....</b>	<b>136</b>
K.1 La definizione e l'applicazione delle BAT .....	136
K.1.1 La direttiva 96/61/CE .....	136
K.1.2 Impatto ambientale e rischi.....	136
K.1.3 Fattibilità tecnico-economica.....	136
K.1.4 Processo decisionale per l'individuazione delle BAT .....	136
K.2 Criteri di individuazione delle BAT .....	137
K.2.1. Impiego di tecniche a scarsa produzione di rifiuti.....	137
K.2.2 Impiego di sostanze meno pericolose .....	137
K.2.3 Tecniche per il recupero/riciclo delle correnti in uscita al processo e dei rifiuti.	137
K.2.4 Processi, sistemi o metodi operativi sperimentati su scala industriale .....	137
K.2.5 Progressi in campo tecnico e evoluzione delle conoscenze in campo scientifico	138
K.2.6 Natura, effetti e volume delle emissioni.....	138
K.2.7 Messa in funzione degli impianti nuovi o esistenti .....	138
K.2.8 Tempo richiesto per l'adozione di una migliore tecnica disponibile.....	138
K.2.9 Consumo di risorse .....	138
K.2.10 Prevenzione e riduzione dell'impatto globale sull'ambiente.....	138
K.2.11 Prevenzione degli incidenti e minimizzazione degli effetti.....	139
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>140</b>
<b>GLOSSARIO .....</b>	<b>141</b>
a) Abbreviazioni ed acronimi .....	141
b) Definizioni.....	144

## A) SCOPI ED OBIETTIVI

Con decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio, di concerto con il Ministro delle attività produttive e con il Ministro della Salute, in data 15 aprile 2003, è stata istituita la Commissione Nazionale ex art. 3, comma 2, del decreto legislativo 372/99 (recepimento della direttiva 96/61/CE nota come "IPPC"), per la redazione di linee guida per l'individuazione delle Migliori Tecniche Disponibili (MTD) meglio note con l'acronimo inglese di BAT ("**B**est **A**vailable **T**echniques"), ai fini del rilascio, da parte delle autorità competenti nazionali e regionali, dell'autorizzazione integrata ambientale (AIA).

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

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

Nel presente documento sono riportati i risultati dei lavori del GTR "Incenerimento dei rifiuti".

Nel corso dei vari capitoli in cui è articolato, si farà ripetutamente riferimento al relativo BRef comunitario "Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration" (BREF on Waste Incineration) che è disponibile sul sito dell'EIPPCB (<http://eippcb.jrc.es>) come documento definitivo, dopo una elaborazione di 3 anni, terminata nel Luglio 2005.

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

A tale fine si è cercato di fornire:

- Un quadro quanto più esaustivo dello stato attuale e delle prospettive riguardo ai processi ed alle tecnologie di incenerimento di rifiuti, includendo in tale accezione non solo i rifiuti urbani (RU), ma anche i rifiuti speciali (RS) e pericolosi (RP) di origine commerciale o industriale, nonché specifiche categorie che richiedono particolare cautele per il loro trattamento (rifiuti sanitari, fanghi da depurazione acque reflue, scarti di origine animale);
- Una sintesi dei lavori svolti a livello europeo;
- Informazioni riguardo agli attuali livelli di emissioni ed ai consumi di risorse (materie prime ed energia) del settore;
- Alcune linee guida su possibili tecniche che possono costituire BAT di riferimento a livello nazionale, tenuto conto della specifica situazione del settore in Italia.

Sulla definizione delle BAT, in particolare, si intende qui evidenziare (argomento che sarà discusso più in dettaglio in seguito) che la loro applicabilità non può risultare di carattere generale, essendo fortemente influenzata dalla tipologia di rifiuti trattati e, soprattutto, dalla condizioni locali nel quale lo specifico impianto è o dovrà essere installato.

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

La fattibilità economica sia in sede di definizione che di valutazione, deve essere effettuata caso per caso, in quanto essa non può prescindere da fattori locali (ambientali, gestionali,

territoriali, economici e sociali) riguardanti sia l'azienda (es.: dimensioni ed età dell'impianto) che la presenza o meno sul territorio interessato di servizi, infrastrutture o problematiche particolari che possono influenzare in maniera notevole la quantificazione di oneri e benefici (di tutti) e quindi, in ultima analisi, le scelte di carattere tecnico-gestionale dell'azienda.

Nello spirito di "linea guida" si ritiene che nel presente documento possano essere fornite a riguardo solo indicazioni di carattere generale, che dovranno essere oggetto di verifica quantitativa di dettaglio a livello di singolo impianto, inserito in una specifica realtà locale.



## **B) IDENTIFICAZIONE DELLA NORMATIVA AMBIENTALE RILEVANTE NEL SETTORE**

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

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

### **B.1 Normativa Comunitaria**

**Direttiva 75/442/CEE del 15 luglio 1975** *relativa ai rifiuti* (come modificata dalla **direttiva 91/156/CEE del 18 marzo 1991**).

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

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

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

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

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

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

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

**Reg. (CEE) n. 259/93 del 1° febbraio 1993** *sulla sorveglianza ed il controllo delle spedizioni di rifiuti all'interno della Comunità europea nonché in entrata ed in uscita dal suo territorio* (come modificato dal **regolamento (CE) n. 2557/2001 del 28 dicembre 2001**).

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

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

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

**Direttiva 94/62/CE del 25 novembre 1994** *sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio.*

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

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

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

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

**Direttiva 96/59/CE del 16 settembre 1996** *concernente lo smaltimento dei Policlorodifenili*

*e dei Policlorotrifenili (PCB/PCT).*

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

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

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

**Regolamento (CE) n. 2037/2000** *sulle sostanze che riducono lo strato di ozono.*

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

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

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

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

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

**Direttiva 2001/77/CE del 27 settembre 2001** *sulla promozione dell' energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili C dell' elettricità.*

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

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

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

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

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

**Decisione 2002/358/CE del 25 aprile 2002** *riguardante l'approvazione, a norma della Comunità europea, del Protocollo di Kyoto allegato alla convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici e l'adempimento congiunto dei relativi impegni.*

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

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

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

*pericolosi.*

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

**Decisione 2003/33/CE del 19 dicembre 2002**, *che stabilisce criteri e procedure per l'ammissione dei rifiuti nelle discariche ai sensi dell'articolo 16 e dell'allegato II della direttiva 1999/31/CE. Direttiva 2002/95/CE del 27 gennaio 2003 sulla restrizione d'uso di determinate sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE).*

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

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

**Direttiva 2003/87/CE del 13 ottobre 2003** *che istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni di gas a effetto serra nelle Comunità e che modifica la direttiva 96/61/CE.*

**Direttiva 2003/108/CE dell'8 dicembre 2003** *che modifica la direttiva 2002/96/CE sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE).*

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

**Decisione 2004/156/CE del 29 gennaio 2004** *che istituisce le linee guida per il monitoraggio e la comunicazione delle emissioni di gas a effetto serra ai sensi della direttiva 2003/87/CE.*

**Decisione 2004/280/CE dell'11 febbraio 2004** *relativa ad un meccanismo per monitorare le emissioni di gas a effetto serra nella Comunità e per attuare il Protocollo di Kyoto.*

**Direttiva 2004/12/CE dell'11 febbraio 2004** *che modifica la direttiva 94/62/CE in materia di imballaggi e rifiuti di imballaggio.*

**Decisione 2004/249/CE dell' 11 marzo 2004** *relativa al questionario ad uso degli stati membri sull'attuazione della direttiva 2002/96/CE sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE).*

**Decisione 2004/279/CE del 19 marzo 2004** *concernente orientamenti per l'attuazione della direttiva 2002/03/CE relativa all'ozono nell'aria.*

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

## **B.2 Normativa Nazionale**

*Normativa generale sui rifiuti e sugli impianti di trattamento rifiuti*

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

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

**D.Lgs. 5 febbraio 1997 n. 22** *"attuazione delle Direttive 91/156CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62CE sugli imballaggi e rifiuti di imballaggio"*.

**D.M. 29 ottobre 1997** *"Approvazione statuto CONAI"*.

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

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

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

**D.M. 1 aprile 1998, n. 145** *"Regolamento recante la definizione del modello e dei contenuti*

*del formulario di accompagnamento dei rifiuti ai sensi degli artt.15, 18 comma 2, lettera e), e comma 4, del D.Lgs. 22/97”.*

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

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

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

**Legge 9 dicembre 1998, n. 426** “Nuovi interventi in campo ambientale”

**D.M. 25 ottobre 1999, n. 471** “Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell’articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, e successive modificazioni”.

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

**D.M. 25 febbraio 2000, n. 124** “Regolamento recante i valori limite di emissione e le norme tecniche riguardanti le caratteristiche e le condizioni di esercizio degli impianti di incenerimento e co-incenerimento dei rifiuti pericolosi, in attuazione della Direttiva 94/67/CEE del Consiglio del 16 Dicembre 1994, e ai sensi dell’articolo 3, comma 2, del DPR 24 maggio 1988, n. 203 e dell’articolo 18, comma 2, lettera a), del D.Lgs. 5 febbraio 1997, n.22”.

**Legge 23 marzo 2001, n. 93** “Disposizioni in campo ambientale”.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### ***Inquinamento atmosferico e contenimento emissioni***

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**D.M. 26 gennaio 2005** “Istituzione presso la Direzione generale per la salvaguardia ambientale del comitato tecnico previsto dall'articolo 3, comma 2, del decreto legislativo 21 maggio 2004, n. 171”

#### ***Tutela delle risorse idriche***

**Legge 5 gennaio 1994, n. 36** “Disposizioni in materia di risorse idriche”.

**D.P.R. 18 febbraio 1999, n. 238** “Regolamento recante norme per l'attuazione di talune disposizioni della L. 5 gennaio 1994, n. 36, in materia di risorse idriche”.

**D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152** “Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole”.

**D.Lgs. 18 agosto 2000, n. 258** “Disposizioni correttive e integrative del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, a norma dell'articolo 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n. 128”.

**D.M. 6 novembre 2003, n. 367** “Regolamento concernente la fissazione di standard di qualità nell'ambiente acquatico per le sostanze pericolose, ai sensi dell'art.3, comma 4, del D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152”.

**D.M. 29 dicembre 2003, n. 391** “Regolamento recante la modifica del criterio di classificazione dei laghi di cui all' allegato 1, tabella 11, punto 3.3.3 del D.Lgs. 11 maggio 1999, n.152”.

**Direttiva Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio 27 maggio 2004** “Disposizioni interpretative delle norme relative agli standard di qualità nell'ambiente acquatico per le sostanze pericolose”

**D.M. 6 luglio 2005** “Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e degli scarichi dei frantoi oleari, di

*cui all'articolo 38 del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152*”

### **Valutazione Impatto Ambientale e IPPC**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **Sicurezza e Igiene del Lavoro**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### ***Inquinamento acustico***

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

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

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

**D.P.C.M. 14 novembre 1997** “Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore”.

**D.M. 16 Marzo 1998** “Tecniche di rilevamento e di misurazione dell’inquinamento acustico”.

**D.Lgs. 4 settembre 2002, n. 262** “Attuazione della direttiva 2000/14/CE concernente l’emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all’aperto”.

**D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 194** “Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale”.

### ***Sostanze pericolose***

**R.D. 18 giugno 1931, n. 773** “Testo unico delle leggi di pubblica sicurezza”.



**D.M. 3 dicembre 1985** “*Classificazione e disciplina dell’imballaggio e dell’etichettatura delle sostanze pericolose, in attuazione delle direttive emanate dal Consiglio e dalla Commissione delle Comunità europee*”.

**D.M. del 23 febbraio 1988, n. 84** “*Etichettatura speciale da applicare su sostanze e preparati pericolosi*”.

**D.P.R. 24 maggio 1988, n. 216** “*Attuazione della direttiva CEE 85/467 recante la sesta modifica (PCB/PCT) della direttiva CEE n. 76/769 concernente il riavvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati membri relative alle restrizioni in materia di immissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi, ai sensi dell’art. 15 della legge 16 aprile 1987, n. 183*”.

**D.M. 11 febbraio 1989** “*Modalità per l’attuazione del censimento dei dati e per la presentazione delle denunce delle apparecchiature contenenti fluidi isolanti a base di PCB*”.

**D.Lgs. 15 agosto 1991, n. 277** “*Attuazione delle direttive 80/1107/CEE, 82/605/CEE, n. 83/447/CEE, n. 86/188/CEE e n. 88/642/CEE, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro, a norma dell’art. 7 legge 30/7/1990, n. 212*”.

**D.M. 17 gennaio 1992** “*Modalità di etichettatura degli apparecchi e impianti contenenti policlorobifenili (PCB) e policlorotrifenili (PCT)*”.

**D.M. 29 luglio 1994** “*Attuazione delle direttive CEE numeri 89/677, 91/173, 91/338 e 91/339 recanti, rispettivamente, l’ottava, la nona, la decima e l’undicesima modifica della direttiva CEE n. 76/769 per il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati membri relative alle restrizioni in materia di immissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi, ai sensi dell’art. 27 della legge 22 febbraio 1994, n. 146*”.

**D.Lgs. 3 febbraio 1997, n. 52** “*Attuazione della direttiva 92/32/CEE concernente classificazione, imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose*”.

**D.M. 4 aprile 1997** “*Attuazione dell’art. 25, commi 1 e 2, del decreto legislativo 3 febbraio 1997, n. 52, concernente classificazione, imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose, relativamente alla scheda informativa in materia di sicurezza*”.

**D.M. 28 aprile 1997** “*Attuazione dell’art. 37, commi 1 e 2, del decreto legislativo 3 febbraio 1997, n. 52, concernente classificazione, imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose*”.

**D.M. 12 agosto 1998** “*Recepimento delle direttive 94/60/CE, 96/55/CE, 97/10/CE, 97/16/CE, 97/56/CE e 97/64/CE recanti modifiche alla direttiva 76/769/CEE del Consiglio del 27 luglio 1976 concernente il riavvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati membri relative alle restrizioni in materia di immissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi*”.

**D.Lgs. 22 maggio 1999, n. 174** “*Disciplina sanzionatoria per le violazioni delle disposizioni del regolamento (CEE) n. 793/93 relativo alla valutazione e al controllo dei rischi presentati dalle sostanze esistenti*”.

**D.Lgs. 22 maggio 1999, n. 209** “*Attuazione della direttiva 96/59/CE relativa allo smaltimento dei policlorodifenili e dei policlorotrifenili*”.

**D.Lgs. 17 agosto 1999, n. 334** “*Attuazione della Direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose*”.

**D.M. 26 gennaio 2001** “*Disposizioni relative alla classificazione, imballaggio ed etichettatura di sostanze pericolose in recepimento della direttiva 2000/32/CE*”.

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

**D.M. 11 ottobre 2001** “*Condizioni per l’utilizzo dei trasformatori contenenti PCB in attesa*”.

*della decontaminazione o dello smaltimento”.*

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

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

**D.M. 18 marzo 2003, n. 101** *“Regolamento per la realizzazione di una mappatura delle zone del territorio nazionale interessate dalla presenza di amianto, ai sensi dell'articolo 20 della L. 23 marzo 2001, n. 93”.*

**D.M. 5 febbraio 2004** *“Modalità ed importi delle garanzie finanziarie che devono essere prestate a favore dello Stato dalle imprese che effettuano le attività di bonifica dei beni contenenti amianto”.*

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

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

### **C.1 Dati sulla quantità di rifiuti trattati**

#### **C.1.1 Incenerimento di rifiuti urbani e speciali**

I dati relativi al numero degli impianti e alle relative quantità trattate sono oggetto di puntuali censimenti effettuati da APAT e pubblicati nei Rapporti annuali sui rifiuti.

### **C.2 Numero del personale impiegato**

Secondo stime Federambiente gli addetti del settore relativo al solo incenerimento dei RU erano pari a circa 1300 nell'anno 2002, corrispondenti a circa 2.200 tonnellate di rifiuti trattati per addetto.

A titolo informativo si riportano inoltre i dati relativi ad impianti di incenerimento di RU di medio-grande taglia che rappresentano un riferimento per impianti di recente costruzione.

<b>Capacità impianto</b>	<b>Numero linee</b>	<b>Personale impiegato</b>
1000-1500 t/g e oltre	3	60 unità ca
400-600 t/g	2	40-45 unità

### **C.3 Dati macroeconomici**

Secondo stime Federambiente i dati relativi all'anno 2002 sono:

- Costi di investimento                      oltre 250 milioni di Euro;
- Investimenti ambientali                    oltre 14 milioni di Euro;
- Fatturato                                        300 milioni di Euro ca.

Gli investimenti per tutto il settore dell'igiene ambientale, secondo Confservizi, ammontano a circa 570 milioni di Euro (dato di bilancio 2000).

### **C.4 Impatto ambientale del settore**

L'impatto ambientale dell'incenerimento dei rifiuti è essenzialmente legato alle emissioni di inquinanti in atmosfera ed alla produzione di residui solidi derivanti dai processi di combustione e di trattamento dei fumi.

### **C.5 Emissioni gassose**

#### **C.5.1.1 L'incidenza dell'incenerimento dei rifiuti**

Per quanto riguarda le emissioni di inquinanti, esse sono quelle tipiche del processo di combustione, alle quali vanno aggiunte alcune peculiarità, legate alla possibile presenza, in forma significativa, di Cl e di metalli nei rifiuti.

In considerazione dello sviluppo piuttosto limitato del settore, ma soprattutto dei limiti

restrittivi attualmente in vigore (D.Lgs. 133/05) l'incidenza delle emissioni risulta attualmente abbastanza limitata e pressoché trascurabile in termini percentuali per la quasi totalità dei macro inquinanti tipici del processo di combustione.

In virtù dei suddetti limiti si può inoltre affermare che anche le emissioni di microinquinanti organici (es.: PCDD/PCDF) ed inorganici (metalli volatili) sono attualmente in forte riduzione e assommano a pochi punti percentuali rispetto alla totalità delle emissioni a livello nazionale.

### **C.5.1.2 I risvolti ambientali del recupero energetico**

Occorre evidenziare anche alcuni aspetti positivi connessi al recupero energetico da rifiuti, legati al meccanismo delle “emissioni evitate”.

Un primo potenziale aspetto positivo deriva direttamente dall'enorme interesse dell'opinione pubblica verso gli innegabili problemi di carattere ambientale verificatisi in passato negli impianti di incenerimento di rifiuti, che ha portato il legislatore a fissare dei limiti alle emissioni molto restrittivi che, attualmente, sono di gran lunga inferiori a quelli previsti sia per le centrali termoelettriche che per i cementifici. Ne deriva che specie per i macroinquinanti tipici della combustione (polveri, SO<sub>2</sub> e, in misura minore il CO) è possibile conseguire dei vantaggi ambientali<sup>1</sup>.

Un altro fattore di estrema importanza è strettamente connesso al fatto che la gran parte dei rifiuti, in particolare i RU, costituiscono, a tutti gli effetti, delle fonti rinnovabili di energia.

In pratica, tramite la combustione dei rifiuti ai fini della produzione di energia, si sostituisce un combustibile fossile con un materiale ad alto contenuto rinnovabile, sottraendolo oltretutto alla discarica che, come noto, è una fonte di emissioni di metano, gas che presenta un potenziale di riscaldamento globale (Global Warming Potential, GWP) piuttosto elevato, 21 volte superiore a quello della CO<sub>2</sub> su un orizzonte temporale di 100 anni. Ne consegue, oltre a un sicuro risparmio di risorse (combustibili fossili), una potenziale minore emissione globale di gas con effetto serra.

I RU, ad esempio, sono costituiti da frazioni eterogenee nelle quali è presente carbonio sia di origine rinnovabile (carta, legno, scarti organici, fibre tessili naturali, ecc.), sia di origine fossile (plastiche, resine e fibre sintetiche, ecc.). Il loro “grado di rinnovabilità”, facendo riferimento ad una composizione media tipica della realtà nazionale, risulta essere compreso nel campo 60-70%.

Senza entrare in una dissertazione di dettaglio già sviluppata in altri contesti si può, in generale, affermare che la combustione di RU o di frazioni combustibili da essi derivati per la produzione di energia elettrica e/o termica può condurre ad un guadagno netto in termini di emissioni gas serra, qualora i livelli di recupero siano sufficientemente elevati. Tale vantaggio va letto in confronto sia allo smaltimento dei rifiuti in discarica sia alla produzione di energia elettrica in impianti tradizionali.

### **C.5.2 Residui solidi**

Riguardo ai residui solidi, non sono disponibili dati inerenti la produzione.

I quantitativi più significativi sono comunque ascrivibili alle scorie da incenerimento di RU pari, indicativamente, al 20-25 % dei rifiuti trattati. Esse sono attualmente classificate come

---

<sup>1</sup> Un discorso a parte va fatto per gli NO<sub>x</sub>, per i quali, essendo fissato attualmente lo stesso limite per le due tipologie di impianto in termini di concentrazione (200 mg/Nm<sup>3</sup>), il confronto con le centrali termoelettriche risulta sfavorevole al recupero energetico da rifiuti. Non risulta possibile effettuare un confronto realistico anche per i microinquinanti a causa della carenza di dati sistematici in materia; una stima effettuata sulla base dei limiti normativi vigenti potrebbe risultare fuorviante, data la notevole differenza dei valori di riferimento per le due tipologie di impianto.

rifiuti speciali (non pericolosi) e, anche se suscettibili di recupero<sup>2</sup>, sono nella stragrande maggioranza smaltite in discariche per rifiuti non pericolosi.

Le ceneri leggere ed i residui provenienti dal trattamento fumi, in quantità percentualmente piuttosto ridotte (4-12% dei rifiuti trattati), sono classificate come rifiuti pericolosi, da smaltire in discariche adeguate. Tali residui subiscono per lo più un trattamento di inertizzazione, tramite inglobamento in matrice cementizia, che ne consente il successivo smaltimento in discariche per rifiuti non pericolosi.

I residui sodici da trattamento fumi a secco possono essere oggetto di recupero, previo trattamento, sotto forma di salamoia riutilizzabile in cicli industriali.

---

<sup>2</sup> Tale pratica è piuttosto diffusa in molte realtà estere; a livello nazionale, per uno sviluppo del recupero su vasta scala, si rendono necessarie alcune modifiche alla vigente normativa.

## D) DESCRIZIONE DEL PROCESSO DI INCENERIMENTO

### Generalità

Con il termine "incenerimento", viene identificato un processo di ossidazione di sostanze organiche (del tutto simile a quello che avviene nella combustione di combustibili fossili per la produzione di energia), il cui scopo principale è quello di convertire sostanze comunque pericolose o perché putrescibili e potenzialmente patogene (è il caso dei RU) o perché presentano caratteristiche di nocività (è il caso di alcuni rifiuti speciali di origine industriale) in composti gassosi (acqua, anidride carbonica) ed in residui solidi praticamente inerti ("ceneri").

Esso è dunque una tecnica di smaltimento di rifiuti finalizzata alla distruzione della frazione organica, con conseguenti notevoli riduzioni in massa e volume. La sua efficacia è misurata in termini di distruzione e rimozione delle sostanze inquinanti anche se tale definizione andrebbe applicata, a rigore, al solo incenerimento dei rifiuti pericolosi per i quali vale appieno il termine «termodistruzione». Per i RU e per alcune tipologie di rifiuti speciali, invece, l'incenerimento ha come funzione principale la drastica riduzione del volume, di norma combinata con il recupero energetico (sotto forma di energia elettrica e/o termica) del contenuto entalpico dei fumi di combustione.

Occorre rilevare che il termine incenerimento viene di norma identificato con la combustione diretta dei rifiuti anche se, in accordo a quanto enunciato all'art. 2 del D.Lgs. 133/05 in tale accezione sono inclusi anche "...altri procedimenti di trattamento termico, quali ad esempio la pirolisi, la gassificazione ed il processo al plasma, a condizione che le sostanze risultanti dal trattamento siano successivamente incenerite". In altre parole anche gli impianti basati su processi termici operanti in condizioni parzialmente ossidative (gassificazione) o in atmosfera inerte (pirolisi), sono equiparati alla combustione diretta dei rifiuti, dal punto di vista normativo. Questo si verifica qualora i prodotti risultanti dal trattamento - principalmente il gas derivato "syngas" e, in misura minore, le frazioni combustibili liquide "tar" e solide "char" - siano combuste "tal quali", senza alcun trattamento preventivo ed all'interno dello stesso impianto.

In realtà, sotto l'aspetto tecnico, la pirolisi e la gassificazione (ed anche i trattamenti all'arco-plasma che possono essere ricondotti ad una combinazione dei due suddetti processi) possono differire sostanzialmente dall'incenerimento sia per quanto riguarda le condizioni operative (vedi tabella D.1.1), e le modalità di recupero energetico sui prodotti intermedi da essi derivabili, sia per quanto riguarda il differente grado di maturità commerciale delle tecnologie che si basano su tali processi.

**Tabella D.1.1 - Condizioni operative dei trattamenti termici di rifiuti**

	<b>Incenerimento</b>	<b>Gassificazione</b>	<b>Pirolisi</b>
Temperatura operativa (°C)	850 - 1450	500 - 1600	250 - 700
Pressione (bar)	1	1 - 45	1
Atmosfera con presenza di:	Aria	Aria, O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	Inerte/ N <sub>2</sub>
Rapporto stechiometrico	> 1	< 1	0
Prodotti del trattamento:			
Gassosi	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O, (N <sub>2</sub> )	H <sub>2</sub> , CO, idrocarburi, H <sub>2</sub> O, (N <sub>2</sub> )
Liquidi	--	--	"Tar", soluzione acquosa
Solidi	Scorie e ceneri, carbonio incombusto	Vetrificato (alta T) Scorie e ceneri (medio-bassa T)	Scorie e ceneri, "Char"

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration – July 2005, modificata dal GTR"

In questa sede si manterrà pertanto la distinzione tra incenerimento (inteso come combustione diretta dei rifiuti con eventuale recupero di energia dai fumi prodotti tramite un ciclo termico) ed altri processi di trattamento termico (pirolisi, gassificazione, arco-plasma).

Verrà di seguito data una breve descrizione delle principali tecnologie di combustione diretta (incenerimento) dei rifiuti, rapportandole alla tipologia di rifiuto che viene trattata (in maniera esclusiva o come componente principale caratterizzante) che, in linea generale possono essere classificabili come:

- incenerimento di rifiuti urbani o di combustibili da essi derivati;
- incenerimento di rifiuti speciali o pericolosi;
- incenerimento di fanghi;
- incenerimento di rifiuti sanitari.

Verranno anche descritte, in via generale, le principali tecnologie sviluppate per l'incenerimento dei rifiuti e per il trattamento dei fumi di combustione.

Nel capitolo E saranno presi in esame gli aspetti peculiari riguardanti la loro specifica applicazione alle summenzionate categorie di rifiuti.

Successivamente (capitolo G) saranno anche esaminate le principali tecnologie di gassificazione e pirolisi, per le quali, tenuto conto del loro limitato sviluppo a livello industriale, non è possibile effettuare una classificazione di dettaglio quale quella appena descritta per la combustione diretta dei rifiuti, nonché altre tecnologie che si stanno affacciando sul mercato.

Indipendentemente dalla tipologia dei rifiuti trattati, un impianto di incenerimento prevede la presenza di varie sezioni tra loro interconnesse che nel loro insieme costituiscono il sistema di trattamento termico degli stessi.

Schematicamente le funzioni delle varie sezioni componenti un impianto di incenerimento possono essere così riassunte:

- conferimento, stoccaggio ed alimentazione dei rifiuti / gestione e trattamento dei residui e dei sottoprodotti solidi, aventi come scopo principale la gestione dei flussi (discontinui) dei rifiuti in ingresso, il loro eventuale pretrattamento al fine di adattarli alla tecnologia di combustione adottata, nonché di favorire un possibile recupero dei residui solidi del trattamento;
- camera di combustione, finalizzata alla distruzione delle sostanze organiche ed alla produzione di scorie potenzialmente riciclabili, minimizzandone il contenuto di incombusti;
- sistema di trattamento dei fumi, avente come scopo principale la rimozione dai fumi di composti tossici derivanti dal trattamento termico dei rifiuti, concentrandoli in correnti quantitativamente ridotte (ceneri e sali di reazione, fanghi da trattamento ad umido);
- sistema di recupero energetico, necessario per il massimo recupero del contenuto energetico dei fumi di combustione, sotto forma di energia termica e/o elettrica.

## **D.1 Gestione dei rifiuti in ingresso e dei residui in uscita**

### **D.1.1 Conferimento, stoccaggio e alimentazione rifiuti**

I rifiuti in ingresso all'impianto passano attraverso una stazione di pesatura, a registrazione automatica e vengono successivamente accumulati in un'apposita fossa di stoccaggio, solitamente posta alla base dell'edificio principale.

La capacità di stoccaggio della fossa è funzione della potenzialità dell'impianto, delle condizioni igienico sanitarie ed ambientali, legate a loro volta al tempo di ricambio dei rifiuti, agli impianti di sicurezza nonché delle esigenze dei servizi esterni di raccolta. Di norma la fossa è dimensionata in modo da garantire un'autonomia gestionale nel caso di:

- inattività dei servizi esterni di raccolta (in genere fino a 3-4 giorni);
- brevi periodi di arresto dell'impianto.

La sezione di conferimento, stoccaggio ed alimentazione comprende almeno i seguenti dispositivi:

- piazzale di scarico automezzi, sopraelevato rispetto al piano dei rifiuti, in modo da non causare, per nessun motivo, ostacoli o interferenza con lo scarico;
- scarico rifiuti in fossa con porte a tenuta completamente esterne alla fossa (ad esempio a bocca di lupo);
- copertura e tamponamento completo, sia della fossa di stoccaggio che dell'area di scarico;
- impianto di aspirazione adeguato al fine di mantenere, sia nella fossa che nell'area di scarico, una leggera depressione tale da evitare qualsiasi fuoriuscita di polveri e/o esalazioni moleste. L'aria aspirata è, di norma, utilizzata come aria di combustione dei rifiuti;
- sistema di movimentazione e caricamento (mediante gru a ponte o simili con polipo o valve) dei rifiuti presso le apposite tramogge di carico forni. E' consigliabile la ridondanza di più mezzi di movimentazione al fine di fronteggiare guasti e malfunzionamenti e consentire disponibilità di tempo per le operazioni di miscelazione ed equalizzazione dei rifiuti;
- cabina di pilotaggio dei sistemi di movimentazione dei rifiuti, di norma posta in una zona alta della fossa (se possibile direttamente nella sala controllo dell'impianto) in modo da dare pieno campo visivo all'operatore sia sui rifiuti da movimentare che sulle tramogge di carico dei forni;
- eventuale (auspicabile) sistema di triturazione dei rifiuti ingombranti, munito di scarico diretto in fossa, in modo da miscelare il materiale triturato con i rifiuti indifferenziati.

### D.1.2 Raccolta, stoccaggio ed evacuazione dei residui

I residui derivanti dall'incenerimento di rifiuti possono essere classificati come:

- **scorie** (o **ceneri pesanti**), che residuano direttamente dalla camera di combustione, costituite principalmente da materiali inerti presenti nei rifiuti, aventi un contenuto molto ridotto di combustibili (1-3%). Nella maggior parte dei casi sono classificabili come rifiuti speciali non pericolosi;
- **polveri** di caldaia, costituite da particelle solide trascinate nella corrente dei fumi e che si depositano sulle superfici di scambio del generatore di vapore, dalle quali vengono rimosse periodicamente. Sono classificabili come rifiuti pericolosi;
- **ceneri leggere** (polveri fini e sali di reazione) che residuano dai sistemi di trattamento dei fumi, che vengono separate da opportuni sistemi di abbattimento. Sono classificabili come rifiuti pericolosi.

Le scorie vengono di norma scaricate tramite sistemi meccanici ad umido (per raffreddare il materiale e per limitare possibili fenomeni di polverosità all'interno dell'impianto) oppure a secco. La scelta del sistema è principalmente dettata dal tipo di apparecchiatura di combustione.

Le scorie (che nel caso dei RU sono suscettibili di recupero, previ opportuni trattamenti) sono convogliate, tramite trasportatori meccanici ad un sistema di stoccaggio, in attesa del destino finale (smaltimento o recupero).

Le ceneri leggere (incluse le polveri di caldaia) vengono raccolte, trasportate e stoccate in sistemi chiusi (in genere silos), in attesa di un eventuale trattamento, (effettuabile o meno presso l'impianto) e successivo smaltimento finale in discarica.

Nel caso di un trattamento fumi a secco con bicarbonato di sodio, è possibile valorizzare i



residui sodici che, previo trattamento, possono essere recuperati sotto forma di salamoia di sali di sodio riutilizzabile nei cicli industriali, ottenendo contestualmente l'invio in discarica ed il risparmio delle corrispondenti materie prime.

## D.2 Tecnologie di combustione dei rifiuti

La scelta della tecnologia di recupero energetico tramite combustione va fatta principalmente in funzione della tipologia del rifiuto da trattare ed in particolare in base al suo contenuto energetico associato al potere calorifico inferiore (PCI) ed alle sue caratteristiche chimico-fisiche (densità, pezzatura, contenuto di umidità, di inerti, ecc.).

In tema di combustione di rifiuti le principali tecnologie impiegabili, che coprono la stragrande maggioranza delle applicazioni, sono:

- i forni a griglia;
- i forni a tamburo rotante;
- i combustori a letto fluido

Esistono inoltre altre tecnologie meno diffuse, sviluppate per impieghi specifici (forni statici per liquidi e gas, forni a piani multipli, inceneritori a raggi infrarossi, semi-pirolitici, ecc.) che saranno descritte in seguito in quanto la loro applicazione è ristretta a particolari tipologie di rifiuti speciali e/o pericolosi (rifiuti industriali, rifiuti sanitari, fanghi, ecc.).

Un quadro completo delle possibili tecnologie di combustione e delle loro applicazioni è riportato nella tabella D.2.1, nella quale sono riportate anche, per confronto, alcune tecnologie innovative quali gassificazione, pirolisi, trattamenti all'arco-plasma (vedi capitolo G).

**Tabella D.2.1- Quadro sintetico delle tecnologie di incenerimento di rifiuti**

Tecnologia forno	Tipologia rifiuto					
	RU	CDR Speciali	Fanghi	Rifiuti sanitari	Industria Chimica	Scarti animali
A griglia mobile	+	+/-	+/- <sup>(1)</sup>	+	-	-
A tamburo rotante	+	+	+	+	+	+
A letto Fluido	+/-	+	+	+/-	+/-	+/-
A griglia fissa	+	-	-	+	-	-
Statici	-	-	-	+	-	+
A raggi infrarossi	-	+/-	-	+/-	+/-	-
A camera statica (per liquidi e/o gas)	-	-	-	-	+	-
A piani multipli	+/-	-	+	-	+/-	-
Semi-pirolitico	+/-	+/-	-	+/-	-	-
Combustore ciclonico	-	+/-	-	-	+/-	-
Gassificazione	-	+	+/-	+/-	+/-	+/-
Pirolisi	+/-	+	+/-	-	+/-	-
Trattamenti all'arco-plasma	+/-	+	+/-	+/-	+/-	-

(1) In co-incenerimento con i RU che costituiscono il rifiuto principale trattato

Legenda:

+ = idoneo

+/- = idoneo con limitazioni

- = non idoneo

Fonte: elaborazione ENEA

## D. 2.1 I forni a griglia

I forni a griglia costituiscono la tecnologia più consolidata e, come tale, di più largo impiego nella combustione di rifiuti, in particolare di quelli urbani, grazie alla flessibilità che ne caratterizza il funzionamento ed all'affidabilità derivante dalle numerosissime applicazioni.

La loro caratteristica (figura D.2.1) consiste appunto in una griglia (fissa o mobile) su cui viene formato un letto di rifiuti dello spessore di alcune decine di centimetri. I forni a griglia mobile, invece, sono composti da una camera, alla cui base si trova una suola di combustione costituita da una griglia, di norma inclinata e formata da una serie di gradini mobili.

I rifiuti vengono immessi mediante una tramoggia nella parte più alta della griglia, dalla quale uno spintore li spinge verso i gradini inferiori. Lungo lo sviluppo longitudinale della griglia i rifiuti subiscono dapprima un processo d'essiccamento che avviene nella zona prossima all'alimentazione: le sostanze volatili che si liberano sono in gran parte costituite dall'umidità evaporata ed il rilascio di calore risulta modesto. Successivamente, sulla parte centrale della griglia, il materiale essiccato, tramite fenomeni di combustione e gassificazione della componente organica, viene convertito in una frazione gassosa ed in un residuo solido. L'aria di combustione viene iniettata sia sotto la griglia (aria primaria, all'incirca nella quantità stechiometrica necessaria per la combustione) sia nella parte alta della camera di combustione (aria secondaria, corrispondente in prima approssimazione all'eccesso d'aria necessario per la combustione); quest'ultima viene utilizzata anche per il controllo della temperatura.

Il tempo di permanenza del rifiuto sulla griglia deve essere ovviamente tale da garantire il completamento delle diverse fasi del processo di combustione ed è in genere compreso tra 30 e 60 minuti. Le scorie residue del processo vengono scaricate dalla parte finale della griglia con opportuni sistemi in vasche di accumulo a bagno d'acqua, che provvedono anche al loro raffreddamento. Per garantire maggior flessibilità al processo, per fare fronte a inevitabili variazioni qualitative dell'alimentazione, è possibile regolare le condizioni di combustione tramite la modulazione delle velocità degli elementi mobili e/o della portata di aria di combustione alimentata nelle varie zone della griglia.

Il parametro di maggior interesse per la valutazione delle prestazioni complessive della griglia è costituito dal carico termico superficiale, che deve essere idoneo ad assicurare un'elevata efficienza di combustione con tempi di residenza ragionevoli. Esso rappresenta, in pratica, la quantità di calore sviluppata dalla combustione del rifiuto per unità di tempo che l'unità di superficie della griglia è in grado di sopportare: i valori medi di più comune adozione pratica si collocano nell'intervallo 350-1.000 kW/m<sup>2</sup>.

Il completamento dell'ossidazione dei prodotti di gassificazione e pirolisi presenti nella fase gassosa proveniente dal letto di materiale posto sulla griglia avviene nella zona immediatamente superiore alla griglia stessa, che costituisce la camera di combustione del forno. Essa deve fornire un buon mescolamento tra i gas provenienti dal letto e l'aria secondaria, assicurando quindi contemporaneamente adeguate condizioni di turbolenza e disponibilità di ossigeno.

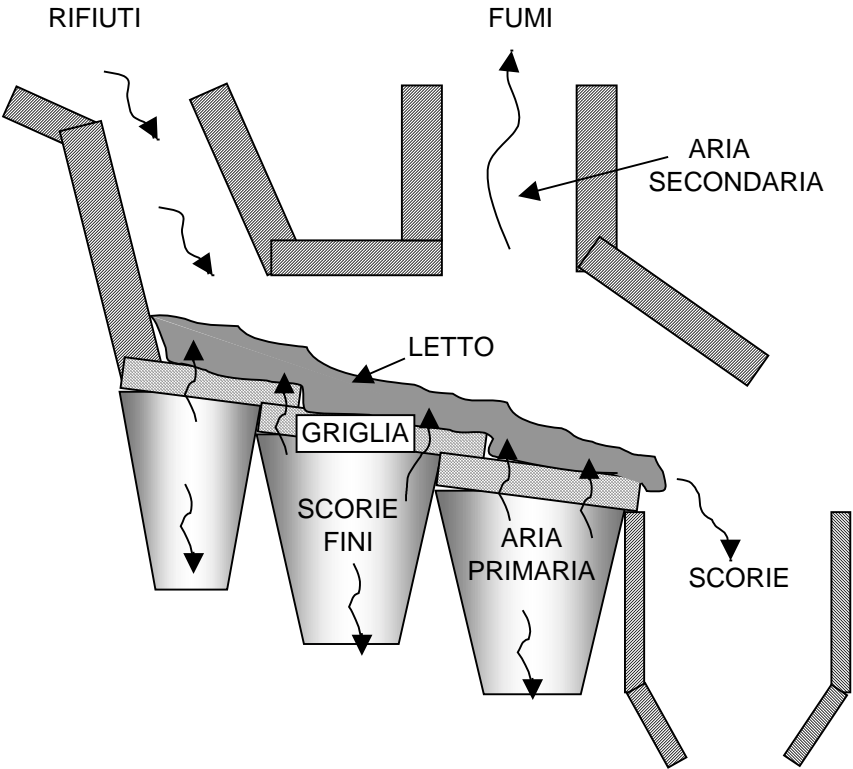
Anche i tempi di residenza dei gas devono essere idonei: in generale si adottano valori compresi tra 2 e 5 secondi. Il volume totale della camera è in genere tale da assicurare carichi termici volumetrici di combustione compresi, di norma, tra 70 e 300 kW/m<sup>3</sup>.

Nella tabella D.2.2 sono riassunti i valori dei principali parametri costruttivi dei forni a griglia di norma adottati.

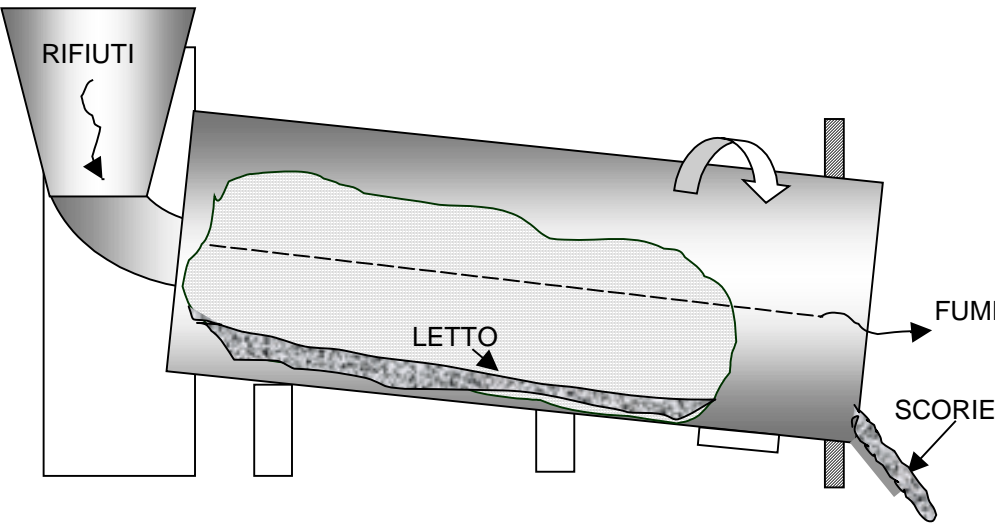
**Tabella D.2.2 – Principali parametri costruttivi dei forni a griglia**

Parametro	Intervallo
Carico termico specifico volumetrico, kW/m <sup>3</sup>	70-300
Carico termico superficiale, kW/m <sup>2</sup>	350 – 1.000
Carico di massa specifico sulla griglia, kg/m <sup>2</sup> h	200 - 400

**Figura D.2.1 - Schema di funzionamento del forno a griglia**



**Figura D.2.2 - Schema di funzionamento di forno a tamburo rotante**



Per quanto concerne gli sviluppi di tale tecnologia, essi riguardano principalmente le modifiche impiantistiche necessarie per adeguare il funzionamento della griglia e contenere i fenomeni di usura legati ad eventuali surriscaldamenti derivanti da combustibili con modesto contenuto di ceneri (inferiore al 15-20%) e con PCI piuttosto elevati come nel caso dei CDR.

Le modifiche di più recente introduzione prevedono:

- l'adozione di idonee configurazioni della griglia, al fine di limitare il trascinamento di polveri (minori salti);
- il miglioramento della distribuzione dell'aria primaria sotto griglia ai fini sia del conseguimento di condizioni ottimali di combustione sia alla riduzione del trascinamento di polveri;
- la verifica della lunghezza della griglia in relazione alla più elevata combustibilità dei rifiuti, onde evitare zone non completamente coperte dal letto di materiale e quindi soggette a maggiore usura;
- l'impiego di griglie raffreddate ad acqua per diminuire l'usura degli elementi che la costituiscono con rifiuti ad elevato potere calorifico (superiore a 15 MJ/kg), nonché ottimizzare i flussi di aria primaria svincolandoli dalla funzione di raffreddamento della griglia stessa;
- la possibilità di scaricare le scorie con estrattori a secco, al fine di ridurre il loro contenuto di umidità.

Livelli di temperatura dell'ordine degli 850-900 °C sono ritenuti sufficienti in corrispondenza di adeguati tenori di ossigeno (6-8%) e turbolenza, a garantire il completamento pressoché totale dell'ossidazione dei componenti organici nei processi di combustione, minimizzando in tal modo le emissioni di macro e microinquinanti.

Di recente sperimentazione risultano, inoltre, alcune tecniche finalizzate alla riduzione delle emissioni degli ossidi di azoto. Le più semplici prevedono una modifica nella ripartizione dell'aria alimentata, riducendo quella primaria ed incrementando quella secondaria, in modo da limitare la presenza di ossigeno nelle zone a temperatura più elevata: ciò richiede un accurato controllo del processo, per evitare peggioramenti nell'efficienza complessiva di combustione ed aumenti nelle emissioni di incombusti. Allo stato attuale gli interventi più promettenti di riduzione degli NO<sub>x</sub> in camera di combustione appaiono basati su processi di riduzione selettiva non catalitica (SNCR) tramite l'iniezione di ammoniaca o urea, supportata con il ricircolo dei fumi, anche in virtù delle loro capacità di inibire i processi di sintesi de-novo responsabili della formazione di microinquinanti organoclorurati nella fase di raffreddamento dei fumi.

I combustori a griglia mobile possono raggiungere capacità molto elevate e sono caratterizzati da una elevata flessibilità e affidabilità; non necessitano di particolari trattamenti del materiale e possono accettare rifiuti eterogenei con potere calorifico da 5 MJ/kg fino a circa 20 MJ/kg (per le griglie raffreddate ad acqua); costituiscono la tecnologia più referenziata a livello europeo. Si può associare ad essi un sistema di controllo della combustione, eventualmente dotato di sistema ottico ad infrarossi.

### **D.2.2 I forni a tamburo rotante**

I forni a tamburo rotante sono costituiti da una camera cilindrica leggermente inclinata (in genere 1-3 %) che ruota lentamente attorno al proprio asse (vedi figura D.2.2).

Essi sono impiegati principalmente per lo smaltimento di rifiuti di origine industriale (solidi, liquidi, pastosi), anche pericolosi. A fronte di una semplicità costruttiva e di un'elevata flessibilità per quanto riguarda la tipologia e le caratteristiche dell'alimentazione, i forni a tamburo presentano degli svantaggi legati essenzialmente al ridotto volume della camera di combustione (che deve essere integrata con una apposita camera di post-combustione separata

per il completamento della combustione in fase gassosa) ed al fatto che la combustione avviene con modalità pressoché adiabatiche per cui, specie in presenza di rifiuti ad alto potere calorifico, il controllo della temperatura può essere realizzato solo aumentando l'eccesso di aria di combustione e, se necessario, iniettando acqua di raffreddamento. Entrambi questi fattori rendono tale apparecchiatura non adatta a conseguire elevati livelli di recupero energetico dall'incenerimento di rifiuti. Le caratteristiche costruttive inoltre presentano un limite superiore in termini di capacità di trattamento piuttosto ridotta, che può solo in parte essere ovviata ricorrendo all'installazione di più unità in parallelo. Questi fattori danno una chiara spiegazione del perché tale apparecchiatura abbia avuto scarsa diffusione per il trattamento dei RU; alcuni esempi presenti sul nostro territorio sono, infatti, riconducibili ad unità di capacità molto ridotta e di realizzazione piuttosto datata.

La combustione del letto di rifiuti avviene direttamente a contatto con la parete del forno, nella maggior parte dei casi rivestita di materiale refrattario; l'alimentazione del materiale avviene tramite opportune testate, collocate in corrispondenza di una estremità del forno, mentre lo scarico delle scorie e dei residui avviene all'estremità opposta. I forni a tamburo rotante, in quanto tipici forni a suola, sono caratterizzati da una maggior difficoltà di interazione tra combustibile e comburente rispetto a quella ottenibile con altre tipologie di installazioni (ad es. forni a griglia, nei quali l'aria viene insufflata direttamente attraverso il letto); l'efficienza del contatto può tuttavia essere incrementata mediante l'introduzione di strutture interne al tamburo, quali, ad esempio, palettature che trascinano il materiale verso l'alto e poi lo lasciano ricadere, che intensificando la movimentazione del letto di rifiuti ne migliorano il contatto con il comburente.

I forni a tamburo rotante possono operare tanto con configurazioni in equicorrente che in controcorrente, a seconda che il flusso dei gas e del letto di combustibile avvenga nella stessa direzione o nella direzione opposta. Nella maggior parte dei casi, ed in particolare nelle applicazioni relative alla termodistruzione di rifiuti, la configurazione adottata è in equicorrente, in quanto costruttivamente più semplice e consente, al tempo stesso, di evitare maggiormente il trascinamento, tipico del flusso in controcorrente, di sostanze volatili ed il loro scarico assieme ai fumi caldi.

I principali parametri per il dimensionamento e la valutazione delle prestazioni dei forni a tamburo rotante sono l'intensità volumetrica di combustione ( $\text{kW}/\text{m}^3$ ) e l'intensità di combustione riferita alla sezione del tamburo ( $\text{kW}/\text{m}^2$ ).

Il primo tiene conto del volume globale del tamburo, e quindi anche della sua lunghezza, ed è legato al tempo di permanenza necessario alla conversione del materiale, strettamente correlato alla natura e tipologia del rifiuto alimentato. Sul tempo di permanenza è possibile peraltro intervenire anche con altri parametri costruttivi, quali il diametro del forno, la sua inclinazione ed il numero di giri del tamburo.

Il secondo parametro, rappresentativo del carico termico per unità di sezione, è collegato alle massime sollecitazioni termiche locali. Nei forni attualmente in esercizio l'intensità volumetrica di combustione è, in genere, compresa tra 60 e 250  $\text{kW}/\text{m}^3$ , mentre l'intensità per unità di sezione varia in genere nell'intervallo 600-1.200  $\text{kW}/\text{m}^2$ .

Per quanto riguarda il rapporto lunghezza/diametro esso è in generale compreso nell'intervallo 2-5 (nella maggior parte dei casi dell'ordine di 3-4), mentre la velocità di rotazione varia tra 0,2 e 1-1,2 giri/minuto.

Nella tabella D.2.3 sono riassunti i valori dei principali parametri costruttivi dei forni a tamburo di norma adottati.

Dal punto di vista operativo le già accennate difficoltà di contatto combustibile/comburente rendono necessaria l'adozione di elevati eccessi d'aria, di norma compresi nell'intervallo 100%-150%.

**Tabella D.2.3 – Principali parametri costruttivi dei forni a tamburo rotante**

Parametro	Intervallo
Carico termico specifico volumetrico, kW/m <sup>3</sup>	60-250
Carico termico specifico per unità di sezione, kW/m <sup>2</sup>	600-1.200
Diametro, m	1,5 - 5,0
Rapporto lunghezza/diametro del tamburo	2 - 5
Tempo di permanenza dei solidi, min	> 60
Inclinazione del tamburo, %	1 - 3
Velocità di rotazione del tamburo, giri/min	0,2 – 1,2

I forni a tamburo rotante possono inoltre operare a livelli di temperatura sia al di sotto del punto di rammollimento delle scorie sia al di sopra di esso, con modalità dette appunto “a scoria fusa”. Fenomeni di deformazione e fusione delle scorie cominciano a verificarsi attorno a temperature dell’ordine di 1100°-1200°C; tuttavia, data la variabilità del punto di rammollimento, le condizioni di esercizio nei forni del primo tipo prevedono temperature non superiori ai 900°-950° C, mentre le installazioni a scoria fusa possono raggiungere anche i 1400°-1600° C. L’esercizio a scoria solida è più semplice e sollecita meno i refrattari mentre quello a scoria fusa garantisce migliori condizioni di combustione ma richiede, ovviamente, criteri di progettazione e di gestione di molto più accurati.

### D.2.3 I combustori a letto fluido

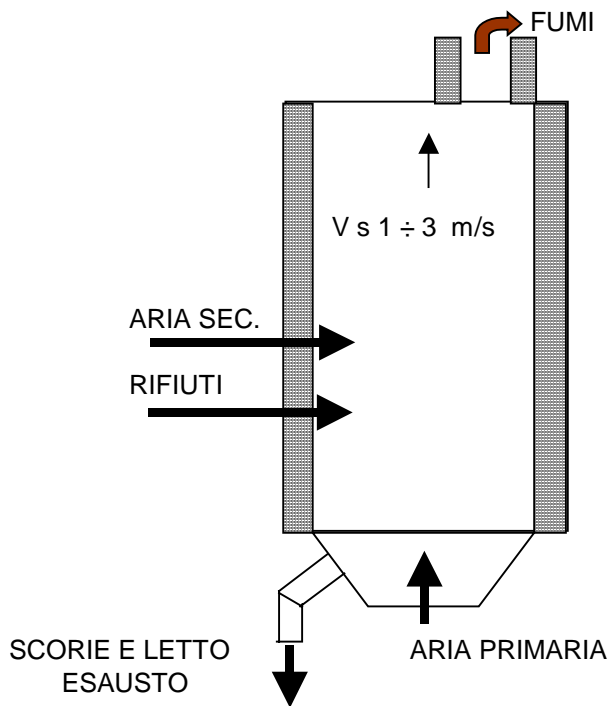
Il combustore a letto fluido è costituito da una camera di combustione all’interno della quale viene mantenuto un certo quantitativo di materiale inerte (il “letto”), di solito sabbia, tenuto in sospensione (“fluido”) da una corrente ascendente di aria (che funge anche da comburente), immessa attraverso una griglia di distribuzione posta sul fondo. Il movimento del letto di sabbia garantisce un buon contatto comburente-combustibile, oltre a una notevole uniformità di temperatura e di miscelazione, che contribuiscono a garantire una combustione costante e completa.

Questa apparecchiatura, messa a punto inizialmente nell’industria petrolchimica, è stata adattata successivamente alla combustione di combustibili piuttosto omogenei e di pezzatura ridotta quali appunto i CDR. Non si presta tanto alla combustione di rifiuti urbani indifferenziati, che debbono subire un pretrattamento, costituito, come minimo, da operazioni di triturazione e vagliatura. Questa tecnologia si è inoltre largamente affermata in altri Paesi per il trattamento di fanghi da depurazione di acque reflue (rifiuti già per loro natura omogenei e di pezzatura ridotta), soprattutto per trattamenti combinati di essiccamento termico + incenerimento, nei quali il calore recuperato è principalmente destinato alla fase di essiccamento, evitando così l’impiego di combustibili fossili.

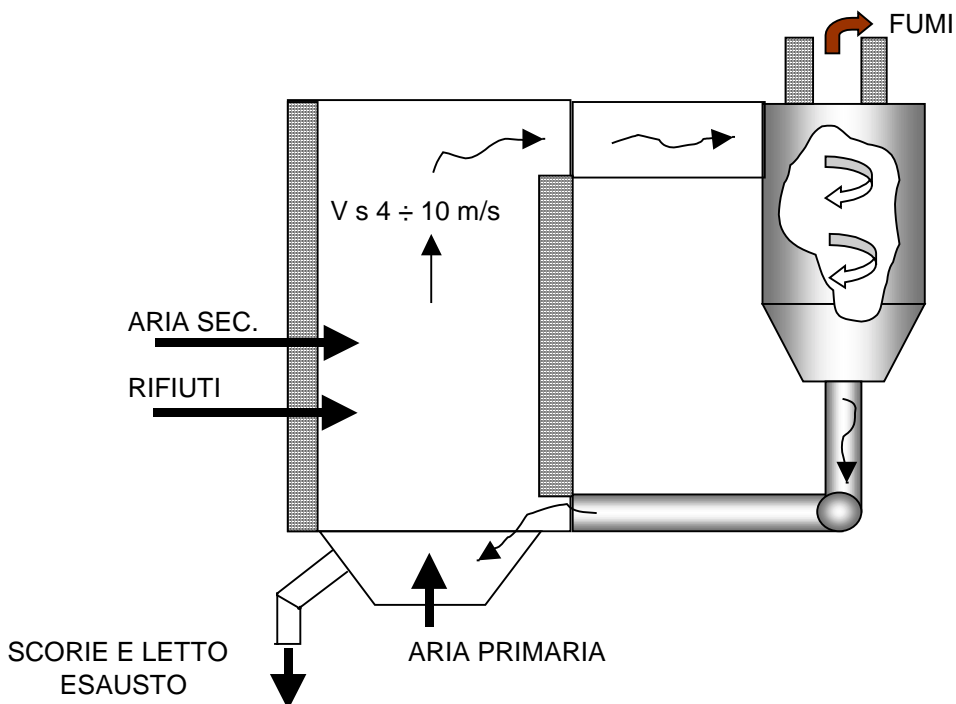
In linea generale i combustori a letto fluido, sulla base della pressione d’esercizio, si differenziano in letti fluidi a pressione atmosferica e letti in pressione; questi ultimi applicati a diversi processi in campo industriale, presentano particolare interesse per la loro potenzialità nel consentire l’integrazione fra la fase di trattamento termico e quella di recupero energetico, tramite il loro inserimento come combustori in cicli di turbina a gas. Tuttavia le attuali problematiche nel trattamento dei gas prodotti prima dell’invio in turbina ne limitano ancora l’applicazione al caso dei rifiuti, per i quali si adottano quasi esclusivamente letti a pressione atmosferica. Nel campo dei letti a pressione atmosferica sono disponibili le due varianti di letto fluido “bollente” (vedi figura D.2.3) e di letto fluido “circolante” o “ricircolato” (vedi figura D.2.4), in funzione della velocità di efflusso dell’aria che individua due modalità di funzionamento in cui, rispettivamente, il letto rimane in sospensione statica sotto le azioni contrastanti del peso e della spinta ascensionale ovvero viene trascinato con la corrente gassosa e ricircolato sul fondo dopo essere stato separato meccanicamente (tramite, ad

esempio, un ciclone) dai fumi di combustione. La distinzione si basa sui valori della velocità superficiale dell'aria (velocità di fluidizzazione), definita come rapporto tra la portata d'aria alimentata (riferita, ad esempio, alle condizioni di temperatura e pressione al di sopra del letto) e la sezione del letto stesso, che costituisce il parametro che condiziona significativamente il regime di funzionamento dell'apparecchiatura.

**Figura D.2.3 - Schema di funzionamento di combustore a letto fluido bollente**



**Figura D.2.4 - Schema di funzionamento di combustore a letto fluido circolante**





Nei letti fluidi bollenti, nei quali l'aria viene insufflata dal basso ed il combustibile iniettato dall'alto o lateralmente, si riscontrano velocità di fluidizzazione fino a circa 3 m/s mentre nei letti circolanti tale parametro raggiunge anche valori di 8-10 m/s (comunque superiori ai 4-5 m/s), determinando un consistente trascinarsi del materiale costituente il letto in uscita dalla camera di combustione, sul fondo della quale viene reimpresso dopo la separazione dalla fase gassosa.

A fronte di una configurazione impiantistica più complessa i letti circolanti presentano turbolenze più elevate, con conseguenti miglioramenti nell'efficienza di combustione e di scambio termico, nella riduzione delle disomogeneità trasversali. Essi garantiscono inoltre un tempo di contatto molto prolungato (grazie al ricircolo) che ne consente il funzionamento con carichi termici specifici più elevati rispetto al letto bollente; i costi maggiori rispetto a questi ultimi ne giustificano tuttavia l'adozione solo per potenzialità piuttosto significative.

Una caratteristica peculiare dei letti fluidi è data dalla possibilità di conseguire una rimozione dei gas acidi ( $\text{SO}_2$ , HCl), tramite l'iniezione di reagenti alcalini in fase di combustione. Tuttavia, a causa delle temperature operative, tale tecnica risulta efficace quasi esclusivamente nei confronti della  $\text{SO}_2$ .

#### **D.2.4 Analisi comparata delle diverse tecnologie di combustione**

Nella tabella D.2.4 viene riportato, in forma sintetica, un confronto fra le tre principali tecnologie di combustione di rifiuti.

La scelta della tecnologia da impiegare dipende principalmente dalla tipologia di rifiuto che costituisce, in maniera preponderante od esclusiva, il materiale da trattare e, in misura minore, da quale aspetto tra la termodistruzione dei rifiuti ed il recupero energetico si intende privilegiare.

Come si rileva dall'esame delle tabelle D.1.1. e D.2.4 non è possibile definire aprioristicamente la tecnologia da applicare, né esiste tanto meno una tecnologia la cui applicazione può essere generalizzata a tutte le tipologie di rifiuti disponibili. I dati in esse riportati costituiscono solo un'indicazione di base nella selezione della tecnologia da impiegare, che dovrà tenere conto di tutta una serie di parametri (tecnici, economici, ambientali, gestionali ecc.) specifici del singolo caso, alla luce del fatto che gli sviluppi tecnologici in corso e l'evoluzione della normativa comunitaria, stanno via via portando ad una maggiore sovrapposibilità delle varie tecnologie di combustione dei rifiuti.

A questo riguardo non è forse superfluo effettuare un'analisi, seppur qualitativa, del campo di applicabilità delle principali tecnologie di combustione (griglia, letto fluido) al settore dei rifiuti di origine urbana.

Gli sviluppi normativi nel settore della gestione degli ultimi anni hanno portato alla presenza di frazioni combustibili che, in modo schematico, possono essere classificate come:

- RU indifferenziati che residuano a valle delle operazioni di raccolta differenziata (RD);
- "Frazione secca" o "secco", ricavata dai RU indifferenziati tramite operazioni di selezione meccanica e di separazione (eventuale) dei metalli;
- Combustibili derivati da rifiuti (CDR), ottenuti dalla frazione secca tramite successive operazioni di raffinazione.

Nella tabella D.2.5 viene riportata l'applicabilità delle due principali tecnologie al trattamento di frazioni derivate da rifiuti di origine urbana. Si tratta di informazioni indicative, la cui effettiva realizzazione dovrà essere verificata caso per caso, in funzione delle caratteristiche del rifiuto e della specifica apparecchiatura selezionata.

**Tabella D.2.4- Confronto fra le principali tecnologie di combustione dei rifiuti**

Apparecchiatura	Vantaggi	Svantaggi
<b>A griglia mobile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓Apparecchiatura collaudata ed affidabile</li> <li>✓Esistono migliaia di applicazioni a livello mondiale</li> <li>✓Consente buoni livelli di recupero energetico</li> <li>✓Idoneo per rifiuti di diversa pezzatura</li> <li>✓Non richiede il pretrattamento dei RU</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓Non particolarmente idonea per rifiuti ad alto PCI (&gt;20 MJ/kg)</li> <li>✓Non idonea per rifiuti pulverulenti, pastosi e melme</li> <li>✓Fattibilità economica ristretta a taglie d'impianto medio-grandi</li> </ul>
<b>A tamburo rotante</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓Possibilità di trattare rifiuti in qualsiasi stato fisico (solidi, liquidi, pastosi), anche in combinazione</li> <li>✓Scarsa sensibilità al variare di composizione, umidità e pezzatura dell'alimentazione</li> <li>Semplicità di costruzione ed elevata affidabilità di funzionamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓Presenza di parti in movimento, con problemi di tenuta ed usura</li> <li>✓Incompleta ossidazione dei fumi nella camera primaria, necessita di camera di post-combustione</li> <li>✓Eccessi d'aria elevati</li> <li>✓Consumo di refrattario piuttosto rapido;</li> <li>✓Ridotte efficienze di recupero energetico</li> </ul>
<b>A letto fluido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓Elevata efficienza di combustione (grado di turbolenza, maggiori tempi di residenza, temperatura più uniforme)</li> <li>✓Basso contenuto di incombusti nelle scorie (0,2-0,3 %)</li> <li>✓Unità più compatte (maggiori carichi termici specifici applicabili)</li> <li>✓Ridotti tempi di avviamento e possibilità di funzionare anche in discontinuo</li> <li>✓Ridotto numero di parti meccaniche in movimento</li> <li>✓Possibilità di operare con ridotti eccessi d'aria, con conseguenti migliore rendimento di recupero e minori dimensioni dei sistemi di depurazione dei fumi</li> <li>✓Parziale rimozione di gas acidi (principalmente SO<sub>2</sub>) in fase di combustione, tramite l'iniezione di sorbenti alcalini</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓Rischio di defluidizzazione del letto conseguente a possibili fenomeni di agglomerazione</li> <li>✓Necessità di pretrattamenti dei rifiuti (riduzione pezzatura, omogenizzazione, ecc.), con conseguente aumento dei costi globali di gestione</li> <li>✓Necessità di aumentare i punti di alimentazione o di incrementare la velocità di fluidizzazione a causa di insufficiente mescolamento trasversale</li> <li>✓Difficoltà di alimentazione dei rifiuti leggeri (es.: CDR "fluff") soprattutto in corrispondenza di velocità di fluidizzazione elevate (letti circolanti)</li> <li>✓Ridotte esperienze applicative in scala industriale per l'impiego con rifiuti urbani, soprattutto per i letti circolanti</li> <li>Maggiori carichi di polveri da captare nell'impianto di trattamento fumi.</li> </ul>

Fonte:Elaborazione a cura del GTR

**Tabella D.2.5 – Tecnologie di combustione RU, frazioni derivate e assimilabili**

Rifiuto	PCI (MJ/kg)	Apparecchiatura	
		Griglia	Letto fluido
RU indifferenziato	8 - 11	+	-
Frazione secca	12 - 15	+	+ <sup>(1)</sup>
CDR (ex DM 5.2.1998)	min.15	+ <sup>(2)</sup>	+
Rifiuti a elevato PCI	> 20	-	+

Fonte: elaborazione a cura del GTR

(1) Previa triturazione

(2) Può essere richiesto l'impiego di griglia raffreddata ad acqua (in funzione del PCI)

**Legenda:**

+ = idoneo

+/- = idoneo con limitazioni

- = non idoneo

## **D.2.5 La post-combustione**

La camera di post-combustione consiste in un volume (non necessariamente fisicamente separato) messo a disposizione dei fumi a valle della zona di combustione primaria, allo scopo di permettere il conseguimento di condizioni di combustione controllate che permettano il completamento, in fase gassosa, delle reazioni di ossidazione iniziate precedentemente. In quest'ottica la camera di post-combustione risulta essere necessaria solo quando le condizioni operative della camera primaria, soprattutto nel caso di incenerimento di rifiuti solidi, sono tali da lasciare dubbi circa le possibilità del completamento delle reazioni di ossidazione come è, ad esempio, il caso dei forni a tamburo rotante.

L'esigenza della sua presenza è invece meno sentita nelle apparecchiature di recente concezione, dotate di soluzioni progettuali ed operative (volumi disponibili ridondanti, adeguate immissioni dell'aria di combustione, ecc.).

Sino all'emanazione dei decreti 503/97 e 124/00, poi abrogati dal D.Lgs. 133/05 di recepimento della Direttiva 2000/76/CE sull'incenerimento di rifiuti, tutti gli impianti di incenerimento dovevano essere dotati di una camera di post-combustione, separata dalla camera primaria e funzionante in condizioni adiabatiche.

Attualmente la camera di post-combustione è stata in pratica sostituita da una zona (in continuità con la camera primaria) a combustione controllata posta a valle della ultima immissione di aria secondaria in cui deve essere mantenuta una temperatura di almeno 850 °C per un tempo superiore a due secondi. Nelle recenti configurazioni è possibile inoltre installare delle superfici di scambio termico per il raffreddamento dei fumi, che permettono di conseguire i seguenti vantaggi:

- una migliore integrazione del sistema forno-caldia e quindi apparecchiature più compatte e funzionali;
- la possibilità di controllo della temperatura dei fumi per mezzo dello scambio termico con conseguente riduzione dei loro volumi e delle dimensioni degli impianti di trattamento posti a valle.

Tuttavia nella zona di post-combustione si tende a non eccedere con lo scambio termico sia limitando le superfici di scambio sia ricoprendole con materiale refrattario di opportuno spessore; questo non solo per ragioni connesse con il limite minimo di temperatura che deve essere mantenuto, ma anche per problematiche generali connesse alla stabilità del processo di combustione, specie in presenza di rifiuti aventi ridotto potere calorifico. Il rivestimento con materiale refrattario si rende necessario anche per la protezione delle superfici esterni dei tubi da fenomeni di corrosione ad alta temperatura.

## **D.2.6 Altre tipologie di apparecchiature di combustione**

Di seguito vengono brevemente descritte alcune tecnologie di combustione che trovano impieghi piuttosto limitati per apparecchiature di taglia ridotta e/o il trattamento di specifiche categorie di rifiuti. Alcune di esse, per le quali esistono esempi di impianti operativi sul territorio nazionale, possono essere ritenute superate.

### **D.2.6.1 Forni a griglia fissa**

I forni a griglia fissa sono concettualmente simili a quelli a griglia mobile fatta eccezione del fatto che le parti costituenti ("gradini") sono fisse.

Sono apparecchiature superate dal punto di vista tecnologico, anche se sono presenti alcuni impianti in Italia, per lo più datati e di taglia medio-piccola.

### **D.2.6.2 Forni statici**

Questa tecnologia è ancora impiegata per il trattamento di rifiuti, in particolare sanitari, residui di macellazione e/o carcasse animali, in impianti di taglia ridotta, molto spesso operanti in discontinuo.

La camera primaria di combustione opera, di norma, con eccessi d'aria elevati; molto spesso sono presenti dei bruciatori di supporto.

Il rimescolamento dei rifiuti risulta piuttosto difficoltoso con conseguente possibile presenza di incombusti nelle scorie. Occorre inoltre prevedere dei sistemi di evacuazione dei residui di trattamento.

La presenza di una camera di post-combustione dotata di bruciatore ausiliario risulta fondamentale.

Per favorire il completamento della combustione dei rifiuti è possibile prevedere il passaggio dei fumi di combustione al di sotto della zona in cui sono deposti i rifiuti (forni "a suola calda").

La tendenza attuale è quella di favorire, in alternativa agli inceneritori statici, il trattamento in impianti centralizzati a tamburo rotante, più idonei per il rispetto dei sempre più stringenti limiti normativi, con costi accettabili.

### **D.2.6.3 Forni a raggi infrarossi**

Trattasi di una tecnologia messa a punto negli USA sin dagli anni '80, principalmente per il trattamento di terreni contaminati o di rifiuti altamente pericolosi.

I rifiuti, in pezzatura piuttosto ridotta, vengono alimentati su di un nastro trasportatore a maglie di acciaio e lungo il percorso vengono sottoposti a riscaldamento tramite l'azione di raggi infrarossi emessi da una serie di elettrodi di carburo di silicio.

Le caratteristiche principali possono essere così riassunte:

#### Vantaggi

- Apparecchiature piuttosto compatte (e quindi trasportabili);
- Ridotti volumi dei fumi;
- Efficace controllo dei parametri operativi e possibilità di funzionare in condizioni ossidanti e riducenti (riscaldamento elettrico);

#### Svantaggi

- Impossibilità di trattare materiali ad alto contenuto di liquidi;
- Necessità di pretrattamenti (riduzione pezzatura/rimozione parti fini);
- Problemi di corrosione.

Non si ha notizia di applicazioni di tale tecnologia su scala industriale in Italia.

### **D.2.6.4 A camera statica per liquidi**

Sono apparecchiature dedicate al trattamento di rifiuti liquidi, in grado di trattare anche correnti reflue gassose; come tali, trovano principalmente impiego per operazioni di autosmaltimento presso impianti industriali.

Sono costituiti da uno (o più bruciatori), installato(i) all'interno di una camera di combustione cilindrica rivestita di refrattario nei quali vengono alimentati i rifiuti da incenerire.

Possono essere presenti più camere o zone se le correnti da trattare presentano caratteristiche molto diverse fra di loro; di norma i liquidi ad alto PCI sono alimentati nella zona primaria mentre le soluzioni acquose ed i liquidi a basso PCI nella zona secondaria.

Nel caso di incenerimento di soluzioni può essere previsto un sistema di raccolta e recupero

degli eventuali sali disciolti, ottenuto tramite l'installazione del bruciatore sulla parete superiore del forno (inceneritori "a fiamma rovesciata").

La camera di post-combustione può non essere presente, qualora le condizioni operative della camera di combustione consentano di mantenere adeguati livelli di temperatura e di tempi di residenza (in accordo alla normativa vigente).

#### **D.2.6.5 Forni a piani multipli**

Questo tipo di apparecchiatura è principalmente impiegato per il trattamento di fanghi di depurazione di acque reflue.

Il fango viene alimentato nella parte superiore dell'inceneritore e scendendo incontra in controcorrente l'aria di combustione che viene immessa dal basso.

Le varie fasi (essiccamento, volatilizzazione, combustione, esaurimento delle scorie avvengono su vari piani disposti a vari livelli dai quali i rifiuti sono fatti cadere sul piano sottostante tramite bracci rotanti, collegati ad un albero centrale disposto lungo l'asse dell'apparecchiatura.

Si tratta di un'apparecchiatura ormai obsoleta, impiegata in passato anche per il trattamento di RU.

#### **D.2.6.6 Forni semipirolitici**

Sono forni che possono avere diverse configurazioni geometriche (a tamburo rotante, a camera statica, a griglia, ecc.) che si caratterizzano per le condizioni operative che vengono mantenute nella camera primaria, operante in condizioni di carenza di aria (rapporto stechiometrico  $\leq 1$ ), mentre la combustione viene completata in fase gassosa nella camera di post-combustione (sempre presente).

Gli elementi qualificanti di tale tecnologia sono costituiti dal fatto che è possibile operare un migliore controllo della combustione, con potenziali minori emissioni degli inquinanti tipici ( $\text{NO}_x$ , CO, metalli, polveri), grazie alle condizioni riducenti ed alla minore portata di fumi della camera di combustione principale, nonché di poter realizzare (a parità di capacità) apparecchiature più compatte.

Per contro potrebbero aversi problemi di controllo della qualità delle scorie (contenuto di incombusti), per cui è sempre necessario prevedere una sezione di esaurimento delle stesse tramite apposito bruciatore ausiliario.

#### **D.2.6.7 Combustore ciclonico**

Si tratta di un apparecchiatura messa a punto per assicurare un'elevata turbolenza in camera di combustione, in modo da favorire il rimescolamento degli stessi e, di conseguenza, condizioni operative di combustione più omogenee e costanti.

L'elevata turbolenza viene ottenuta tramite l'iniezione dell'aria di combustione in modo tangenziale alle pareti della camera di combustione (a sezione cilindrica). In questo modo si realizza un moto di tipo elicoidale del flusso gassoso sino all'uscita della camera situata sul lato opposto.

L'accoppiamento di tale tecnica con elevate temperature operative (1200 °C) consente inoltre di ottenere elevate efficienze di distruzione dei composti organici ed un residuo solido fuso che, una volta raffreddato presenta una consistenza vetrosa.

Non si ha notizia di applicazioni di tale tecnologia a livello industriale in Italia.

## D.2.7 Altre tecnologie

Esistono poi altri processi e tecnologie di trattamento termico e recupero energetico di rifiuti che non hanno ancora però raggiunto la piena maturità commerciale tra le quali si citano, ad esempio, la pirolisi, la gassificazione, la combustione con aria arricchita o ossigeno, i trattamenti all'arcoplasma.

Una loro descrizione è riportata nel capitolo G.

## D.3 Trattamento dei fumi

### D.3.1 Generalità

L'impatto derivante dalla combustione di rifiuti è costituito principalmente dall'emissione di polveri e di sostanze inquinanti nell'atmosfera in fase gassosa o sotto forma di vapore e classificabili come macro e microinquinanti.

Con "macroinquinanti" si individuano le sostanze presenti nei fumi in concentrazioni dell'ordine dei  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ , quali le polveri, gli ossidi di zolfo (principalmente anidride solforosa,  $\text{SO}_2$ ) e di azoto ( $\text{NO}_x$ ), il monossido di carbonio (CO), il carbonio organico totale (COT o TOC) e gli acidi alogenidrici (essenzialmente acido cloridrico, HCl e acido fluoridrico, HF).

Con "microinquinanti" si individuano, invece, quelle sostanze, presenti nelle emissioni in concentrazioni di molto inferiori, che includono sia specie inorganiche come i metalli pesanti (cadmio, cromo, mercurio, piombo, nichel, ecc.) che organiche come le policloro-dibenzodiossine (PCDD), i policloro-dibenzofurani (PCDF) e gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA). I valori limite per le emissioni dei composti microinquinanti si collocano nell'ordine dei  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , o addirittura dei  $\text{ng}/\text{Nm}^3$  per alcuni composti (tipicamente le diossine<sup>3</sup>) di particolare pericolosità per la salute dell'uomo.

E' con l'inizio degli anni '80 che si afferma l'esigenza di rimuovere, per via meccanica, le polveri e, per via chimica, i macroinquinanti presenti nei fumi degli inceneritori.

Contemporaneamente sono state attuate misure di contenimento preventivo delle emissioni, attraverso il miglioramento sia delle caratteristiche costruttive dei forni sia del processo stesso (temperature di combustione più alte, maggiori tempi di permanenza, mantenimento di regimi di alta turbolenza, adeguati eccessi di aria in grado di garantire la presenza del quantitativo di ossigeno necessario all'ossidazione completa dei prodotti di combustione, ecc.).

Lo sviluppo, poi, di sempre più sofisticati metodi di campionamento ed analisi degli inquinanti nei fumi ha condotto alla scoperta della presenza di significative concentrazioni nei fumi di metalli tossici, come il mercurio, il cadmio e di microinquinanti organoclorurati, quali le diossine ed i furani.

Parallelamente lo sviluppo tecnologico attuato dalle aziende del settore negli ultimi anni ha condotto allo sviluppo di un mercato di sistemi di depurazione dei fumi piuttosto complessi che, nel caso di molti inquinanti, consentono di raggiungere valori di concentrazione delle emissioni al limite della misurabilità.

---

<sup>3</sup> Con il termine "diossina" si individuano ben 210 composti (75 diossine e 135 furani), chimicamente e tossicologicamente anche molto diversi, caratterizzati da un diverso contenuto di atomi di cloro (da 1 a 8). Le recenti evoluzioni delle normative in termini di emissioni all'atmosfera fanno riferimento ad un fattore di tossicità equivalente (FTE) che "pesa" la concentrazione delle varie specie presenti rapportandola a quella dei composti più pericolosi e, all'interno di questi, a quella più tossica in assoluto, la 2-3-7-8 TCDD (FTE=1).

### D.3.2 La rimozione delle polveri

Per quanto riguarda la rimozione delle polveri, essa viene effettuata per lo più per via meccanica, per mezzo di apparecchiature dedicate allo scopo, costituite da:

- Cicloni e multicicloni;
- Filtri elettrostatici (a secco e ad umido);
- Filtri a maniche.

Le caratteristiche salienti delle varie apparecchiature sono riportate in forma sintetica nella tabella D.3.1.

**Tabella D.3.1 – Sistemi di rimozione delle polveri**

Apparecchiatura	Livelli di concentrazioni	Vantaggi	Svantaggi
<b>Ciclone e multicicloni</b>	Cicloni: 200-300 mg/Nm <sup>3</sup>  Multicicloni: 100-150 mg/Nm <sup>3</sup>	-Robusti, semplici ed affidabili -Impiegati da sempre come depolveratori	-Utilizzabili solo nella fase di pre-depurazione delle polveri, non sufficienti da soli a rispettare i limiti vigenti -Consumi relativamente elevati (rispetto a ESP)
<b>Precipitatore elettrostatico (ESP)</b>	“A secco”: < 5 - 25 mg/Nm <sup>3</sup>  “Ad umido”: < 5 - 20 mg/Nm <sup>3</sup>	-Consumi ridotti -Possibilità di trattare fumi in ampio campo di temperature (150-350 °C) -Numerose applicazioni nel campo dell’incenerimento  -Bassi livelli di concentrazioni in uscita	-Non sufficiente da solo a rispettare i limiti vigenti  -Limitate applicazioni per l’incenerimento dei rifiuti -Produzione di acque di scarico
<b>Filtro a maniche</b>	< 5 mg/Nm <sup>3</sup>	-Largamente applicato per l’incenerimento -Bassi livelli di concentrazioni in uscita -Partecipa anche all’abbattimento degli inquinanti acidi	-Consumi relativamente elevati (rispetto a ESP) -Influenzato negativamente dalla condensazione dell’umidità e dalla corrosione

Fonte: Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration – July 2005

Occorre inoltre ricordare che anche l’impiego di sistemi di lavaggio “ad umido”, anche se il loro scopo principale risulta essere la rimozione dei composti acidi (in fase gassosa o vapore) tramite neutralizzazione con opportuni reagenti, può contestualmente contribuire all’abbattimento di particelle solide sospese nella corrente gassosa.

#### D.3.2.1 Ciclone e i multicicloni

Il ciclone è un’apparecchiatura di depurazione centrifuga di tipo statico. La corrente gassosa entra tangenzialmente nella parte superiore, venendo in tal modo sottoposta all’azione di una forza centrifuga che tende a portare le particelle sospese verso la periferia della camera. Il

moto a spirale del fluido impartisce alla particella un'accelerazione radiale verso le pareti dell'apparecchiatura mentre, simultaneamente, la forza di gravità la spinge verso il basso; ne risulta un movimento discendente a spirale fino a quando la particella, per urto contro le pareti si separa dalla corrente gassosa che esce dall'alto attraverso un condotto centrale.

Tali apparecchiature non consentono di captare le particelle di diametro inferiore ai 7-10 micron, lasciando così passare la maggior parte dei metalli pesanti condensati sulle particelle di diametro inferiore.

Sono comunque apparecchiature semplici ed affidabili, anche se è sempre presente il rischio di intasamento e quello di perdita di efficienza a causa della variazione della portata fumi. Vengono usati per la depolverazione dei fumi uscenti dagli inceneritori a letto fluidizzato, in modo da poter ricircolare il materiale di riempimento del letto trascinato nei fumi stessi. Attualmente vengono per lo più utilizzati per una fase di predepolverazione.

### **D.3.2.2 Filtri elettrostatici**

Si basano sul fenomeno fisico della precipitazione elettrostatica che si ottiene facendo passare la corrente dei fumi tra due elettrodi:

- uno emissivo (di carica negativa) filiforme;
- uno ricettivo (di carica positiva) costituito da una superficie di ricezione.

Le particelle vengono caricate dagli ioni prodotti per effetto corona dall'elettrodo emittente che è sottoposto ad alta tensione (circa 40-100 kV). Grazie all'effetto del campo elettrico che si viene ad instaurare tra i due elettrodi, le particelle caricate sono attratte dall'elettrodo ricettore e fatte cadere in una tramoggia di raccolta tramite scuotimento.

Questi filtri possono essere costituiti da uno o più campi di captazione disposti in serie. La maggior parte degli elettrofiltri è costituito da almeno due campi fino ad un massimo di quattro o cinque, ciascuno costituito da elettrodi emissivi e ricettivi, posizionati verticalmente in modo che le direzioni dei campi risultino alternate.

Il rapporto tra la lunghezza e l'altezza delle placche è generalmente compresa tra 0,9 e 1,5, al fine di garantire una migliore efficienza del singolo campo. L'efficienza degli elettrofiltri aumenta all'aumentare del numero di campi.

Per quanto riguarda il funzionamento, i parametri che influenzano l'esercizio di un elettrofiltro sono:

- la resistività delle particelle di polvere; le condizioni ottimali prevedono una resistività compresa indicativamente nel campo  $10^7 - 10^{11}$  ohm\*cm, tipica della maggior parte delle polveri. Resistività inferiori provocano un facile "scaricamento" delle particelle sulle placche ricettrici e la loro reimmissione in circolo causata dalla velocità dei fumi. Resistività maggiori provocano un fenomeno di contro emissione in seguito all'aumento di resistenza dello strato di polveri sugli elettrodi ricettori; si è rilevato che se la resistività delle polveri supera valori di circa  $10^{11}$ - $10^{12}$  ohm\*cm, si riducono le efficienze di rimozione;
- l'umidità dei fumi;
- il tenore in zolfo;
- le dimensioni delle particelle.

Per ovviare a valori di resistività troppo alti o troppo bassi si gioca sulla velocità dei gas: normalmente questa si attesta intorno a 1-1,2 m/s, ma può arrivare fino a 1,8 m/s per particelle più resistenti.

Gli elettrofiltri, costruiti in acciaio, possono sopportare temperature dei fumi superiori ai 400°C, ma la temperatura di esercizio si attesta normalmente in un intervallo compreso tra 200 e 300°C.

Le perdite di carico sono relativamente basse il valore tipico è compreso tra 1 e 3 mbar.



L'efficienza di un elettrofiltro diminuisce all'aumentare del tenore di polveri presenti nella corrente dei fumi. Ne consegue che, data una superficie di captazione ed un numero di campi, l'efficacia dell'elettrofiltro è funzione della portata di fumi trattata.

Circa eventuali inconvenienti è da citare il rischio di esplosioni dovute ad elevate concentrazioni di CO; per questo motivo è opportuno prevedere una sonda con soglia di allarme e relativo blocco di alimentazione degli elettrodi, anche se il rischio, nel caso di incenerimento è piuttosto ridotto, a causa dei ridotti tenori di CO nei fumi.

### **D.3.2.3 Filtri a manica**

Sono costituiti da un tessuto tubolare sostenuto tramite un cestello portante interno, solitamente in acciaio.

Schematicamente il filtro a maniche si divide generalmente in tre zone:

- la zona di filtrazione, in cui i fumi, lambendo dall'esterno le maniche, attraversano il tessuto depositandovi le particelle;
- la zona superiore o di evacuazione, in cui i fumi vengono raccolti dopo essere stati aspirati dall'alto delle maniche;
- la zona inferiore o tramoggia, in cui vengono raccolte le particelle precipitate per scuotimento tramite getti periodici di aria compressa in controcorrente.

Il processo di separazione delle particelle di polvere, contenute nei gas, mediante tessuto filtrante, dipende da numerosi fattori:

- le forze di massa (inerzia);
- l'effetto di sbarramento;
- la diffusione;
- le forze elettrostatiche;
- l'adesione.

Nel caso di diametri delle particelle ridotti e basse velocità dei fumi sono prevalenti i fenomeni di diffusione, mentre nel caso velocità più elevate e particelle di maggiori dimensioni prevalgono gli effetti meccanici.

Il grado di separazione è influenzato dallo spessore dello strato filtrante, dal diametro delle fibre e dal grado di separazione della fibra singola, influenzato a sua volta dalle dimensioni e dalla velocità della particella.

La filtrazione non consiste semplicemente in una "setacciatura" della polvere trascinata nel flusso gassoso, ma è frutto anche di altri fenomeni. Ad esempio, una particella di dimensioni di pochi micron che attraversa il feltro di cui è composta la manica, ha, relativamente alle sue dimensioni, un percorso lunghissimo da compiere: più piccoli e tortuosi sono i "canali" che deve percorrere, più è bassa la sua velocità, più alta è la probabilità che essa interferisca, meccanicamente o attraverso gli altri meccanismi citati, con il mezzo filtrante.

Per un mezzo filtrante, sia feltro che tessuto, la permeabilità all'aria, definita come la portata che causa, sulla superficie unitaria, la perdita di carico di 20 mm di colonna d'acqua (196 Pa), è un indice abbastanza significativo della capacità di trattenimento: a minore permeabilità corrisponde una maggiore capacità di captazione.

La capacità di filtrazione dipende da:

- le caratteristiche della polvere da filtrare;
- la velocità di attraversamento del filtro;
- il tipo di filtro;
- le caratteristiche del mezzo filtrante.

Le prestazioni del filtro non risultano quindi definibili né con le dimensioni della più piccola particella filtrabile, (ad esempio 10 micron), né con una efficienza ponderale, (ad esempio

99,9%), dato che la quantità di polvere che esce dipende poco dalla concentrazione in ingresso; le prestazioni di un filtro sono definibili tramite la concentrazione di polvere in uscita espressa in  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

Una indicazione sulla concentrazione di polvere in uscita può essere fornita quindi solo conoscendo la natura e l'analisi granulometrica della polvere, nonché la velocità di filtrazione, intesa come rapporto tra portata e superficie, che risulta essere il parametro di progetto ai fini della scelta del mezzo filtrante più appropriato.

La scelta del mezzo filtrante è molto vasta. Si impiegano sia tessuti che feltri: i tessuti agiscono come un supporto sul quale la polvere, depositandosi, forma uno strato microporoso capace di fermare le particelle più fini; i feltri sono essi stessi uno strato di fibre che, intrecciandosi, formano dei micropori. I feltri permettono rapporti di filtrazione più elevati ma richiedono sistemi di pulizia più sofisticati, mentre i tessuti vengono usati con velocità di attraversamento più basse e necessitano di cicli di pulizia meno frequenti.

Le caratteristiche chimico-fisiche del mezzo filtrante (feltro o tessuto) influenzano enormemente l'efficienza e la stabilità del mezzo. La conoscenza della stabilità delle varie fibre è essenziale nella scelta del mezzo filtrante più adatto a un determinato processo di filtrazione. Un'indicazione di massima delle caratteristiche dei vari tessuti è riportata nella tabella D.3.2.

**Tabella D.3.2 - Principali caratteristiche dei tessuti impiegati per i filtri a manica**

TIPO DI FIBRA	T° max (°C)		Resistenza a:		
	Cont./punta	Idrolisi	Acidi	Alcali	Ossidazione
Polipropilene	90/100	Ottima	Ottima	Ottima	Cattiva
Poliolfina per alta T°	125/130	Ottima	Ottima	Ottima	Cattiva
Poliammide	110/115	Cattiva	Moderata	Buona	Moderata
Poliacrilonitrile cop.	110/115	Buona	Moderata	Moderata	Buona
Poliacrilonitrile omo	125/140	Buona	Buona	Moderata	Buona
Poliestere	140/150	Cattiva	Moderata	Cattiva	Buona
M-aramide	180/220	Moderata	Moderata	Moderata	Buona
Polifenilensolfuro	190/200	Ottima	Ottima	Ottima	Buona
Poliimide	240/260	Buona	Buona	Moderata	Buona
Politetrafluoroetilene	250/280	Ottima	Ottima	Ottima	Ottima

Fonte: Linee guida CITEC (2002)

Si noti che la temperatura di esercizio di un filtro deve essere sempre superiore al punto di rugiada (“dew point”) della miscela di gas da depolverare: se la temperatura scende a livelli inferiori l'acqua in fase vapore contenuta nel gas condensa. Le gocce di acqua in fase liquida non solo inumidiscono lo strato di polvere depositato sulle maniche aumentandone così la resistenza al passaggio dell'aria (e quindi la perdita di carico attraverso il filtro), ma disciolgono anche eventuali composti acidi causando corrosione su maniche, cestelli porta maniche e carpenteria.

In passato la scelta tra un filtro a maniche ed un elettrofiltro era delicata e veniva “giocata” su considerazioni di natura economica che, a seconda della tipologia impiantistica, poteva premiare ora l'una ora l'altra tecnologia.

Attualmente (e sempre di più in futuro) i limiti di emissione richiesti per le polveri sono tali da impedire pressoché completamente l'utilizzo dell'elettrofiltro come unico mezzo di abbattimento delle polveri.

La sua funzione è comunque sempre di primo piano soprattutto, come sarà descritto in seguito, nel caso sia previsto l'impiego unicamente di tecnologie di depurazione dei fumi a secco che fanno uso di composti altamente reattivi (es.: bicarbonato di sodio).

Infatti tramite una filtrazione in due stadi successivi è possibile mantenere separati due flussi

di residui, di cui il primo contenente la quasi totalità delle polveri (separate tramite elettrofiltro o filtro a maniche) e la seconda (separata tramite filtro a maniche) costituita essenzialmente da sali (sodici) di reazione e da carbonato di sodio (eccesso di reagente impiegato) che, come si è visto, può essere oggetto di recupero per impieghi industriali in una piattaforma dedicata.

### D.3.3 La rimozione degli inquinanti

I processi più utilizzati per la depurazione degli inquinanti contenuti nei fumi possono essere classificati, in funzione del principio chimico-fisico di trattamento che li caratterizza, in:

- Processi di filtrazione/adsorbimento (“a secco”, “a semisecco”);
- Processi di assorbimento (“ad umido”, eventualmente senza scarichi liquidi e/o con l’impiego di reagenti specifici);
- Processi di adsorbimento specifici (“a secco” o “a semisecco” con iniezione di carbone attivo o coke, “polishing” finale con iniezione di carbone e filtrazione, a valle di un sistema “ad umido”);
- Processi riduttivi/ossidativi, quali la riduzione degli ossidi di azoto effettuata per via catalitica (“DeNO<sub>x</sub> SCR”) o non catalitica (“DeNO<sub>x</sub> SNCR”).

Nella tabella D.3.3 viene riportata una classificazione schematica dei vari processi di trattamento e dei relativi sistemi attraverso i quali essi vengono applicati, nonché un’indicazione dei rispettivi vantaggi e svantaggi.

**Tabella D.3.3 - Classificazione e prestazioni dei sistemi di trattamento dei fumi**

Processo	Trattamento	Inquinanti	Note
<b>Filtrazione/assorbimento</b>	“A secco”	Polveri, metalli pesanti adsorbiti, gas acidi	Prestazioni medio-buone, in funzione del reagente impiegato.
	“A semisecco”	Polveri, metalli pesanti adsorbiti, gas acidi	Buone prestazioni, consumi medi di reagenti
<b>Assorbimento</b>	“Ad umido”	Polveri, metalli pesanti, gas acidi, aerosols	Alte prestazioni, ridotti consumi di reagenti
	“Ad umido” con additivi specifici	Polveri, metalli pesanti, gas acidi, aerosols, diossine	Come “ad umido”, ma con rimozione anche di diossine
<b>Adsorbimento</b>	“Iniezione di carbone attivo”	Hg, diossine, altri micro-inquinanti organici	Efficiente rimozione di diossine e mercurio
<b>Ossidazione/riduzione</b>	DeNO <sub>x</sub> SNCR	NO <sub>x</sub>	Rimozione e distruzione di NO <sub>x</sub>
	DeNO <sub>x</sub> SCR	NO <sub>x</sub> , diossine	Efficiente rimozione e distruzione di NO <sub>x</sub> e diossine

Fonte:elaborazione ENEA

Nella tabella D.3.4 viene riportata invece, in forma qualitativa, l’applicabilità e l’efficacia dei vari sistemi di trattamento alle varie tipologie di inquinanti presenti nei fumi di incenerimento.

Di seguito verranno brevemente descritti i vari sistemi di trattamento dei fumi, rimandando ai capitoli F, G ed H una trattazione di maggiore dettaglio degli stessi riguardo alla loro

applicabilità, efficacia ed idoneità a costituire, da soli o in combinazione fra di loro, possibili BAT per la riduzione dell'inquinamento atmosferico derivante dall'incenerimento dei rifiuti.

I **sistemi a secco** si basano sull'assorbimento dei gas acidi tramite un reagente iniettato nella corrente dei fumi, costituito da calce idrata o da bicarbonato di sodio.

I sistemi a secco sono i sistemi più semplici e di facile gestione, anche se, nel caso di impiego di calce, per raggiungere buone efficienze di rimozione necessitano di un elevato ricircolo del reagente.

Prevedono la presenza di un reattore di neutralizzazione dei gas acidi nel quale avviene l'iniezione del reagente alcalino in fase solida, cui segue un sistema di abbattimento dei sali di reazione e delle polveri trascinate (spesso un filtro a maniche su cui avviene il completamento delle reazioni).

Generalmente non necessitano di acqua; in tal modo si ha assenza di effluenti liquidi, garantendo buone rese di rimozione degli inquinanti.

Nel caso di utilizzo della calce idrata, può essere richiesto l'impiego di una torre di condizionamento dei fumi con la funzione di controllare le condizioni ottimali di temperatura e l'umidità dei fumi. L'iniezione congiunta di carbone attivo permette l'assorbimento di Hg e PCDD/PCDF.

Sono applicabili preferibilmente ad impianti con rifiuti di caratteristiche non molto variabili (rifiuti pre-trattati, rifiuti speciali piuttosto omogenei).

In generale i trattamenti a secco producono una quantità più elevata di residui solidi rispetto ai trattamenti ad umido, in funzione del tipo di reagente impiegato o del grado di ricircolo di reagenti applicato.

Tale effetto può essere parzialmente limitato tramite l'alimentazione di reagente alcalino direttamente in camera di combustione (possibile solo nel caso del letto fluido); i vantaggi conseguibili sono comunque limitati.

**Tabella D.3.4 - Applicabilità dei sistemi di trattamento alle varie tipologie di inquinanti**

<i>Inquinante</i> <i>Trattamento</i>	<i>Polveri</i>	<i>Gas acidi</i>	<i>Metalli (adsorbiti)</i>	<i>Metalli (vapori)</i>	<i>Gas tossici (Cl<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub>)</i>	<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>Diossine</i>	<i>Odori</i>	<i>Aerosols</i>
Secco	+++	++ <sup>(1)</sup>	+++				+		+
Semisecco	+++	++	+++	+			+		++
Umido	+++	+++	+++	+++	++		+	+	+++
Umido con additivi	+++	+++	+++	+++	+++	(+)	++	++	+++
Secco/semisecco + iniezione carboni attivi	+++	++	+++	+++			++(+)	+	++
SNCR						++	(+)		
SCR					+	+++	+++	+	

Fonte: Elaborazione ENEA

(1) In funzione del reagente impiegato

**Legenda**

+ = prestazioni medie

++ = prestazione buone

+++ = prestazioni ottimali

I sistemi a semisecco sono schematicamente costituiti da un reattore di neutralizzazione seguito da un filtro a maniche. L'iniezione del reagente avviene sottoforma di soluzione/sospensione acquosa opportunamente nebulizzata al fine di favorirne la dispersione nella corrente gassosa; l'evaporazione dell'acqua ha inoltre la funzione di consentire un

abbassamento della temperatura dei fumi.

L'efficienza di questi sistemi è funzione di molti parametri, tra i quali si possono citare la temperatura (temperature più basse favoriscono la rimozione degli inquinanti), il contenuto di umidità dei fumi, l'eccesso ed il grado di atomizzazione del reagente (in genere latte di calce). L'efficienza di rimozione degli inquinanti acidi è comunque paragonabile a quella dei sistemi ad umido, anche se la risposta ad eventuali picchi inquinanti è più lenta. Necessitano di una quantità di acqua nettamente inferiore rispetto ai sistemi ad umido e non danno luogo a scarichi liquidi.

Necessitano di un sistema di abbattimento dei sali di reazione (solitamente filtri a maniche che garantiscono elevata efficienza e semplicità).

Se insieme al reagente alcalino vengono iniettati carboni attivi, garantiscono la rimozione anche di Hg e PCDD/PCDF.

Sono sistemi semplici, necessitano solo di un buon controllo della temperatura dei fumi e della concentrazione del reagente sia per ottimizzare le reazioni di neutralizzazione, sia per non rischiare corrosioni e/o formazione di agglomerati indesiderati.

Sono applicabili preferibilmente ad impianti con rifiuti di caratteristiche abbastanza omogenee e costanti (rifiuti pre-trattati, particolari tipologie di rifiuti speciali).

I sistemi ad umido consentono di raggiungere rendimenti particolarmente elevati nella rimozione degli inquinanti gassosi accoppiati ad un consumo di reagenti relativamente basso e ad una ridotta produzione di residui. Per contro danno luogo a residui liquidi da trattare e riducono i livelli di recupero energetico conseguibile.

Si tratta di sistemi che sfruttano l'azione di colonne di lavaggio ("scrubber") solitamente a più stadi (acqua, soda ed eventuale primo stadio acido) per neutralizzare gli inquinanti contenuti nei fumi.

Sono i sistemi che garantiscono la migliore efficienza di rimozione, ma hanno bisogno di elevati quantitativi di acqua e della possibilità di trattarla a valle del processo, prima di poterla scaricare. Riescono ad abbattere le polveri solo in parte e quindi necessitano spesso di un filtro depolveratore a monte (filtro elettrostatico, a maniche, cicloni).

Sono in grado di abbattere il mercurio se dotati di uno stadio acido per poterlo scaricare come cloruro, o se operanti a bassa temperatura (condensazione Hg); a volte tale tecnica di abbattimento del mercurio può risultare non sufficiente a garantire il limite di emissione ( $0,05 \text{ mg/Nm}^3$ ) previsto dal D.Lgs. 133/05, quindi deve essere associata all'impiego di carboni attivi tramite iniezione in linea o passaggio su letto fisso. Tale sistema è efficiente anche per il conseguimento dei limiti di emissione dei PCDD/F.

I sistemi misti sono del tipo multistadio e si basano su una combinazione di quelli a semisecco con quelli ad umido.

Tale configurazione permette di raggiungere elevate efficienze di depurazione e di consentire eventualmente la marcia dell'impianto anche nel caso di anomalia di uno degli stadi che compongono la linea di depurazione dei fumi.

Un aspetto senza dubbio interessante riguarda la possibilità di eliminare gli scarichi liquidi, tramite un'eventuale loro ricircolazione alla sezione di preparazione del latte di calce. In questo caso risulta di fondamentale importanza l'adozione di misure (verifica e adeguata manutenzione dei filtri depolveratori e dello scrubber, impiego di sistemi di filtrazione sulla linea di ricircolo dell'acqua) tese ad evitare un eventuale rilascio incontrollato di microinquinanti (diossine, mercurio) adsorbiti sulle polveri disperse nelle acque di lavaggio, originabile da fenomeni di evaporazione/desorbimento preferenziali causati dal notevole incremento di temperatura tra l'uscita dello scrubber ed il reingresso a monte nella sezione di trattamento dei fumi.

Possono inoltre essere presenti sistemi specifici di abbattimento degli ossidi di azoto e dei microinquinanti (metalli e diossine).

Le concentrazioni di ossidi di azoto attualmente rilevate in uscita da impianti di combustione di rifiuti sono mediamente comprese fra 300-400 mg/Nm<sup>3</sup>. Il conseguimento del limite normativo di 200 mg/Nm<sup>3</sup> per gli NO<sub>x</sub> può dunque essere raggiunto solo con l'adozione di misure secondarie. I due processi normalmente impiegati sono del tipo a rimozione catalitica selettiva (SCR) e non catalitica (SNCR).

Il sistema SCR consiste in un apposito reattore posto nella linea di depurazione dei fumi nel quale viene iniettata ammoniaca nebulizzata che reagisce, su un supporto catalitico, con gli NO<sub>x</sub> dando luogo alla formazione di azoto e di acqua.

Tali sistemi consentono di raggiungere abbattimenti molto elevati (70-90%). La loro installazione appare giustificata solo quando sia veramente necessario il conseguimento di livelli di concentrazioni di NO<sub>x</sub> molto bassi, in quanto caratterizzati da costi di investimento e di esercizio elevati. Tali sistemi si sono inoltre dimostrati efficaci anche nella rimozione finale dei composti organoclorurati (diossine).

Il sistema SNCR consiste invece in un'iniezione di una soluzione acquosa di reagente (urea o ammoniaca) all'interno del generatore di vapore, in un campo di temperature comprese, di norma, tra 850-1050 °C.

Esso è caratterizzato da una minore complessità impiantistica e gestionale rispetto al sistema SCR, con costi oltretutto accettabili. I livelli di abbattimento riscontrati variano tra il 50 ed il 70% (sufficienti per il rispetto degli attuali limiti normativi), con eccessi di reagenti variabili tra il 20 e l'80%.

Riguardo ai microinquinanti inorganici (metalli pesanti) occorre ricordare che essi sono presenti sia in fase solida che vapore; la maggior parte condensano durante il trattamento dei fumi, concentrandosi nelle polveri. La loro rimozione dipende quindi, principalmente, dall'efficienza del depolveratore, soprattutto nei confronti delle particelle submicroniche.

Gli attuali sistemi di depurazione consentono di raggiungere efficienze di rimozione dei metalli del 96-99%, fatta eccezione per il mercurio che, a causa della sua elevata volatilità, è presente nei fumi prevalentemente in fase vapore.

Il crescente interesse dimostrato verso il controllo di tale inquinante, anche a seguito delle preoccupazioni sui potenziali effetti negativi sulla salute, ha portato a fissare il limite, a livello europeo e nazionale, di 0,05 mg/Nm<sup>3</sup>. Conseguentemente si rende necessaria l'adozione di sistemi di trattamento ad umido ovvero ricorrere all'iniezione di carboni attivi nei sistemi a secco e semisecco. Alcune esperienze europee, fatte sull'impiego di tali accorgimenti, hanno dimostrato che è possibile raggiungere efficienze di abbattimento del mercurio fino al 97 %.

Per quanto riguarda le diossine è ormai dimostrato che il solo controllo dei parametri della combustione e post-combustione (tempo, temperatura, turbolenza) non è condizione sufficiente a garantire i livelli di emissione fissati dai recenti sviluppi normativi a livello comunitario e nazionale (0,1 ng/Nm<sup>3</sup> TE).

Per il conseguimento di tali livelli di concentrazione occorre dunque procedere attraverso un meccanismo di chemi-adsorbimento, cioè un passaggio dalla fase vapore a quella condensata adsorbita su superfici solide. Tale passaggio è favorito dall'abbassamento della temperatura e dall'impiego di materiali con spiccate caratteristiche adsorbenti quali i carboni attivi.

#### **D.4 Il recupero energetico dalla combustione dei rifiuti**

Il recupero di energia dall'incenerimento ha iniziato a svilupparsi negli anni '70 quando si è integrata l'apparecchiatura di combustione con trattamenti piuttosto semplificati di depurazione finalizzati dapprima alla riduzione del carico di polveri e, successivamente, anche all'abbattimento dei gas acidi presenti nei fumi.

Esso viene effettuato attraverso il recupero del calore che deriva dal raffreddamento dei fumi che si rende necessario per il loro successivo trattamento. Il recupero avviene sotto forma di

produzione di energia elettrica e/o termica, ottenuta attraverso l'impiego del vapore generato in un'apposita caldaia, concettualmente costituita da uno scambiatore di calore acqua-fumi.

In pratica lo schema impiantistico è del tutto simile a quello tipico delle centrali termoelettriche, anche se le condizioni operative (pressione, temperatura) sono assai meno severe, a causa della presenza nei fumi di composti corrosivi e di ceneri trascinate che possono dare luogo a fenomeni di corrosione e erosione, nonché alla formazione di depositi ("slagging") sulle pareti di scambio termico.

L'introduzione della camera di post-combustione poi, così come avvenuta in Italia con la Deliberazione 27.7.1984, aveva creato uno schema concettuale abbastanza semplice, ma, nello stesso tempo piuttosto rigido, non privo di complicazioni operativo-gestionali e sicuramente deleterio dal punto di vista energetico. In pratica l'impianto era costituito da un susseguirsi di sottosistemi, quasi o nulla interfacciati fra di loro, nei quali erano realizzate le varie fasi del processo di trattamento.

Negli impianti di nuova generazione si assiste, invece, ad una forte integrazione delle fasi di combustione/post-combustione/recupero di calore. Il generatore di vapore non è più uno scambiatore di calore posto a valle, ma diviene una vera e propria caldaia a combustione (a griglia, a letto fluido) raffreddata dai tubi di generazione, nella quale le suddette fasi ovviamente permangono, ma non più separate fisicamente come in passato. In tal modo è possibile conseguire rendimenti superiori, mantenendo, al tempo stesso, le condizioni operative (temperatura, tempo di permanenza, turbolenza) necessarie per la distruzione dei composti tossici eventualmente prodotti dalla termodistruzione dei rifiuti.

In pratica, effettuare il recupero energetico ha come conseguenza, a causa delle esigenze sia di limitare l'impatto sull'ambiente sia di incrementare i livelli di recupero (per motivazioni non solo economiche, ma anche ambientali) la realizzazione di impianti piuttosto complessi che, specie nel caso di taglia medio-grande, sono molto simili ad una vera e propria centrale termoelettrica.

La scelta del tipo di energia da recuperare (elettrica, termica oppure di entrambe, come nel caso della co-generazione) è dettata pressoché totalmente da fattori locali (vedi anche paragrafo E.2.1.9).

La produzione di energia termica, da cedere a terzi sia per impieghi civili (teleriscaldamento/refrigerazione, produzione di acqua sanitaria) o industriali (vapore o acqua calda di processo) dovrebbe essere favorita in quanto con questa tecnica è possibile limitare la consistente penalizzazione dell'efficienza di recupero (rendimento di conversione), conseguenti alla natura altamente aggressiva dei fumi di combustione. Nel caso della produzione di energia elettrica tale fenomeno negativo è maggiormente avvertito, a causa delle condizioni operative più severe richieste per il vapore surriscaldato da inviare in turbina, che possono dare luogo a marcati fenomeni di corrosione e/o erosione.

Queste influenze negative risultano meno marcate nella produzione di sola energia termica per cui, soprattutto nella produzione di acqua calda, i rendimenti di conversione in energia possono risultare del tutto simili a quelli delle apparecchiature alimentate con combustibili fossili tradizionali. Per contro la richiesta di energia termica è di norma soggetta a forte variazioni sia su base stagionale (è il caso del teleriscaldamento), sia nel breve-medio periodo, in funzione dei fabbisogni energetici delle utenze Terze.

La produzione di energia elettrica, invece, risulta pressoché indipendente dalla richiesta di Terzi, in quanto il surplus prodotto può essere, in qualsiasi momento, immesso sulla rete nazionale di distribuzione. Essa presenta inoltre il vantaggio di poter usufruire degli incentivi previsti per l'impiego di fonti rinnovabili di energia (attualmente i "certificati verdi", in precedenza le tariffe di cessione contemplate dalla delibera CIP n. 6/1992) che, soprattutto per gli impianti di taglia medio-grande, permettono di conseguire sensibili riduzioni della tariffa

di smaltimento dei rifiuti. Per contro i livelli di recupero in energia conseguibili in un moderno impianto di incenerimento, anche di taglia medio-grande, risultano ancora significativamente inferiori di quelli tipici di una centrale termoelettrica di tipo tradizionale.

#### **D.4.1 Produzione di energia elettrica**

##### **D.4.1.1 Il generatore di vapore**

Il generatore di vapore è usualmente del tipo a “piccolo volume d’acqua” ed è normalmente costituito da tre sezioni così suddivise in base al percorso dei fumi:

- i tubi vaporizzatori, dove l’acqua di alimento viene trasformata in vapore saturo;
- il surriscaldatore, che trasforma il vapore saturo in surriscaldato, con grado di surriscaldamento mediamente compreso tra 100-150 °C;
- l’economizzatore per il recupero di parte dell’energia termica ancora presente nei fumi per il preriscaldamento dell’acqua di alimento prima dell’immissione nel corpo cilindrico.

I fumi in uscita dalla camera di combustione entrano nel generatore di vapore ad una temperatura dell’ordine dei 1000 °C (valore di temperatura ottimale per evitare fenomeni di corrosione tra gli acidi presenti nei fumi ed il carbonio costituente i tubi vaporizzanti) ed escono ad una temperatura pari a circa 200 °C, onde evitare fenomeni di corrosione sui tubi dell’economizzatore a causa della possibile formazione di condense acide.

La pressione di esercizio del generatore di vapore è, di norma, attorno ai 40 bar con una temperatura del vapore surriscaldato in uscita dal generatore di circa 400 °C.

Il generatore di vapore è provvisto di sistemi per la pulizia sia dei tubi vaporizzatori sia dei banchi di surriscaldamento costituiti, da soffiatori di tipo fisso o retrattile a vapore ad alta pressione o di tipo meccanico per la rimozione delle poveri depositatesi.

Il generatore di vapore è alimentato con acqua demineralizzata e pressoché priva di ossigeno, per la cui produzione viene previsto un idoneo sistema di trattamento di tipo convenzionale, costituito da un impianto di demineralizzazione cui seguono la degasazione termo-fisica e l’aggiunta di opportuni additivi.

##### **D.4.1.2 Il ciclo termico a vapore**

Il vapore surriscaldato in uscita dal generatore di vapore viene immesso nella turbina attraverso opportune valvole di intercettazione e regolazione che modulano la portata in funzione del carico del forno.

La turbina a vapore può essere del tipo con palettatura ad azione o ad azione-reazione, con condensazione del vapore tramite refrigerante ad aria ovvero, in caso di disponibilità di idonei quantitativi di acqua di raffreddamento (in prossimità di un corso d’acqua o del mare) tramite uno scambiatore ad acqua. Quest’ultima soluzione permette di conseguire maggiori rendimenti poiché, operando a temperature più basse, consente di sfruttare il salto entalpico fino a pressioni dell’ordine di 0,08-0,10 bar a, valori non raggiungibili con un condensatore ad aria.

Qualora il recupero energetico non abbia come fine unicamente la produzione di energia elettrica ma sia prevista una cogenerazione (produzione combinata di energia elettrica e termica) nella zona della palettatura a media pressione della turbina viene realizzato uno spillamento di una parte del vapore da impiegare, ad esempio, in uno scambiatore di calore per la produzione di acqua calda per una rete di teleriscaldamento.



#### **D.4.1.3 Il generatore di energia elettrica**

L'alternatore accoppiato ad una turbina a vapore è, di norma, del tipo bipolare o quadripolare per cui avrà, in funzione del numero di poli, una velocità di 3.000 o 1.500 g/min.

La trasmissione del numero di giri dal rotore della turbina al rotore dell'alternatore è, ove richiesto, realizzata tramite un riduttore di giri (10.000/3.000 o 10.000/1.500).

#### **D.4.2 La produzione di energia termica**

In questo caso il vapore in uscita dal generatore, se non esportato tal quale o desurriscaldato in impianti Terzi per usi di processo, viene inviato ad uno scambiatore di calore vapore/acqua calda, che costituisce la fornitura all'utente finale.

Nel caso di generatore per la produzione di vapore per teleriscaldamento, le condizioni operative (pressione e temperatura) sono di molto inferiori a quelle richieste per la produzione di energia elettrica, in genere pari a quelle strettamente necessarie per la produzione di acqua calda surriscaldata a 120 °C ed ad una pressione di 1,5-2,0 bar (i valori effettivi sono funzione della rete di distribuzione e del tipo di utilizzatori).

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

### **E.1 Migliori tecniche e tecnologie per lo specifico settore**

Nel presente capitolo viene riportata una sintesi del documento “Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration” (BRef on Waste Incineration), disponibile come Final Draft dal Luglio 2005.

Le informazioni riportate di seguito devono essere integrate con le descrizioni esposte nei capitoli successivi (F,G) ed al capitolo D, dove sono descritte in maggior dettaglio.

In particolare si sottolinea il fatto che l'abbinamento “tipologia di rifiuti da trattare/tecnologia di combustione” non risulta vincolante, ma riveste solo carattere informativo, essendo possibile il trattamento di uno specifico rifiuto in differenti tipologie di apparecchiature, soprattutto in caso di co-incenerimento (vedi anche tabelle D.2.1 e D.2.5).

### **E.2 Aspetti tecnici e tecnologici dello specifico settore**

#### **E.2.1 Aspetti generali**

E' importante il mantenimento di condizioni ottimali nel sito dell'impianto, ponendo particolare attenzione alla manutenzione delle attrezzature ed allo svolgimento di verifiche ed ispezioni preventive, al fine di garantire l'efficienza dell'impianto.

Effettuare un accurato controllo di qualità sui rifiuti in ingresso all'impianto, attraverso:

- Definizione dei limiti di accettazione dei rifiuti in ingresso, ed identificazione dei rischi possibili per ciascuna tipologia di rifiuto potenzialmente trattabile dall'impianto. In particolare, prevedere controlli, campionamenti e determinazioni analitiche sui rifiuti in ingresso (caratteristiche chimico-fisiche, classificazione del rifiuto)
- Comunicazione con i fornitori dei rifiuti
- Rilevazione di materiali radioattivi

Oltre al rispetto delle norme di sicurezza previste, si favorisca lo sviluppo di un piano di prevenzione, individuazione e controllo dei rischi d'incendio nel sito dell'impianto, in particolare per:

- Aree di stoccaggio e pretrattamento
- Aree di alimentazione della camera di combustione
- Sistemi elettrici di controllo
- Filtri a manica e precipitatori elettrostatici

Nella pianificazione delle attività dell'impianto, adottare un regime operativo e sistemi di procedure che minimizzino le fasi di accensione e spegnimento dell'impianto sia pianificate che non pianificate.

## **E.2.2 Trattamento dei rifiuti urbani indifferenziati**

### **E.2.2.1 Raccolta e pretrattamento fuori dall'impianto di incenerimento**

Le metodologie di raccolta e di pretrattamento dei rifiuti influiscono sulle caratteristiche del rifiuto. In particolare in funzione dei materiali che vengono rimossi si ha una variazione del potere calorifico.

### **E.2.2.2 Pretrattamento dei rifiuti all'interno dell'impianto di incenerimento**

Di norma il pretrattamento effettuato presso l'impianto di incenerimento prevede la selezione e triturazione dei rifiuti nel caso di impiego della tecnologia di combustione a letto fluido, mentre non risulta necessario per i forni a griglia.

Una tipologia di rifiuti che necessita di un trattamento meccanico di triturazione, indipendentemente dalla tecnologia di combustione adottata, è quella dei rifiuti ingombranti.

A tale scopo vengono usati i seguenti componenti:

- trituratori a lame;
- trituratori tipo "shredder";
- mulini;
- trituratori rotanti;

Ulteriori pretrattamenti (rimozione metalli, essiccamento ecc.), non necessari per i forni a griglia, possono essere richiesti per l'alimentazione di altri tipi di forno.

Per motivi di sicurezza antincendio possono essere richieste inoltre:

- la separazione delle aree di scarico da quelle di stoccaggio;
- la separazione degli impianti oleodinamici dai componenti preposti alla triturazione;
- dispositivi di raccolta dell'olio;
- aperture di sfogo per ridurre danneggiamenti dovuti ad eventuali esplosioni.

### **E.2.2.3 Stoccaggio dei rifiuti ed alimentazione**

#### ***E.2.2.3.1 Consegna dei rifiuti***

I mezzi di conferimento arrivano nell'area di consegna dove scaricano i rifiuti dentro la fossa di stoccaggio. Lo scarico avviene attraverso appropriate aperture posizionate tra l'area di consegna e la fossa rifiuti. Le aperture sono dotate di portoni scorrevoli, a chiusura tale da consentire la tenuta ed evitare la fuoriuscita di odori.

E' necessario assicurarsi che lo stoccaggio dei rifiuti sia adeguato ai rischi associati alle loro caratteristiche e proprietà chimico-fisiche, al fine di minimizzare il rischio di rilascio di inquinanti. In generale utilizzare aree dotate di superfici impermeabilizzate e resistenti, con adeguati sistemi di drenaggio. Prendere in considerazione le BAT presenti nel "Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage – January 2005", qualora siano applicabili.

In generale è auspicabile l'utilizzo di tecniche e procedure finalizzate alla minimizzazione della durata dello stoccaggio, in modo da ridurre i rischi di emissioni/perdite dalle aree di stoccaggio ed il deterioramento dei contenitori.

#### ***E.2.2.3.2 Fossa rifiuti***

La fossa rifiuti è, di solito, realizzata in calcestruzzo ed impermeabilizzata. All'interno di essa i rifiuti sono miscelati mediante una benna a polipo montata su un carroponete. Per la protezione contro gli incendi l'area della fossa rifiuti è dotata di sistemi di rilevazione e di

sistemi automatici di spegnimento ad acqua. La cabina di alloggiamento dell'operatore del carroponte è posizionata in modo da consentire una buona panoramica dell'intera fossa rifiuti ed è munita di un sistema di ventilazione indipendente rispetto alla fossa.

L'aria di combustione per l'impianto di incenerimento viene estratta dalla fossa rifiuti allo scopo di evitare la dispersione di odori e l'emissione di polveri da tale zona dell'impianto.

La capacità di stoccaggio della fossa è solitamente pari a 3-4 giorni di funzionamento dell'impianto nelle condizioni di progetto; essa risulta variabile in funzione delle caratteristiche dei rifiuti e di eventuali vincoli caratteristici del sito nel quale l'impianto è installato.

#### ***E.2.2.3.3 Alimentazione***

L'alimentazione dei rifiuti viene di norma effettuata tramite gru a ponte o simili, munita di benna a polipo o a valve che scarica nelle apposite tramogge di carico dei forni, aventi la funzione di "regolatore" di flusso del materiale alimentato in maniera discontinua.

Per il caricamento delle tramogge ci si avvale di automatismi e telecamere; è buona norma prevedere un sistema di pesatura in automatico collegato con la/e benna/e di alimentazione.

Tra la tramoggia ed il forno è presente un sistema di dosaggio dei rifiuti, comandato meccanicamente o idraulicamente, in grado regolare il quantitativo di materiale immesso in camera di combustione in funzione delle condizioni operative richieste.

#### **E.2.2.4 Combustione**

##### **Forni a griglia**

Il forno a griglia si compone essenzialmente dei seguenti componenti:

- sistema di alimentazione;
- griglia di incenerimento;
- sistema di rimozione delle scorie;
- sistema di distribuzione dell'aria di combustione;
- camera di combustione;
- bruciatori ausiliari.

La tramoggia di alimentazione è riempita in discontinuo per mezzo di una benna montata su carroponte.

La configurazione geometrica della tramoggia deve essere tale da evitare la formazione di ponti e blocchi dell'alimentazione.

Le pareti del canale di alimentazione sono solitamente raffreddate. Il canale di alimentazione è dotato di una serranda di intercettazione che consente, in caso di svuotamento del canale, di evitare ritorni di fiamma e di prevenire eventuali infiltrazioni di aria. Fra la parte bassa del canale di alimentazione e il forno è installato un meccanismo di dosaggio del rifiuto che può essere azionato per via meccanica o idraulica.

La griglia di incenerimento compie le seguenti funzioni:

- alimentazione e distribuzione del materiale (rifiuti) da incenerire;
- trasporto dei rifiuti attraverso il forno;
- posizionamento della zona di effettivo incenerimento all'interno della camera, asservito al sistema di controllo della combustione.

Il sistema di scarico delle scorie ha la funzione di rimuovere e raffreddare i residui solidi della combustione dei rifiuti; inoltre esso deve garantire la tenuta all'aria del forno. Sono comunemente usati sistemi in bagno d'acqua con pistone o a trascinamento.

Il progetto della camera di combustione, che può avere pareti raffreddate o meno, è influenzato da:

- forma e dimensione della griglia, che determinano le dimensioni in pianta della camera di

combustione;

- grado di turbolenza e rimescolamento dei fumi, necessari per il conseguimento di condizioni di combustione ottimali;
- tempo di residenza dei fumi, necessario per il completamento delle reazioni di combustione;
- parziale raffreddamento dei fumi: al fine di evitare la fusione di ceneri di combustione bassofondenti.

Riguardo al moto relativo rifiuti-fumi di combustione sono possibili le seguenti configurazioni:

- forni in equicorrente, che consentono ai fumi un maggiore tempo di residenza nell'area di ignizione e attraversano la zona a temperatura più elevata. L'aria primaria deve essere preriscaldata;
- forni in controcorrente, idonei per il trattamento di rifiuti a più basso potere calorifico in quanto i fumi caldi favoriscono l'ignizione del materiale. Necessitano, per un corretto funzionamento, di maggiori quantitativi di aria secondaria;
- forni a flusso incrociato che risultano essere un compromesso fra le precedenti configurazioni, adattandosi ad un ampio spettro di tipologia di rifiuti.

L'alimentazione dell'aria svolge le seguenti funzioni:

- fornire l'agente ossidante;
- raffreddare la griglia;
- evitare la fusione delle scorie all'interno della camera di combustione;
- favorire la miscelazione dei gas di combustione.

Essa viene ripartita in aria primaria e secondaria anche se, talvolta, sono previste immissioni terziarie nonché il ricircolo di parte dei fumi di combustione.

La camera di combustione è provvista di bruciatori ausiliari aventi le seguenti funzioni:

- preriscaldamento della camera di combustione in fase di avviamento;
- supporto della combustione in caso di mancato mantenimento delle condizioni operative prescritte dalla normativa;
- supporto della combustione durante la fase di spegnimento dell'apparecchiatura.

La concentrazione di monossido di carbonio nei fumi di combustione è un indicatore chiave dei livelli di qualità della combustione. Valori di CO inferiori a  $50 \text{ mg/m}^3$  (come valore medio giornaliero) sono indice del conseguimento di buoni livelli di efficienza di combustione.

## **E.2.3 Trattamento dei rifiuti pretrattati**

### **E.2.3.1 Forni a letto fluido**

I sistemi a letto fluido sono impiegati da decenni per la combustione di combustibili fossili e di rifiuti caratterizzati da una certa omogeneità. La natura eterogenea di alcuni rifiuti rende questa tecnologia non idonea senza la presenza a monte di un sistema di pretrattamento.

Uno dei principali vantaggi del letto fluido è il conseguimento di temperature piuttosto uniformi e costanti.

In fase di avviamento il letto fluido deve essere preriscaldato alla temperatura minima di accensione del combustibile (rifiuto), mediante dei bruciatori ausiliari alimentati ad olio o metano.

### **E.2.3.2 Caldaie a letto fluido**

Il combustibile, in pezzatura indicativa compresa fra 50 e 200 mm, viene alimentato uniformemente e miscelato con il materiale del letto.

Il meccanismo di trasferimento del calore all'interno del letto consente di operare a temperature più basse (850-900 °C) con conseguente minore formazione di NO<sub>x</sub> di origine termica.

Una caldaia a letto fluido da 20 MW impiega 35.000-40.000 t/a circa di combustibile, costituito da rifiuti speciali o combustibili derivati da RU.

Per la produzione di energia elettrica si impiegano apparecchiature di taglie maggiori (indicativamente 50-100 MW), al fine di incrementare i livelli di rendimento di recupero conseguibili.

A causa dei pretrattamenti del rifiuto che si rendono necessari, le scorie (ceneri pesanti) del sistema di combustione a letto fluido risultano migliori sotto l'aspetto qualitativo, oltre ad essere quantitativamente minori rispetto a quelle derivanti dai forni a griglia.

### **E.2.3.3 Pirolisi e gassificazione**

Questi processi, pur se sviluppati da tempo per applicazioni su combustibili fossili o materiali omogenei, non hanno ancora raggiunto la piena maturità commerciale per il loro impiego al trattamento dei rifiuti, anche se sono presenti alcuni esempi relativi al trattamento di rifiuti pretrattati e/o speciali.

Per una descrizione di dettaglio dei processi si rimanda al capitolo G.

#### ***E.2.3.3.1 Pirolisi***

Gli impianti di pirolisi per il trattamento dei rifiuti sono schematizzabili in due stadi successivi di trattamento individuabili in:

- pirolisi dei rifiuti con produzione di gas di pirolisi e di un residuo solido carbonioso;
- trattamenti secondari dei prodotti gassosi e solidi, ai fini del loro impiego come combustibile o materia secondaria.

I potenziali vantaggi del processo di pirolisi sono:

- la possibilità di recupero di materiali;
- il potenziale incremento del rendimento di conversione in energia elettrica, tramite l'impiego del gas derivato in motori a combustione interna o turbine a gas in ciclo combinato;
- riduzione dei volumi dei gas da trattare, rispetto alla combustione diretta dei rifiuti.

Per il trattamento di rifiuti di origine urbana sono attualmente operativi due impianti in Germania.

#### ***E.2.3.3.2 Gassificazione***

Per l'impiego del processo di gassificazione è necessario che il materiale da trattare possieda caratteristiche piuttosto omogenee e costanti, ottenibili, ad esempio, mediante pretrattamento dei rifiuti urbani.

I rifiuti liquidi possono essere alimentati direttamente all'apparecchiatura di gassificazione.

Alcuni esempi di gassificazione di rifiuti speciali o derivati da rifiuti urbani sono attualmente presenti in Germania.

#### ***E.2.3.3.3 Processi combinati***

I processi combinati sono costituiti dall'accoppiamento di due o più processi di trattamento

termico.

Tra le possibili combinazioni le più applicate sono costituite da:

- pirolisi dei rifiuti e successivo incenerimento dei prodotti ottenuti;
- pirolisi dei rifiuti e successiva gassificazione dei prodotti ottenuti;
- pirolisi dei rifiuti e successivo impiego dei prodotti come combustibili alternativi in un impianto di generazione di energia elettrica e/o termica.

#### **E.2.4 Trattamento dei rifiuti pericolosi**

Dal punto di vista di principio l'incenerimento di rifiuti pericolosi non differisce sostanzialmente da quello previsto per il trattamento di rifiuti speciali o di origine urbana pretrattati.

Lo scopo principale è, in questo caso, costituito dalla termodistruzione del rifiuto tramite ossidazione dei composti organici pericolosi e l'eventuale inglobamento dei composti inorganici in materiali a consistenza vetrosa poco lisciviabili, tramite il mantenimento di temperature operative elevate (1.200-1.300 °C) che portano alla fusione degli inerti (funzionamento "a scorie fuse").

##### **E.2.4.1 Sistemi di stoccaggio ed alimentazione**

Soprattutto nel caso di impianti operanti per conto Terzi il sistema di stoccaggio deve includere:

- fossa di stoccaggio per rifiuti allo stato sfuso;
- serbatoi di stoccaggio di rifiuti liquidi;
- area di stoccaggio per rifiuti in fusti e relativo sistema di alimentazione;
- eventuale sistema di alimentazione diretta di sostanze tossiche, reattive o corrosive dai mezzi di trasporto.

##### **E.2.4.2 Alimentazione e pretrattamenti**

A causa della notevole eterogeneità dei rifiuti in ingresso possono essere richiesti, soprattutto nel caso di impianti conto Terzi, dei pretrattamenti, costituiti principalmente da:

- sistema di omogeneizzazione ed equalizzazione dei rifiuti (appartenenti alla stessa categoria dell'allegato G al D.Lgs. 22/97), finalizzato all'ottenimento di "mescole", con caratteristiche piuttosto costanti;
- sistemi di triturazione dei fusti, eventualmente accoppiati con sistemi di miscelazione;
- correzione del pH a valori ottimali (di norma 4÷12);
- essiccamento e/o solidificazione dei fanghi.

##### **E.2.4.3 Apparecchiature di combustione**

In entrambi i casi l'apparecchiatura più utilizzata, a causa della sua flessibilità, è il tamburo rotante, operante indicativamente a temperature comprese fra 900 °C e 1300 °C.

Tale apparecchiatura è in grado di accettare differenti tipologie di rifiuti in proporzioni variabili:

- rifiuti solidi 10-70%;
- rifiuti liquidi 25-70%;
- rifiuti pastosi 5-30%;
- fusti fino al 15%.

Tuttavia, specie per gli impianti conto proprio, possono essere previste altre specifiche apparecchiature (camere statiche, bruciatori a fiamma rovesciata, ecc.) in funzione della particolare tipologia di rifiuti trattati.

Per la distruzione di rifiuti altamente pericolosi (ceneri da incenerimento, amianto, PCB, ecc.) può trovare applicazione la tecnologia dell'arco-plasma, qualora risulti economicamente conveniente.

#### **E.2.4.4 Raffreddamento fumi e recupero energetico**

Il recupero energetico non costituisce un fattore primario nel caso di trattamento di rifiuti pericolosi.

Se presente, esso viene effettuato con le stesse modalità impiegate per i rifiuti urbani, anche se le condizioni operative del vapore sono meno severe (pressione 13-40 bar, temperatura 207-385 °C).

In alternativa può essere previsto un raffreddamento rapido ("quench", ad es. da 1100 a 200 °C), allo scopo di minimizzare la possibile riformazione di diossine tramite il meccanismo della sintesi "de-novo".

#### **E.2.4.5 Depurazione dei fumi**

Negli impianti polifunzionali che trattano diverse tipologie di rifiuti (inceneritori per conto Terzi) il sistema di trattamento più diffuso è quello ad umido, a volte anche su più stadi, l'unico in grado di tamponare possibili variazioni repentine del carico di inquinanti conseguenti principalmente alla variabilità dei rifiuti in ingresso.

Negli impianti che trattano specifici flussi di rifiuti è possibile, invece, l'impiego di soli sistemi a secco e a semi-secco, anche se il carico di inquinanti risulta essere piuttosto elevato. In entrambi i casi possono essere previsti trattamenti finali di "finissaggio" dei fumi quali iniezione di carboni attivi, DeNO<sub>x</sub> SCR, impiego di reagenti specifici per la rimozione di Br, I, Hg, ecc..

Soprattutto negli impianti di autosmaltimento può rendersi conveniente il recupero di materie prime (es.: HCl, zolfo) qualora le concentrazioni di alcuni inquinanti risultino essere particolarmente elevate.

### **E.2.5 Trattamento dei fanghi di depurazione**

#### **E.2.5.1 Composizione dei fanghi**

La composizione dei fanghi di depurazione risulta variabile in funzione di:

- le modalità di raccolta/le materie prime impiegate che influenzano il carico di metalli pesanti;
- l'eventuale localizzazione dell'impianto in zone costiere (impiego di acque salmastre);
- la presenza e il tipo di pretrattamenti previsti quali selezione grossolana, digestione anaerobica o aerobica, trattamento con agenti chimici;
- la presenza di particolari condizioni meteoriche su base stagionale (es.: diluizione dovuta a piovosità).

I sistemi di trattamento dei fumi dipendono principalmente dalla composizione del rifiuto e sono simili a quelli previsti per l'incenerimento dei rifiuti urbani. Comunque, particolare attenzione deve essere rivolta alla rimozione degli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) e del mercurio.

In particolare durante il processo di incenerimento dei fanghi il mercurio è rilasciato principalmente in forma metallica a differenza del trattamento dei RU, nel quale esso è



presente sotto forma di ione (soprattutto cloruro).

Le tecniche più idonee alla sua rimozione sono:

- l'utilizzo di opportuni reagenti negli scrubbers ad umido;
- l'impiego di letti fissi a carbone attivo nei sistemi a secco;
- l'iniezione di una miscela di reattivo alcalino (calce o bicarbonato di sodio) e carbone attivo nella corrente dei fumi e successiva separazione dei reagenti tramite un filtro a maniche.

### **E.2.5.2 Pretrattamento dei fanghi**

I principali sistemi di pretrattamento dei fanghi sono:

- Disidratazione fisico-meccanica, che consente (tramite l'impiego di decantatori, centrifughe, presse) di raggiungere livelli di materiale secco del 20-45%. Spesso il fango è trattato prima della disidratazione con additivi flocculanti sia di tipo inorganico (sali di alluminio e ferro, calce, carbone, ecc.) sia di tipo organico (polimeri). L'impiego di sostanze inorganiche aumenta il tenore di ceneri del rifiuto pretrattato.
- Essiccamento: impiegato qualora la semplice disidratazione meccanica risulti insufficiente e realizzato tramite differenti tipi di apparecchiature (a disco, a letto fluido, a film sottile, con centrifuga, ecc.), installate o meno presso l'impianto di depurazione. Il valore ottimale per l'incenerimento dei fanghi è attorno al 35% di sostanza secca, ma possono essere richiesti tenori superiori per il loro trattamento in impianti di trattamento di RU.

### **E.2.5.3 Combustione**

#### ***E.2.5.3.1 Impianti dedicati di incenerimento***

Gli impianti che trattano fanghi essiccati necessitano di quantitativi ridotti (al limite anche nulli) di combustibile ausiliario rispetto all'incenerimento dei fanghi tal quali (non disidratati).

Nella tabella E.2.1 si riporta un confronto delle caratteristiche dei diversi sistemi di apparecchiature di combustione impiegate per l'incenerimento dei fanghi.

Di norma il PCI dei fanghi disidratati è compreso tra 4,8 e 6,5 MJ/kg, contro valori di 2,2 - 4,8 MJ/kg dei fanghi non disidratati.

Gli impianti dedicati all'incenerimento dei fanghi in genere operano a temperature comprese nel campo 850-950°C. Temperature inferiori agli 850°C possono determinare emissioni odorose, oltre a non rispettare i requisiti minimi previsti dalla normativa.

#### ***E.2.5.3.2 Trattamento termico dei fanghi***

I fanghi reflui possono essere trattati presso impianti di trattamento di RU secondo le seguenti modalità:

- alimentazione pneumatica del fango essiccato nella camera di combustione;
- spargimento del fango disidratato sul letto di rifiuti presente sulla griglia;
- miscelazione dei fanghi disidratati e/o essiccati direttamente nella fossa ed alimentazione in camera di combustione assieme agli altri rifiuti;

Il trattamento termico dei fanghi può eventualmente essere effettuato anche presso impianti di pirolisi e gassificazione di rifiuti.

**Tabella E.2.1- Apparecchiature impiegate per l'incenerimento dei fanghi**

	<b>Forno a letto fluido</b>	<b>Forno a piani multipli</b>	<b>Forno a piani multipli e letto fluido</b>	<b>Forno ciclonico</b>
<b>Caratteristiche</b>	Assenza di parti meccaniche in movimento e limitata usura	Preessiccamento non richiesto; Presenza di parti mobili	Non è necessario pre-essiccamento Presenza di parti mobili	Assenza di parti meccaniche in movimento e limitata usura
<b>Gestione operativa</b>	Rapidi avviamenti/fermate, Possibile funzionamento in discontinuo	Tempi lunghi per riscaldamento Necessario funzionamento continuo	Tempi medi per riscaldamento e raffreddamento	Confrontabile con inc. a letto fluido, è possibile trattare una vasta gamma di rifiuti
<b>Incenerimento</b>	Limitati eccessi di aria richiesti; Basso tenore di incombusti	Incenerimento difficile da controllare Immune a possibili fluttuazioni qualitative nei fanghi	Basso eccesso di aria richiesto, buon controllo del processo tramite il letto fluido, minore sensibilità nei confronti di fluttuazioni qualitative nei fanghi rispetto al letto fluido	Breve tempo di residenza Alimentazione di aria principale e secondaria a diversi livelli
<b>Contenuto ceneri nei fumi</b>	Alto	Basso	Alto	Alto
<b>Rimozione ceneri</b>	Attraverso flusso gassoso e rimozione sabbia	Direttamente sul fondo	Attraverso flusso gassoso e rimozione sabbia	Attraverso flusso gassoso Ceneri pesanti dal fondo
<b>Residui</b>	Ceneri, residui da letto fluido	Ceneri	Ceneri, residui da letto fluido	Ceneri

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration – July 2005"

## **E.2.6 Trattamento di rifiuti sanitari**

### **E.2.6.1 Caratteristiche dei rifiuti sanitari**

Per la gestione ed il trattamento dei rifiuti sanitari è richiesta una particolare attenzione in relazione ai rischi specifici caratteristici di questo tipo di rifiuti (infezioni, punture, ecc..) e al loro comportamento durante l'incenerimento (il potere calorifico e l'umidità possono presentare variazioni notevoli).

I rifiuti ospedalieri possono includere:

- agenti infettivi;
- indumenti e stracci contaminati;
- sostanze farmaceutiche;
- materiale tagliente;
- rifiuti veterinari;
- parti anatomiche;
- attrezzatura medica;
- materiali da imballaggio;
- rifiuti da laboratorio.

### **E.2.6.2 Movimentazione e pretrattamento**

I rischi correlati alla movimentazione dei rifiuti ospedalieri possono essere, di norma, contenuti riducendo la possibilità di contatto ed assicurando che la manipolazione e lo stoccaggio avvengano tramite l'impiego di:

- container specifici dotati di impianti di lavaggio e disinfezione;
- container sigillati e combustibili;
- sistemi di caricamento automatico nel forno;
- sistemi specifici di stoccaggio e movimentazione;
- impiego di celle frigorifere (per stoccaggi superiori alle 48 ore).

Il pretrattamento può prevedere:

- la disinfezione con vapore in autoclave in pressione;
- il trattamento con acqua calda.

### **E.2.6.3 Trattamento termico**

La termodistruzione dei rifiuti sanitari può essere effettuata tramite:

- incenerimento;
- combustione di tipo pirolitico;

Tali trattamenti possono essere realizzati in apparecchiature quali:

- tamburo rotante (da soli o in coincenerimento, in funzione dei quantitativi disponibili);
- forni a griglia (in coincenerimento);
- forni statici, a gradini o a suola calda (per quantitativi piuttosto ridotti).

### **E.2.7 Distruzione di rifiuti contenenti PCB tramite incenerimento**

Le informazioni riportate nel presente paragrafo, non riprese dal BRef sull'incenerimento, sono state riportate per completezza di informazione.

L'incenerimento ad alta temperatura risulta essere allo stato attuale una delle tecniche più consolidate ed affidabili per la distruzione di PCB o di rifiuti da essi contaminati.

La sua efficacia è misurata dall'efficienza di distruzione e rimozione (DRE, Destruction Removal Efficiency) definita come:

$$DRE = \frac{W_{in} - W_{out}}{W_{in}} \times 100$$

in cui  $W_{in}$  = quantità (oraria) di PCB in ingresso

$W_{out}$  = quantità (oraria) di PCB in uscita

Impianti di incenerimento progettati e gestiti in modo ottimale sono attualmente in grado di assicurare una DRE almeno pari a 99,9999 %.

L'efficacia del trattamento viene ottenuta tramite un accurato controllo del processo di combustione (temperatura, tempo di residenza, turbolenza ed eccesso d'aria) e l'impiego di un adeguato sistema di trattamento dei fumi. Le condizioni operative minimali sono quelle tipiche previste per l'incenerimento di rifiuti pericolosi (tempo di permanenza di almeno 2 sec. in camera di post combustione a temperature di almeno 1.100 °C).

Tramite l'incenerimento possono essere trattati qualsiasi tipologia di rifiuti contaminati da PCB, indipendentemente dal loro stato fisico.

I rifiuti liquidi ed i fanghi (pompabili) possono essere direttamente alimentati in camera di combustione.

I rifiuti solidi possono richiedere forme di pretrattamento quali:

- disassemblaggio e/o triturazione per apparecchiature di grosse dimensioni (es. trasformatori);
- confezionamento di materiali sfusi o pastosi in fusti da alimentare all'inceneritore.

La termodistruzione dei PCB può essere effettuata in impianti dedicati, progettati specificatamente per il trattamento di PCB o di altri rifiuti clorurati, oppure in impianti di combustione industriali, tipicamente costituiti dai forni di produzione del cemento.

Per quanto riguarda gli impianti dedicati le apparecchiature impiegate sono riconducibili alle seguenti tipologie:

- Inceneritori a tamburo rotante;
- Inceneritori statici per liquidi;
- Inceneritori a camera statica (per ridotte capacità di trattamento);
- Combustori a letto fluido;
- Inceneritori a raggi infrarossi.

L'inceneritore a tamburo rotante risulta di gran lunga l'apparecchiatura più utilizzata, a causa della sua flessibilità e semplicità di operazione. Se necessario, possono essere raggiunte temperature operative fino a 1.300 °C che provocano la fusione delle scorie che, per successivo raffreddamento, assumono un aspetto di consistenza vetrosa.

Il sistema di trattamento dei fumi è quello tipico degli inceneritori di rifiuti pericolosi e può essere del tipo a secco (nel caso di incenerimento di rifiuti con caratteristiche piuttosto omogenee e costanti), ad umido, o costituito da una combinazione più o meno articolata dei due (nel caso di inceneritori polifunzionali che trattano diverse tipologie di rifiuti).

In alternativa all'incenerimento in impianti dedicati i rifiuti contenenti PCB possono essere smaltiti nei cementifici, attraverso la loro alimentazione con i combustibili fossili impiegati (se allo stato liquido) oppure tramite apposite bocche previste in un punto intermedio del forno di produzione del clinker (se solidi). Il vantaggio principale di questa forma di smaltimento consiste nel fatto che le frazioni incombustibili sono incorporate nel clinker prodotto e non danno luogo a correnti residue in uscita dal trattamento.

Negli ultimi anni sono stati sperimentati per la termodistruzione dei PCB (soprattutto per rifiuti allo stato liquido) sistemi che fanno uso della torcia al plasma. Grazie alle elevate temperature che vengono raggiunte localmente (3000 °C circa) i rifiuti subiscono una piroschissione che porta alla pressoché completa distruzione dei PCB. La corrente gassosa prodotta subisce un brusco raffreddamento ("quench") al quale segue un trattamento con soluzione alcaline per la neutralizzazione dell'acido cloridrico.

Nella tabella E.2.2 sono riassunte le principali caratteristiche dei trattamenti termici di termodistruzione dei rifiuti contaminati da PCB.

**Tabella E.2.2 - Principale caratteristiche dei trattamenti di termodistruzione dei PCB**

Trattamento	Rifiuti trattabili	Vantaggi	Svantaggi
Incenerimento o co-incenerimento	Oli, residui di processi di separazione  Apparecchiature contenenti PCB	Elevati livelli di DRE Ampio campo di variazione per tipologia di rifiuti e di concentrazioni in ingresso	Piuttosto costoso Scarsa accettabilità da parte dell'opinione pubblica Il rifiuto contenente PCB deve avere PCI elevato (nel caso di coincenerimento)
Torcia al plasma	Rifiuti liquidi o pompabili	Buone caratteristiche delle emissioni e dei residui	Limitata esperienza a livello industriale

Fonte: Elaborazione a cura del GTR

## E.2.8 Tecniche e tecnologie di recupero energetico

### E.2.8.1 Principi generali

La combustione è un processo che genera calore (esotermico). La maggior parte dell'energia termica è trasferita ai fumi che devono però essere quindi raffreddati per permetterne la depurazione prima di essere rilasciati in atmosfera.

Tale raffreddamento viene, di norma, effettuato in una caldaia per recuperare il calore, ma può anche avvenire senza recupero energetico mediante iniezione nei fumi di acqua o aria.

Gli impieghi principali dell'energia recuperata riguardano:

- la produzione e la distribuzione di energia elettrica;
- la produzione e la distribuzione di energia termica (come vapore e/o acqua calda) per usi civili (teleriscaldamento/refrigerazione) e industriali;
- produzione combinata di energia termica ed elettrica (cogenerazione e distribuzione di energia elettrica e calore).

### E.2.8.2 Parametri che influiscono sull'efficienza energetica

#### E.2.8.2.1 Caratteristiche dei rifiuti

Le caratteristiche chimico-fisiche (in particolare il PCI) del rifiuto conferito all'impianto influenzano sia le tecniche di recupero dell'energia, sia i livelli di rendimento conseguibili.

#### E.2.8.2.2 Localizzazione dell'impianto

La quantità di energia che può essere recuperata dipende anche dalle opzioni disponibili per il suo impiego (vedi anche paragrafo D.4)

Attualmente per impianti di taglia medio-grande e di nuova concezione che producono solo energia elettrica il rendimento conseguibile è dell'ordine del 25-30% (in funzione della taglia dell'impianto) al lordo dei consumi interni di impianto, mentre per gli impianti di cogenerazione di energia elettrica e termica tale valore può raggiungere l'80-90% del PCI dei rifiuti<sup>4</sup>.

### E.2.8.3 Ottimizzazione del recupero energetico

Nella definizione della configurazione del sistema di recupero energetico occorre tenere conto

<sup>4</sup> Attualmente i livelli di recupero in Italia sono mediamente inferiori, in conseguenza della taglia piuttosto ridotta e dell'età degli impianti.

dei diversi fattori che possono avere un peso rilevante a livello locale, come riportato sinteticamente nella tabella E.2.3.

In generale, si dovrebbero adottare sistemi di conversione energetica dotati di un'efficienza di conversione termica pari a:

- superiori all'80% per rifiuti urbani
- 80-90 % per i rifiuti pretrattati, inceneriti nei forni a letto fluido
- 60-70 % per rifiuti pericolosi, caratterizzati da alto rischio di corrosione della caldaia (dovuto all'elevato contenuto di Cl e S)
- per altre tipologie di rifiuti l'efficienza di conversione dovrebbe essere generalmente aumentata nel range da 60 al 90 %, a seconda della corrosività dei fumi grezzi di combustione

#### E.2.8.4 Tecniche di incremento dell'efficienza energetica

##### E.2.8.4.1 Pretrattamento dei rifiuti

Due sono le categorie di tecniche di pretrattamento che possono influenzare in modo positivo i livelli di recupero energetico:

- l'omogeneizzazione;
- trattamenti di estrazione/separazione.

L'omogeneizzazione può essere realizzata tramite semplice mescolamento dei rifiuti direttamente nella fossa di stoccaggio utilizzando la stessa benna di caricamento, accoppiata o meno ad una eventuale (grossolana) triturazione. Il beneficio conseguibile è una maggiore stabilità del processo di combustione.

L'estrazione/separazione consiste nella separazione (rimozione), di norma per via meccanica, di certe frazioni prima di avviare i rifiuti a combustione.

Le operazioni di selezione/raffinazione possono essere spinte fino alla produzione di un combustibile derivato (CDR).

Questo tipo di trattamenti può cambiare significativamente le caratteristiche del materiale avviato alla combustione e la loro applicazione consente di dimensionare le apparecchiature di combustione in accordo a specifiche più stringenti e di ottimizzarne le prestazioni; la loro applicazione, per contro, può incrementare i costi di trattamento complessivi e ridurre la flessibilità del sistema nel suo complesso.

E' importante tenere conto che questi trattamenti consumano energia e materie prime a loro volta, dando luogo ad emissioni e residui addizionali.

**Tabella E.2.3 - Fattori che influenzano configurazione ed entità del recupero energetico**

Fattore	Aspetti da prendere in considerazione
Caratteristiche dei rifiuti	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Quantità e qualità (in particolare la corrosività)</li> <li>✓ Disponibilità, distribuzione e variazioni stagionali</li> <li>✓ Possibilità di variazioni quali-quantitative dei rifiuti</li> </ul>
Potenzialità di cessione dell'energia	<p><b>Energia termica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Teleriscaldamento</li> <li>✓ Ad usi industriali</li> <li>✓ Ad usi interni (processo/riscaldamento)</li> <li>✓ Presenza di vincoli geografici</li> <li>✓ Durata della domanda e del contratto di fornitura</li> <li>✓ Obblighi contrattuali di fornitura</li> <li>✓ Condizioni operative di fornitura (vapore, acqua calda, ecc.)</li> <li>✓ Analisi delle variazioni stagionali</li> <li>✓ Presenza di eventuali incentivi</li> <li>✓ Partecipazione di clienti Terzi al finanziamento dell'impianto</li> </ul>

	<b>Energia elettrica</b> ✓ Disponibilità rete nazionale ed autoconsumi impianto ✓ Prezzo di cessione ✓ Presenza di incentivi e tasse ✓ Caratteristiche richieste per l'energia ceduta
Condizioni locali	✓ Mezzo di raffreddamento: aria o acqua ✓ Condizioni meteorologiche ✓ Accettabilità o meno di pennacchio visibile ✓ Disponibilità di fonte di acqua (mare/fiume) - Temperatura e caratteristiche qualitative dell'acqua - Disponibilità di prelievo (secondo la stagione) - Aumento di temperatura consentito
Cogenerazione	✓ Variazioni stagionali della ripartizione ✓ Variazioni della ripartizione a medio-lungo termine
Altro	✓ Ottimizzazione dei parametri progettuali/operativi (max produzione di energia, minimo costo di investimento, complessità impiantistica, ecc.) ✓ Livelli di rumorosità accettabili (condensatori ad aria) ✓ Area disponibile ✓ Eventuali vincoli architettonici ✓ Sistemi di trattamento dei fumi

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration – July 2005"

#### **E.2.8.4.2 Generatori di vapore**

Negli impianti di incenerimento si utilizzano generalmente caldaie (di norma integrate) a tubi d'acqua, a circolazione naturale, dotate di economizzatori, evaporatori e surriscaldatori.

Negli inceneritori le condizioni operative del vapore sono un frutto di un compromesso. Elevate temperature e pressioni permetterebbero una maggiore conversione dell'energia termica contenuta nei fumi in energia elettrica; al tempo stesso però elevate temperature del vapore possono aggravare i problemi di corrosione, specialmente sulle superfici del surriscaldatore.

Attualmente negli impianti di incenerimento sono piuttosto comuni valori di 400°C e 40 bar per il vapore surriscaldato, con alcune esperienze in nuovi impianti che arrivano fino a 450°C e 60 bar ed oltre.

I fenomeni corrosivi che possono manifestarsi sulle superfici di scambio termico possono essere limitati attraverso:

- l'adozione di opportune condizioni operative per il vapore;
- il mantenimento di adeguati tempi per il completamento delle reazioni prima che i fumi siano posti in contatto con le superfici metalliche di scambio termico;
- il contenimento della velocità dei fumi;
- l'impiego di opportuni rivestimenti protettivi.

#### **E.2.9 Trattamento dei fumi e controllo delle emissioni**

Utilizzare un sistema di trattamento dei fumi che operi con valori di emissione che rientrino nei livelli operativi associati alle BAT (vedi Tab. E.4.1).

### E.2.9.1 Riduzione delle emissioni di polveri

La selezione dell'apparecchiatura per l'abbattimento delle polveri contenute nei fumi è determinata principalmente da:

- concentrazione delle polveri nei fumi grezzi;
- dimensioni medie delle particelle e loro distribuzione granulometrica;
- portata e temperatura dei fumi;
- compatibilità con altri componenti del sistema di depurazione dei fumi.

La selezione può essere influenzata anche dalla disponibilità locale di sistemi di trattamento e smaltimento dei residui separati (polveri leggere, di caldaia, sali di reazione).

A riguardo i sistemi maggiormente impiegati (vedi anche paragrafo D.3) risultano essere:

- i filtri elettrostatici, la cui efficienza dipende dalla resistività delle polveri, piuttosto variabile nei fumi di incenerimento;
- i filtri a maniche, di largo impiego negli impianti di incenerimento, a causa della loro elevata efficienza di filtrazione, cui fanno riscontro maggiori perdite di carico nei fumi e temperature di esercizio piuttosto contenute (indicativamente 180-220 °C, a seconda del materiale filtrante).

### E.2.9.2 Riduzione delle emissioni di gas acidi

La rimozione dei gas acidi viene effettuata tramite l'iniezione di reagenti alcalini nella corrente dei fumi.

I principali processi di depurazione generalmente applicati (vedi anche paragrafo D.3.3) sono:

- a secco, tramite l'iniezione di un reagente in polvere (calce o bicarbonato di sodio) nel flusso dei gas, in quantità in eccesso rispetto a quella stechiometrica. I sali di reazione e l'eccesso di reagente, allo stato solido, vengono rimossi tramite filtrazione (su filtro a maniche) e in parte riciclati per limitare il consumo di reagente. Non è previsto l'impiego di acqua;
- a semi-secco nei quali l'agente adsorbente è aggiunto al flusso dei gas allo stato di soluzione o in sospensione (es. latte di calce). Il processo richiede la presenza di un reattore, a causa dei maggiori tempi di contatto richiesti per l'evaporazione dell'acqua. Anche in questo processo il prodotto di reazione, allo stato solido in polvere, viene trattenuto nel filtro e in parte riciccolato. Il consumo di reagente è di 1,5-2,5 volte lo stechiometrico.
- ad umido, nei quali il flusso di gas viene messo a contatto, in apposite colonne, con una soluzione contenente il reagente (es. soluzione di idrossido di sodio). Il prodotto della reazione è sotto forma di soluzione acquosa. Generalmente il processo è dotato di un primo stadio acido per la rimozione dell'HCl e un secondo stadio, a pH superiore (7-8) ottenuto con aggiunta di soda o calce, per la rimozione della SO<sub>2</sub>. Una parte della corrente liquida di lavaggio deve essere continuamente rimossa e trattata prima dello scarico finale.

Riguardo al tipo di reagente impiegato (a volte anche in combinazione fra di loro) occorre dire che ognuno presenta vantaggi e svantaggi, così come riportato in forma sintetica nella tabella E.2.4. Nel processo di selezione dei sistemi ad umido/semisecco/secco e dei reagenti, è utile fare riferimento alla tabella E.4.2.(pagina 81)



**Tabella E.2.4 - Tipi di reagenti impiegati per la neutralizzazione dei gas acidi**

Reagente	Vantaggi	Svantaggi	Note
Idrossido di sodio (NaOH)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Molto reattivo con i gas acidi</li> <li>✓ Bassi consumi</li> <li>✓ Limitata produzione di residui</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Costo unitario elevato</li> <li>✓ Formazione di sali solubili e fanghi</li> <li>✓ Altamente corrosivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Idoneo solo per sistemi ad umido</li> <li>✓ Adatto per fumi da incenerimento di RP</li> </ul>
Calce Ca(OH) <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Reattività media</li> <li>✓ Costo unitario basso</li> <li>✓ Residui poco lisciviabili</li> <li>✓ Può consentire il recupero di gessi dai sistemi ad umido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Manipolazione e movimentazione difficoltosi</li> <li>✓ Riciclo difficoltoso</li> <li>✓ Produzione elevata di residui</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ampio campo di applicabilità</li> </ul>
Bicarbonato di sodio (NaHCO <sub>3</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Alta reattività (bassi eccessi richiesti)</li> <li>✓ Ampio campo di temperature (140-300°C)</li> <li>✓ Più compatibile con sistemi SCR (temperature più elevate)</li> <li>✓ Non richiede consumi di acqua</li> <li>✓ Possibile recupero dei residui</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sali piuttosto lisciviabili</li> <li>✓ Costo unitario elevato</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Di agevole manipolazione (prodotto innocuo)</li> </ul>

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration – July 2005, modificata dal GTR"

### E.2.9.3 Riduzione delle emissioni degli ossidi di azoto

#### E.2.9.3.1 Tecniche primarie

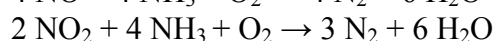
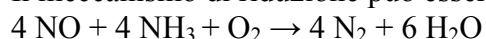
La produzione di NO<sub>x</sub> può essere ridotta con un buon controllo della combustione e un buon mescolamento dei gas, evitando sia alti eccessi d'aria, sia temperature troppo elevate.

A questo riguardo viene anche previsto il ricircolo dei fumi, attraverso il quale una parte di essi (circa il 10-20%), prelevati a valle della depurazione, sono immessi in caldaia insieme all'aria secondaria di combustione. Questa tecnica tende anche a ridurre le perdite di calore con i fumi, aumentando conseguentemente il rendimento energetico del processo.

#### E.2.9.3.2 Processo SNCR

In questo processo gli ossidi di azoto vengono rimossi tramite una riduzione selettiva non catalitica (**S**elective **N**on-**C**atalytic **R**eduction). L'agente riducente (ammoniaca o urea) viene iniettato sotto forma di soluzione acquosa in camera di combustione. La reazione con gli ossidi di azoto avviene a temperature comprese tra 850°C e 1000°C, con valori ottimali compresi nell'intervallo 900-920°C. A temperature troppo basse l'ammoniaca non reagisce, mentre a temperature troppo alte si ossida producendo ulteriori NO<sub>x</sub>.

Il meccanismo di riduzione può essere rappresentato dalle reazioni:



Gli NO<sub>x</sub> possono essere in tal modo ridotti anche dell'80%, ma, di norma, le riduzioni sono mediamente inferiori. A fini dell'efficacia del trattamento occorre mantenere una buona regolazione della combustione, del sistema di iniezione dell'ammoniaca, un buon mescolamento dei fumi con il reagente e un tempo di contatto sufficiente per il completamento delle reazioni.

Elevati eccessi di reagente possono dare luogo a significative emissioni di NH<sub>3</sub> ("slip").

Un confronto tra i reagenti impiegabili è riportato nella tabella E.2.5.

**Tabella E.2.5 - Reagenti impiegati per la riduzione non catalitica degli NO<sub>x</sub>**

Reagente	Vantaggi	Svantaggi
Ammoniaca (NH <sub>3</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Possibilità di ammortizzare concentrazioni di NO<sub>x</sub> di picco</li> <li>✓ Minori emissioni di N<sub>2</sub>O</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Campo di temperature piuttosto ristretto (870-950 °C)</li> <li>✓ Stoccaggio e movimentazione pericolosi</li> <li>✓ Costi unitari superiori</li> <li>✓ Slip di ammoniaca</li> </ul>
Urea ((NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Campo di temperature ampio (540-1000 °C)</li> <li>✓ Stoccaggio e movimentazione meno pericolosi</li> <li>✓ Costi unitari inferiori</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Minore capacità a fronteggiare picchi di concentrazione di NO<sub>x</sub></li> <li>✓ Emissioni di N<sub>2</sub>O superiori</li> <li>✓ Slip di ammoniaca</li> </ul>

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration – July 2005, modificata dal GTR"

### **E.2.9.3.3 Processo SCR**

Si tratta di un processo catalitico di tipo selettivo (**Selective Catalitic Reduction**). L'ammoniaca è iniettata nei fumi depurati a monte di un reattore munito di catalizzatore. Le reazioni sono praticamente le stesse, ma avvengono a temperature più basse, comprese tra i 250°C e 450°C, essendo favorite dalla presenza del catalizzatore.

Questo processo presenta un grado di riduzione più elevato (oltre il 90%) e richiede un minore eccesso stechiometrico di reagente.

Negli impianti di incenerimento tale trattamento deve essere applicato ai fumi depurati o, quantomeno, deacidificati e depolverati.

A causa di ciò i fumi trattati devono essere nuovamente riscaldati per essere portati a livelli di temperatura ottimali, tali da favorire l'azione del catalizzatore. Ne consegue un consumo di energia che può essere in parte contenuto tramite l'installazione di uno scambiatore di calore recuperativo fumi trattati/fumi grezzi.

### **E.2.9.4 Riduzione delle emissioni di mercurio**

Il mercurio è un metallo altamente volatile e pertanto, qualora presente nei rifiuti, nel corso dell'incenerimento tende a passare quasi completamente nei fumi.

I limiti di emissione per il mercurio previsti dal D.Lgs. 133/05 non possono essere rispettati senza l'impiego di tecniche di riduzione specifiche.

#### **E.2.9.4.1 Tecniche primarie**

L'unica tecnica primaria efficace per il contenimento delle emissioni di mercurio in atmosfera risulta essere quella di prevenire e controllare la sua presenza nei rifiuti (ad esempio, tramite raccolta separata alla fonte).

#### **E.2.9.4.2 Tecniche secondarie**

Nelle condizioni operative tipiche dei fumi da incenerimento rifiuti il mercurio tende ad essere presente sottoforma di cloruro.

Due sono le tecniche principalmente adottate:

- l'adsorbimento su carboni attivi o filtri a carbone, tramite iniezione nella corrente dei fumi, dai quali sono poi rimossi per filtrazione (nei sistemi a secco l'iniezione può essere

effettuata assieme alla calce);

- lavaggio ad umido, se le condizioni sono tali da garantire che il mercurio sia in forma ionica (condizioni ossidanti, elevata concentrazione di cloro). In questo caso deve essere previsto nel trattamento degli effluenti liquidi la precipitazione del mercurio (ad esempio tramite l'aggiunta di solfuri), al fine di raggiungere valori di emissione compresi nelle BATAOEL riportate in tab. E.4.1 .

Nel caso sia previsto il ricircolo dei fumi di combustione, è necessario prendere le adeguate misure al fine di evitare il ricircolo e l'accumulo di mercurio nell'impianto.

#### **E.2.9.5 Riduzione delle emissioni di altri metalli**

I metalli pesanti sono convertiti con la combustione per lo più in ossidi non volatili e, nel corso del raffreddamento, tendono a depositarsi sulle particelle solide. Ne consegue che quanto più efficiente risulta essere la depolverazione, tanto migliore è anche l'abbattimento dei metalli pesanti.

#### **E.2.9.6 Riduzione delle emissioni di composti organici**

Il mezzo più efficace per ridurre l'emissione in atmosfera di composti organici del carbonio (IPA, PCDD, PCDF) è senza dubbio quello di mantenere condizioni di combustione ottimali. L'emissione di composti organici può essere contenuta riducendo al massimo la temperatura dei fumi in fase di trattamento (con conseguente condensazione dei composti) e facendo uso di un efficace sistema di abbattimento delle polveri.

In particolare le diossine ed i furani hanno una solubilità in acqua molto bassa e pertanto non risulta efficace un semplice lavaggio ad umido per la loro completa rimozione.

Una rimozione spinta delle diossine e furani può essere ottenuta tramite specifici trattamenti di ossidazione opportunamente catalizzati oppure, più semplicemente, tramite adsorbimento su carboni attivi (trattamento questo efficace anche nei confronti del mercurio), di norma iniettati nei fumi a monte del filtro a maniche.

#### **E.2.9.7 Contenimento delle emissioni di gas con effetto serra**

Nel caso di combustione, ai fini della produzione di energia elettrica e/o termica, di rifiuti agricolo/forestali o di rifiuti misti, nei quali sono presenti frazioni sia di origine fossile che rinnovabile (esempio tipico i RU o le frazioni combustibili da essi derivate) è possibile conseguire un guadagno netto in termini di emissioni gas serra, alla luce del fatto che deve essere computata unicamente la CO<sub>2</sub> emessa di origine fossile (in accordo alla metodologia messa a punto dall'Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC).

Tale vantaggio va valutato nei confronti sia dello smaltimento dei rifiuti in discarica, sia della produzione di energia elettrica e/o termica in impianti tradizionali (centrali, caldaie da riscaldamento) che impiegano combustibili fossili e si consegue grazie al meccanismo delle "emissioni evitate".

Occorre senz'altro sottolineare che il parametro fondamentale, ai fini dell'efficacia dei vantaggi conseguibili, risulta essere l'efficienza di recupero energetico che si riesce a realizzare. Ad un suo incremento può utilmente contribuire la produzione combinata di energia elettrica e termica, con conseguenti maggiori benefici in termini di emissioni evitate di gas serra.

## **E.2.10 Tecniche di trattamento e controllo delle acque reflue**

### **E.2.10.1 Potenziali fonti di acque reflue**

Potenziali fonti di acque reflue dagli impianti di incenerimento dei rifiuti possono derivare da:

- acque reflue di processo provenienti dai sistemi di trattamento ad umido dei fumi;
- acque reflue da raccolta, spegnimento e stoccaggio delle scorie. Questo tipo di acque reflue solitamente è riutilizzato in sostituzione dell'acqua industriale nei sistemi di spegnimento delle scorie e di conseguenza non vengono scaricate;
- acque reflue sanitarie che non essendo specifiche di impianti di incenerimento di rifiuti non verranno trattate in questa sezione;
- acque di pioggia chiare, generate dalla caduta della pioggia su superfici "pulite" (tetti);
- acque di pioggia inquinate, derivate da precipitazioni atmosferiche su superfici inquinate e di norma mantenute separate dalle acque di pioggia chiare;
- acque di raffreddamento, non tipiche degli impianti di incenerimento e pertanto riconducibili nell'ambito delle BAT per le tecniche di raffreddamento industriali;
- acque reflue provenienti da pre-essiccamento dei fanghi di depurazione delle acque reflue, che possono presentare alti valori di COD associati ad elevati contenuti in azoto (principalmente sotto forma di ammoniaca);
- acque reflue da rigenerazione impianto di demineralizzazione e da spurgo caldaia.

### **E.2.10.2 Criteri di base per il controllo delle acque reflue**

Le principali tecniche di controllo delle acque reflue riguardano:

- l'applicazione di tecnologie di incenerimento ottimali, aspetto fondamentale per un effettivo controllo delle acque reflue. Condizioni non ottimali di incenerimento possono avere effetti negativi sulla composizione dei fumi e delle ceneri e quindi influenzare negativamente le acque di scarico nel caso di trattamento dei fumi ad umido;
- la minimizzazione dei consumi di acqua e/o della produzione di acque reflue, ad esempio tramite un riutilizzo all'interno dell'impianto;
- il rispetto dei limiti normativi allo scarico;
- l'ottimizzazione dei sistemi di trattamento delle acque reflue.

### **E.2.10.3 Influenza dei sistemi di trattamento dei fumi sulle acque reflue**

La produzione di acque reflue dipende dal tipo di trattamento dei fumi.

Oltre ai sistemi a secco e a semisecco, che non prevedono la presenza di scarichi liquidi, anche i sistemi ad umido possono non dare luogo ad effluenti liquidi, qualora sia previsto uno stadio di evaporazione degli stessi, realizzabile all'interno del processo o tramite appositi trattamenti specifici.

### **E.2.10.4 Trattamento delle acque reflue da sistemi ad umido**

Per il trattamento delle acque reflue sono applicati principalmente i seguenti sistemi:

- trattamenti chimico-fisici;
- evaporazione in linea;
- evaporazione separata.

I trattamenti chimico-fisici comprendono, di norma, le seguenti fasi: neutralizzazione, flocculazione, precipitazione, essiccamento dei fanghi, filtrazione degli effluenti.

Altri trattamenti particolari (quali, ad esempio, l'impiego di solfuri, la filtrazione su membrane, lo strippaggio dell'ammoniaca, il trattamento separato delle acque provenienti dai vari stadi di lavaggio, il trattamento anaerobico, ecc.) possono essere previsti al fine di migliorare la qualità delle acque di scarico, in presenza di particolari tipologie di inquinanti.

Se il contenuto in sali solubili non è accettabile, le acque reflue di processo possono essere ulteriormente sottoposte a ad evaporazione, realizzabile in linea o separatamente.

Per acque molto concentrate in alcuni composti (es: acido cloridrico da incenerimento di rifiuti ad alto contenuto di cloro) nelle acque di scarico può essere previsto uno specifico sistema per il loro recupero.

## **E.2.11 Gestione e trattamento dei residui solidi**

### **E.2.11.1 Tipologie di residui**

Possono essere identificati essenzialmente due tipi di residui solidi del processo di incenerimento:

- residui risultanti direttamente dal processo di combustione, a causa della presenza di inerti nei rifiuti (scorie, ceneri leggere e di caldaia);
- sali di reazione derivanti dalle reazioni di neutralizzazione effettuate nei sistemi di trattamento fumi.

Per quanto riguarda le scorie e le ceneri possono essere così individuate:

- scorie, che a causa dei quantitativi notevoli (soprattutto nel caso dei RU) costituiscono uno dei più importanti tipi di residuo;
- ceneri di caldaia, solitamente gestite assieme alle ceneri leggere;
- ceneri leggere separate nei sistemi di trattamento dei fumi;

Riguardo ai residui solidi derivanti dal trattamento dei fumi possono essere individuate le seguenti categorie:

- residui da sistemi di trattamento a secco e a semi-secco dei fumi, costituiti da una miscela di sali di calcio e sodio, principalmente cloruri, solfati e solfuri, fluoruri; di norma smaltiti in discariche per rifiuti pericolosi;
- sali da trattamento chimico-fisico dei fumi, caratterizzati da un elevato contenuto in metalli pesanti e sali insolubili; anch'essi smaltiti in discarica per rifiuti pericolosi;
- sali derivanti da evaporazione in linea o separata delle acque di lavaggio, riutilizzabili o smaltiti in discarica;

### **E.2.11.2 Recupero dei residui**

Il riuso dei residui è possibile qualora essi soddisfino una serie di parametri tecnici ed ambientali quali:

- reattività;
- lisciviabilità;
- contenuto in sali;
- granulometria.

Ad esempio, a causa dei notevoli quantitativi coinvolti, una pratica molto diffusa in Europa è il recupero delle scorie di combustione dei RU, con percentuali piuttosto elevate in alcuni paesi: Olanda (> 90%), Danimarca (90%), Germania (60%), Francia (30%), Belgio e Gran Bretagna (21%).

Per quanto riguarda i sali da trattamento dei fumi sono invece potenzialmente recuperabili:

- i gessi derivanti dalla neutralizzazione degli ossidi di zolfo nei fumi;
- sali prodotti dalla neutralizzazione con bicarbonato di sodio che, previo trattamento, possono dare luogo al recupero di una salamoia riutilizzabile in cicli industriali.

### **E.2.11.3 Trattamento dei residui da trattamento fumi**

Qualora non siano praticabili forme di recupero, i residui da trattamento fumi devono essere smaltiti in discarica, previo trattamento. Di seguito sono riportate le principali tecniche applicate allo scopo

#### ***E.2.11.3.1 Solidificazione***

Si tratta di un trattamento finalizzato alla riduzione della porosità e della conducibilità idraulica del materiale e, quindi, della sua lisciviabilità, indice di pericolosità (potenziale rilascio di inquinanti).

Il prodotto così inertizzato è, di norma, smaltito in discarica.

#### ***E.2.11.3.2 Trattamenti termici***

Sono impiegati per la riduzione del volume e della lisciviabilità del materiale e classificabili in tre differenti categorie:

- vetrificazione;
- fusione;
- sinterizzazione.

La vetrificazione viene ottenuta a temperature comprese tra i 1300 ed i 1500 °C e dà luogo ad un materiale praticamente inerte, tramite l'aggiunta di materiali vetrosi.

La fusione è simile alla vetrificazione, ma non prevede l'impiego di materiali addizionali.

La sinterizzazione avviene invece a temperature più ridotte (circa 900 °C), consentendo pertanto la riduzione dei consumi di energia associati al trattamento. Ad oggi non risulta ancora applicata su scala industriale.

#### ***E.2.11.3.3 Estrazione e separazione***

Diverse tecniche di estrazione sono state sperimentate in Europa ed in Giappone. Molte di esse utilizzano soluzioni acide mentre alcune prevedono l'invio dei residui trattati alla camera di combustione e la successiva miscelazione con le scorie di incenerimento.

#### ***E.2.11.3.4 Stabilizzazione chimica***

Si basa sul principio di legare i metalli pesanti in forme più insolubili rispetto a quelle presenti inizialmente.

Le tecniche impiegate prevedono la precipitazione dei metalli in nuove forme minerali e la formazione di legami con altri minerali.

#### ***E.2.11.3.5 Ulteriori tecniche di trattamento***

Esistono alcune tecniche alternative, impiegate principalmente negli USA, che prevedono che i residui del trattamento dei fumi siano miscelati con le scorie, al fine di ottenere un unico residuo avente una concentrazione di metalli inferiore e meno lisciviabile, destinato allo smaltimento in discarica (trattasi in pratica di una diluizione).

## **E.2.12 Tecniche di monitoraggio e controllo delle emissioni**

### **E.2.12.1 Sistemi di controllo dell'incenerimento**

L'ampio campo di variabilità riscontrabile nella composizione dei rifiuti comporta evidenti ripercussioni sul processo di incenerimento e sulle caratteristiche degli effluenti e dei residui dal trattamento.

Come naturale conseguenza si rende necessaria l'applicazione di sofisticati sistemi di controllo, che rappresenta un mezzo irrinunciabile al fine di conseguire:

- una migliore qualità delle scorie;
- la diminuzione della produzione delle ceneri ed il miglioramento della loro qualità;
- una ridotta formazione di composti indesiderati quali CO, idrocarburi (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>), NO<sub>x</sub>, diossine;
- un miglioramento delle prestazioni dell'impianto;
- un miglioramento dell'efficienza di recupero energetico;
- migliori condizioni operative del sistema di trattamento dei fumi.

A tal fine risulta fondamentale la conoscenza di alcuni parametri operativi quali, ad esempio:

- le temperature in varie zone della griglia;
- la densità dei rifiuti sulla griglia;
- le perdite di carico sulla griglia;
- i livelli di temperatura in diverse zone della camera di combustione e nella sezione di recupero energetico;
- il rilevamento, in varie sezioni dell'impianto di parametri operativi quali il contenuto di CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O.

Sempre con riferimento ai forni a griglia, altri parametri da tenere sotto controllo sono:

- l'alimentazione dei rifiuti;
- frequenza e velocità dei movimenti della griglia;
- distribuzione dell'aria primaria;
- temperatura dell'aria primaria;
- distribuzione dell'aria secondaria.

### **E.2.12.2 Il monitoraggio delle emissioni**

Il decreto legislativo 133/05 di recepimento della direttiva 2000/76/CE sull'incenerimento dei rifiuti, prescrive (art. 11) il monitoraggio in continuo di: CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, polveri totali, TOC, HCl, HF, tenore volumetrico di O<sub>2</sub>, temperatura, pressione, tenore di vapore acqueo e della portata volumetrica nell'effluente gassoso.

Altri inquinanti (All. I, paragrafo A, punti 3 e 4) quali i metalli, i PCDD/PCDF e gli IPA sono sottoposti a rilevazione con cadenza periodica (almeno quadrimestrale e, per i primi dodici mesi di funzionamento dell'impianto, almeno ogni 3 mesi).

Per quanto riguarda la rilevazione del mercurio, che risulta essere uno dei parametri critici del processo, vanno menzionate alcune recenti esperienze, effettuate anche in Italia, che hanno riguardato il suo monitoraggio in continuo.

Per le diossine, invece, non sono ancora industrialmente disponibili, allo stato attuale, sistemi di monitoraggio in continuo. A livello europeo sono invece stati sperimentati, con alcune esperienze anche in Italia, sistemi di campionamento in continuo di tali composti, da analizzare successivamente in laboratorio.

### **E.3 Aspetti ambientali**

Negli impianti di incenerimento i consumi, così come le emissioni, sono influenzati principalmente da:

- la tipologia e caratteristiche dei rifiuti;
- le caratteristiche tecniche (progettuali ed operative) del forno;
- il dimensionamento e le condizioni operative dei sistemi di trattamento dei fumi.

Tali parametri influenzano enormemente i fenomeni che sono alla base della ripartizione e della possibile rimozione dai fumi degli inquinanti che derivano dalla loro presenza nei rifiuti o che possono essere prodotti nel corso del processo di combustione.

Altro fattore di notevole influenza sulle potenziali emissioni è legato alle sensibili variazioni delle caratteristiche e del contenuto di inquinanti dei rifiuti, evenienza alla quale si cerca di porre rimedio tramite una sistematica verifica analitica delle loro caratteristiche, prima dell'alimentazione in camera di combustione.

Per quanto riguarda invece i RU, le loro caratteristiche sono funzione anche dei sistemi utilizzati per la raccolta differenziata delle diverse frazioni che li costituiscono.

Facendo riferimento al potere calorifico, ad esempio, è possibile riscontrare i seguenti effetti, in base alla tipologia di materiali raccolti separatamente:

- vetro e metallo: riduzione contenuto ceneri, aumento del potere calorifico;
- carta e plastica: riduzione del potere calorifico;
- imballaggi leggeri: riduzione del potere calorifico;
- rifiuti organici: aumento del potere calorifico.

E' noto inoltre che i parametri più importanti che influenzano il comportamento dei metalli presenti nei rifiuti sono la temperatura e l'eccesso di ossigeno all'interno della camera di combustione, nonché il tenore di cloro e zolfo presente nei rifiuti.

#### **E.3.1 Consumi di energia e risorse**

Gli impianti di incenerimento producono e consumano energia. Nella maggior parte dei casi il potere calorifico dei rifiuti dà luogo ad un surplus di energia che può essere esportato al di fuori dell'impianto (è il caso tipico dei RU).

Ai fini di un bilancio energetico dell'incenerimento occorre prendere in considerazione i seguenti parametri:

- In ingresso (input)
  - potere calorifico dei rifiuti;
  - combustibile di supporto;
  - richiesta di energia elettrica e/o termica.
- In uscita (output)
  - il surplus (eventuale) di energia elettrica esportata;
  - l'energia termica resa disponibile;
  - il vapore ceduto a Terzi;
  - la produzione di gas derivati (pirolisi o gassificazione).

Vi sono numerosi impianti di incenerimento in Europa che producono ed esportano sia energia elettrica che termica.

Il tipo di energia prodotta ed esportata (o la loro combinazione) quali, ad esempio domanda locale, prezzo di riferimento e durata del contratto di fornitura.

La produzione di energia elettrica è limitata da:

- possibili fenomeni di corrosione ad alta temperatura sulle superfici di scambio del generatore di vapore, a causa della presenza di alcuni composti corrosivi nei rifiuti (es.:



cloro);

- un'eventuale limitazione alla permanenza dei fumi nell'intervallo di temperature compreso fra 200 e 450 °C, onde ridurre la possibilità di riformazione di diossine (sintesi "de-novo").

Da una tonnellata di RU indifferenziati si recuperano attualmente (in funzione della taglia dell'impianto e della sua vetustà) da 300 a 640 kWh di energia elettrica.

L'impianto di incenerimento necessita di energia (elettrica e termica) per il funzionamento delle apparecchiature costituenti (ventilatori, pompe, apparecchiature ausiliarie e di servizio, ecc.) che risulta variabile in funzione della presenza di:

- sistemi meccanici di pretrattamento;
- preriscaldamento dell'aria di combustione;
- post-riscaldamento dei fumi a monte del camino;
- evaporazione delle acque reflue;
- sistemi di trattamento fumi complessi;
- ridotto potere calorifico dei rifiuti;
- sistema di condensazione ad aria;
- ricircolo dei fumi.

### E.3.2 Emissioni, reflui, scarichi termici, rumore e vibrazioni

#### E.3.2.1 Emissioni in atmosfera

##### a) incenerimento di rifiuti urbani

I dati riportati nella tabella E.3.1, raccolti da un sondaggio effettuato a livello europeo, si riferiscono al processo non a singoli impianti. Essi risultano abbastanza rappresentativi dei livelli attuali di emissione degli impianti che trattano RU. A riguardo, tuttavia, occorre tenere presente che la definizione di RU non risulta uniforme a livello internazionale e, in molti casi include anche rifiuti speciali di origine commerciale e/o industriale (es.: imballaggi, scarti di lavorazione), nonché frazione combustibili derivate da RU tramite pretrattamento.

**Tabella E.3.1 - Valori tipici di emissioni da impianti di incenerimento RU**

Parametro	Misurazione C=continua D=discont.	Medie giornaliere (mg/Nm <sup>3</sup> )		Medie semi-orarie (mg/Nm <sup>3</sup> )		Medie annuali (mg/Nm <sup>3</sup> )
		Valori tipici	Direttiva 2000/76/CE	Valori tipici	Direttiva 2000/76/CE	Valori tipici
HCl	C	0,1-10	10	0,1-80	60	0,1-6
HF	C/D	0,1-1	1	0,02-1	4	0,01-0,1
SO <sub>2</sub>	C	0,5-50	50	0,5-250	200	0,2-20
NO <sub>x</sub>	C	30-200	200	30-450	400	30-180
Polveri	C	0,1-10	10	0,05-15	20	0,1-4
TOC	C	0,1-10	10	0,1-25	20	0,1-5
CO	C	1-50	50	1-150	100	2-30
Hg	D/C	0,0005-0,03	0,05 <sup>(1)</sup>	0,0014-0,036	n.a	0,0002-0,05
Cd+Pb	D		0,05 <sup>(1)</sup>		n.a	0,0002-0,03
Σ Metalli pesanti	D		0,5 <sup>(1)</sup>		n.a	0,0002-0,05
PCDD/DF ng/Nm <sup>3</sup>	D		0,1 <sup>(1)</sup>		n.a	0,0002-0,08

(1) Limite da intendersi quale valore medio riferito al periodo di campionamento indicato nella Dir. 2000/76/CE  
Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration – July 2005, modificata dal GTR"

### b) incenerimento rifiuti pericolosi

I dati (1999-2000) sugli impianti di incenerimento dei rifiuti pericolosi (tabella E.3.2) sono state forniti dall'EURITS e sono relativi a 24 impianti a tamburo rotante, cui corrisponde una capacità totale di trattamento di 150.000 t/a di rifiuti, vale a dire circa il 70% della capacità totale degli inceneritori dedicati a livello europeo.

I diversi impianti sono in gradi di trattare rifiuti molto diversi tra loro, a livello di composizione e stato fisico; in conseguenza di ciò tali impianti richiedono l'adozione di sofisticati sistemi di abbattimento fumi, molto più complessi ed articolati rispetto all'incenerimento di RU.

**Tabella E.3.2 - Valori tipici di emissioni da impianti di incenerimento rifiuti pericolosi**

Parametro	Misurazione C=continua D=discont.	Medie giornaliere (mg/Nm <sup>3</sup> )		Medie semi-orarie (mg/Nm <sup>3</sup> )		Medie annuali (mg/Nm <sup>3</sup> )
		Valori tipici	Direttiva 2000/76/CE	Valori tipici	Direttiva 2000/76/CE	Valori tipici
HCl	C	0,1-10	10	0,1-70	60	0,3-5
HF	C/D	0,04-1	1	0,1-2	4	0,05-1
SO <sub>2</sub>	C	0,1-50	50	0,1-150	200	0,1-30
NO <sub>x</sub>	C	40-200	200	50-400	400	70-180
Polveri	C	0,1-10	10	0,1-15	20	0,1-2
TOC	C	0,1-10	10	0,1-30	20	0,01-5
CO	C	5-50	50	5-150	100	5-50
Hg	D/C	0,0003-0,03	0,05 <sup>(1)</sup>	n.a	n.a	0,0004-0,05
Cd+Tl	D	0,0005-0,05	0,05 <sup>(1)</sup>	n.a	n.a	0,0005-0,05
Σ Metalli pesanti	D	0,0013-0,5	0,5 <sup>(1)</sup>	n.a	n.a	0,004-0,4
PCDD/DF (ng/Nm <sup>3</sup> )	D	0,002-0,1	0,1 <sup>(1)</sup>	n.a	n.a	0,0003-0,08

(1) Limite da intendersi quale valore medio riferito al periodo di campionamento indicato nella Dir. 2000/76/CE  
Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration – July 2005, modificata dal GTR"

### E.3.2.2 Reflui liquidi

Negli impianti di incenerimento l'acqua trova impiego sia come acqua di processo che d'impianto.

Lo scarico principale è associato alla presenza di sistemi di trattamento ad umido dei fumi che non prevedono l'evaporazione delle acque residue all'interno dell'impianto

Un indicazione di massima dei possibili scarichi è riportata nella tabella E.3.3.

**Tabella E.3.3 - Produzione di acque di scarico da impianti di incenerimento**

Tipologia impianto	Capacità (t/a)	Trattamento fumi	Produzione acque reflue (m <sup>3</sup> /t rifiuto)
Incenerimento RU	250.000	2 stadi, latte di calce	0.15 (valore di progetto)
Incenerimento RU	250.000	2 stadi, idrossido di sodio	0.3 (valore operativo)
Incenerimento RP	60.000	2 stadi, latte di calce	0.15 (media annuale)
Incenerimento RP	30.000	2 stadi, idrossido di sodio	0.2 (media annuale)

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration – July 2005"

### **E.3.2.3 Rumore**

Il livello totale di rumore generato da un impianto di incenerimento risulta variabile in un campo molto ampio, essendo i valori più elevati riconducibili alle zone di scarico (automezzi) o a pretrattamenti dei rifiuti (triturazione) e, in generale, a fonti discontinue.

Se necessario debbono essere previsti adeguati sistemi di insonorizzazione per ridurre i livelli di rumorosità:

- all'interno dell'impianto, secondo le norme vigenti per la tutela della salute dei lavoratori;
- nelle zone adiacenti all'impianto, in accordo alla normativa vigente che regola i livelli di rumorosità, determinati sulla base della zonizzazione adottata a livello locale.

### **E.3.3 Produzione di residui**

#### **a) Incenerimento di rifiuti urbani**

La quasi totalità degli inquinanti in uscita dagli impianti di incenerimento risulta concentrata nei residui solidi; di questi indicativamente il 70-80% sono immobilizzati nelle ceneri leggere e nei sali di reazione che residuano dal trattamento dei fumi. Entrambe queste correnti rappresentano, indicativamente, circa il 7% in peso del quantitativo dei rifiuti trattati.

Gli impianti di incenerimento dei RU presenti in Europa producono tipicamente 200-350 kg di ceneri pesanti per tonnellata di rifiuti trattati, inclusi anche del materiale fine sottogriglia che solo di recente, in alcuni Paesi, si è iniziato a mantenere separato dalle scorie.

Il flusso specifico di massa dei residui da depurazione fumi mostra un ampio campo di variazione, in funzione anche dei sistemi di trattamento adottati.

Nei sistemi ad umido il valore si attesta mediamente attorno a 10-12 kg/t di rifiuto, inclusi dei fanghi essiccati (2-3 kg/t) e dei sali di reazione (8-9 kg/t).

Nei sistemi a secco o semi-secco tale quantitativo tende ad aumentare, in funzione del tipo di reagente e delle modalità operative adottate.

Nei moderni impianti di incenerimento di RU il tenore di carbonio organico totale (TOC) nelle scorie è, in genere, dell'ordine dell'1% (inferiore al valore prescritto dal D.Lgs.133/05 sull'incenerimento dei rifiuti che fissa un valore massimo pari al 3%).

La ripartizione degli elementi nelle ceneri pesanti dipende principalmente da :

- la composizione dei RU trattati;
- la volatilità degli elementi contenuti;
- il tipo di apparecchiatura di combustione impiegata;
- le condizioni operative mantenute nella camera di combustione.

#### **b) Incenerimento di rifiuti pericolosi**

I residui dagli inceneritori di rifiuti pericolosi non sono, in linea generale, sostanzialmente diversi da quelli degli inceneritori di RU

Nonostante ciò si possono evidenziare alcune peculiarità legate a:

- una diversa ripartizione dei metalli nelle scorie e nelle ceneri, in conseguenza di temperature operative di norma più elevate rispetto all'incenerimento dei RU;
- l'ampia variabilità delle caratteristiche quali-quantitative dei rifiuti, che porta come conseguenza ad una grossa variabilità dei quantitativi di scorie prodotte;
- livelli di concentrazione dei metalli superiori nei residui da trattamento dei fumi, in conseguenza del maggiore contenuto di metalli inizialmente presente nei rifiuti pericolosi.

#### **c) Incenerimento di fanghi da trattamento acque**

Le caratteristiche chimico-fisiche delle ceneri da incenerimento di fanghi risultano notevolmente influenzate dalle condizioni atmosferiche, in particolare dalla piovosità.

In condizioni di alta piovosità, ad esempio, il contenuto in silicati delle ceneri tende ad aumentare in modo significativo, mentre il contenuto degli altri inquinanti risulta inferiore, a causa della diluizione.

Anche le modalità di raccolta dell'acqua ed il successivo trattamento influiscono sulla qualità dei fanghi. Inoltre in aree molto industrializzate, possono essere rilevate alte concentrazioni di metalli pesanti nei fanghi che, una volta avviati ad incenerimento, tendono ad accumularsi nelle scorie e nelle ceneri leggere.

#### **d) Incenerimento di rifiuti sanitari**

Sono richieste particolare cautele nella gestione di residui dall'incenerimento di rifiuti sanitari al fine di:

- assicurare una combustione quanto più completa ai fini della distruzione di eventuali agenti patogeni;
- evitare rischi da possibile contaminazione delle scorie e delle ceneri;
- limitare conseguenze negative legate alla presenza di aghi ipodermici e altri materiali taglienti nelle scorie.

#### **E.3.4 Analisi dei rischi**

Se si considera la definizione generica classica di rischio ambientale come prodotto della probabilità che un evento impattante accada per la gravità dell'eventuale danno provocato, si può comprendere come, in realtà, non si possa associare in senso stretto alcun rischio ambientale alle operazioni ed ai trattamenti caratteristici di un impianto d'incenerimento, se non quelli collegati indirettamente ad alcune attività comuni ai diversi impianti industriali e spesso di diversa entità (sino ad arrivare quasi a zero) in rapporto al tipo di rifiuto trattato.

L'evento pericoloso che potrebbe produrre danni ambientali non è mai connesso quindi direttamente, in questo caso, alle caratteristiche dei rifiuti o degli impianti interessati alle attività; esso può essere legato più a cattiva gestione di fasi precedenti e successive al processo d'incenerimento vero e proprio o alla gestione di sostanze usate nel ciclo o dei residui di processo.

Verranno analizzate, innanzi tutto, le suddette specifiche tipologie di rischio; seguiranno delle brevi considerazioni su possibili situazioni di rischio (o più propriamente di accresciuto impatto) sulle matrici ambientali derivanti dall'adozione di certe tecniche di prevenzione dell'inquinamento, di certi sistemi di combustione o pretrattamento piuttosto che altre.

Da rilevare come nella trattazione su queste ultime situazioni potrebbero in parte essere ripresi argomenti affrontati durante l'analisi delle migliori tecniche disponibili, relativamente ai vantaggi/svantaggi presentati da ciascuna in termini di riduzione dell'inquinamento; argomenti che però nel presente paragrafo sono affrontati in relazione ai soli svantaggi che potrebbero comunque portare a situazioni di rischio/pressione negativa per le matrici ambientali.

I rischi ambientali connessi con l'incenerimento sono molto minori rispetto a quelli associabili alla gassificazione (ossidazione parziale) e pirolisi (decomposizione termica non ossidativa).

In realtà le valutazioni del rischio per questi ultimi due processi mostrano come si abbia a che fare con rischi che interessano primariamente la sicurezza dei lavoratori coinvolti e, soltanto secondariamente, l'ambiente. E' il caso dei rischi dei processi di caricamento dei rifiuti e quelli derivanti dalla presenza aggiuntiva di un reattore termico (in sostituzione dello stadio di combustione); è ovvio, infatti, come neanche per il primo caso si possano considerare eventi tali da produrre interazioni tra i rifiuti in alimentazione (peraltro in forma quasi inerte) con l'atmosfera e il suolo.

Considerazioni diverse possono farsi considerando i processi di pretrattamento dei rifiuti in

entrata, di certo più incisivi nelle due ultime tecniche citate (che, come si vedrà più avanti, richiedono comunque maggiori misure di prevenzione di un possibile rischio per l'atmosfera e il suolo) e le fasi di gestione dei residui, di diversa entità e natura nei vari processi e ancor di più nella gassificazione e nella pirolisi.

Va comunque detto che la struttura di un inceneritore prevede dei blocchi di attività comuni a tutti gli impianti, importanti nella minimizzazione degli impatti e sui cui può essere fatta una valutazione del rischio, non sempre di natura ambientale, quali:

- valutazione flussi rifiuti in entrata;
- fasi di stoccaggio, trattamento ed alimentazione;
- combustione (non ambientale);
- recupero energetico (non ambientale);
- monitoraggio (di tipo indiretto)

Tra queste, data l'eterogeneità e il campo di variabilità dei rifiuti in ingresso, la separazione di alcune frazioni (plastiche con PVC, metalli pesanti ecc.), unitamente alla fase di accettazione dei rifiuti (i quali devono essere, quanto più esattamente, identificati), possono rappresentare una fase importante per l'eliminazione di frazioni residuali inquinanti molto pericolose le quali, se presenti nel processo, potrebbero dar luogo a formazioni di composti pericolosi per l'ambiente (questo può essere l'unico modo, insieme al rispetto di certe caratteristiche costruttive, per impedire ad esempio la formazione delle diossine).

Allo stesso modo possono ritenersi delicate le fasi di pretrattamento (per cui le implicazioni ambientali maggiori possono derivare ad esempio dalla preparazione di certi rifiuti come gli oli all'uso come combustibile), come frantumazione, miscelazione e stoccaggio dei rifiuti in arrivo, per le quali il rischio di formazione di percolati e di residui palabili deve prevedere un'immediata ed idonea capacità di neutralizzazione (notevole variabilità del pH), il drenaggio dei fanghi e/o solidificazione degli stessi.

Nel corso di queste operazioni è fondamentale cercare di evitare fuoriuscite accidentali sul terreno, decompressioni improvvise (tramite sistemi di cattura dell'area più che sicuri), mentre per il bunker di stoccaggio e miscelazione i rischi devono essere ridotti con sistemi di prevenzione della lisciviazione nel terreno (isolamento idraulico) e garantendo ventilazioni appropriate e protette per evitare accumuli di gas, odori e polvere. Nel caso di stoccaggio in serbatoi chiusi, la presenza di sistemi di riempimento e svuotamento in atmosfera inerte d'azoto potrebbero contenere i rischi derivanti dalla presenza di una miscela gassosa in efflusso durante il riempimento.

Da ricordare anche il caso dello stoccaggio dei rifiuti sanitari, che se dovessero stazionare per più di 48 h nell'impianto dovrebbero essere stoccati in camere refrigerate.

Un altro elemento diretto da considerare nella valutazione del rischio deriva dai metodi di trattamento dei residui solidi da incenerimento (trattamento di rifiuti pericolosi, residui dal trattamento dei fumi).

Alla luce delle elevate concentrazioni che tali residui possono avere in inquinanti, spesso molto solubili, essi debbono essere smaltiti in discarica. Ai fini di ridurre il rischio sul suolo e sulle acque sotterranee, possono essere effettuati trattamenti di solidificazione, ad esempio con cemento (diminuzione del pericolo di rilascio) o termici (vetrificazione e sinterizzazione). I presidi ambientali richiesti per lo stoccaggio delle scorie sono comunque meno restrittivi di quelli per le ceneri leggere ed i residui del trattamento fumi, alla luce dell'elevato contenuto di inquinanti e della maggiore solubilità di quest'ultimi.

E' da considerare poi, come già detto che, oltre ai diversi tipi di rifiuti trattati nei vari impianti, possono essere presenti alcuni prodotti che possono provocare rischi connessi con la loro manipolazione, come ad esempio:

- idrossido di calcio (trattamento di neutralizzazione a secco);
- soda caustica (sistemi di lavaggio umido);

- ipoclorito di sodio (forte agente ossidante).

I rischi connessi con l'impiego di certe sostanze in specifici trattamenti debbono essere accuratamente analizzate quando si elencano tutti i possibili effetti ambientali di un impianto presi in considerazione nel corso dell'analisi di possibili impatti dell'incenerimento.

Così, ad esempio, la riduzione termica non catalitica (SNCR), usata in modo spinto per l'abbattimento degli ossidi d'azoto, potrebbe richiedere grandi eccessi di reagenti con il rischio di rilascio ("slip") di quantitativi significativi d'ammoniaca non reagita con i fumi.

Analogamente la rimozione dei gas acidi a secco con calce e carbone a secco comporta consumi elevati e, soprattutto, la produzione di residui pericolosi, da gestire adeguatamente, onde minimizzare qualsiasi rischio.

Oltre che per l'atmosfera e per il suolo, possono essere presenti potenziali rischi anche per le acque; ad esempio, l'impiego di depolveratori ad umido può avere come conseguenza la necessità di provvedere a complessi trattamenti di tipo chimico-fisico dell'acqua effluente, con conseguente difficoltà di smaltimento dei fanghi residui.

Particolare attenzione deve prestarsi alle acque di scarico dai sistemi umidi per la riduzione dei gas acidi. Esse devono essere sottoposte a neutralizzazione, al fine di assicurare la precipitazione di metalli pesanti ed a trattamenti con reagenti in grado di rimuovere i composti molto pericolosi quali quelli del mercurio, che condensano con il raffreddamento dei fumi solubilizzandosi negli effluenti liquidi.

#### **E.4 Migliori tecniche e tecnologie**

Vengono presentate di seguito, in forma sintetica, le tecniche che possono essere ritenute le più idonee per la definizione delle BAT (**B**est **A**vailable **T**echniques") relative allo specifico settore dell'incenerimento dei rifiuti.

La loro definizione ha come scopo principale di fornire alle autorità preposte gli elementi necessari per valutare compiutamente le richieste di autorizzazione integrata in campo ambientale in ambito IPPC. Al tempo stesso esse possono risultare di aiuto anche agli Operatori essendo sottinteso che di esse occorre tenere in dovuto conto, ove applicabili, in sede di predisposizione della richiesta di autorizzazione.

Le varie tematiche di interesse sono stati sviluppate, per quanto possibile, in modo sequenziale, analizzando le tecniche secondo la sequenza di trattamenti che caratterizzano un impianto di incenerimento di rifiuti.

Le tecniche individuate sono di carattere generale e derivano principalmente dai risultati delle attività svoltesi a livello europeo durante la elaborazione del BRef sull'incenerimento dei rifiuti.

Per semplicità di esposizione si riporterà solo una sintesi delle principali tecniche individuate, rimandando un loro eventuale esame più approfondito in sede di discussione della loro applicabilità al sistema nazionale (capitoli F, H e I).

Va da sé che l'applicazione delle varie tecniche di seguito riportate non può essere generalizzata in quanto a livello di singolo impianto e di specifica realtà locale occorre tenere conto di tutta una serie di fattori (tecnici, economici, ambientali, meteorologici, sociali ecc.) che influenzano enormemente la scelta della tecnica applicabile e la sua efficacia.

Analogamente alcune tecniche possono risultare fra di loro incompatibili, anche in modo parziale. Ad esempio tecniche mirate ad un recupero energetico esasperato potrebbero entrare in conflitto con altre tese invece a mitigare gli effetti sull'ambiente, a livello locale, derivabili dal funzionamento dell'impianto.

Dei suddetti fattori si terrà in dovuto conto nella definizione delle BAT applicabili a livello nazionale (capitolo H).

**Tabella E.4.1 Livelli operativi di emissione in atmosfera associati all'applicazione delle BAT (valori espressi in mg/Nm<sub>3</sub>, se non indicato diversamente)**

Composto	Camp. discontinuo	Medie semiorarie	Medie giornaliere	Commenti
Polveri totali		1 – 20 (vedi sv2)	1 - 5	Di norma l'impiego di filtri a maniche consente di ottenere i valori più bassi di questo intervallo. Un efficace manutenzione dei sistemi di controllo è molto importante. I consumi energetici aumentano all'aumentare delle prestazioni richieste. Il controllo delle polveri contribuisce a ridurre anche le emissioni di metalli
Acido cloridrico (HCl)		1-50	1-8	Il controllo dei rifiuti, la miscelazione ed il rimescolamento possono ridurre le fluttuazioni di concentrazione di inquinanti nei fumi grezzi che possono dare luogo a picchi di emissioni I sistemi ad umido presentano di norma la migliore capacità di assorbimento e permettono di conseguire i livelli di emissione più bassi in assoluto, ma sono anche i più costosi. Vedere la tabella E.4.2 per quanto riguarda i criteri di selezione dei sistemi di trattamento dei fumi, inclusi gli impatti secondari indotti
Acido fluoridrico (HF)		< 2 (vedi sv2)	< 1	
Ossidi di zolfo (SO <sub>2</sub> )		1 – 150 (vedi sv2)	1 – 40 (vedi sv2)	
Ossidi di azoto (NO) e biossidi di azoto (NO <sub>2</sub> ) espressi come biossido di azoto in impianti con sistemi SCR		40 – 300 (vedi sv2)	40 – 100 (vedi sv2)	Le tecniche di combustione e trattamento fumi accoppiate con sistemi SCR consentono il funzionamento all'interno dei campi riportati. L'impiego di sistemi SCR implica consumi energetici e costi superiori. In generale l'incremento del costo unitario di trattamento è meno significativo nel caso di impianti di taglia elevata. Contenuti elevati di N <sub>2</sub> nei rifiuti comportano incrementi delle concentrazioni di NO <sub>x</sub> nei fumi grezzi
Ossidi di azoto (NO) e biossidi di azoto (NO <sub>2</sub> ) espressi come biossido di azoto in impianti con sistemi SNCR		30 – 350	120 – 180	Le tecniche di combustione e trattamento fumi accoppiate con sistemi SNCR consentono il funzionamento all'interno dei campi riportati. Per valori inferiori della media su 24 h è richiesto l'impiego di SCR, ameno che le concentrazioni di NO <sub>x</sub> in ingresso siano basse. Con alti dosaggi di reagente nel SNCR lo slip di NH <sub>3</sub> può essere controllato tramite sistemi ad umido che richiedono adeguati trattamenti per le acque ammoniacali di scarico. (vedi anche nota 8 per gli impianti di piccola taglia) Contenuti elevati di N <sub>2</sub> nei rifiuti comportano incrementi delle concentrazioni di NO <sub>x</sub> nei fumi grezzi
Gas e vapori di sostanze organiche, espressi come TOC		1 – 20	1 – 10	Tecniche finalizzate a migliorare le condizioni di combustione riducono le emissioni di tali sostanze. Le concentrazioni in emissione non sono di norma influenzate significativamente dai sistemi di trattamento fumi. I livelli di CO possono risultare superiori in fase di avviamento e fermata e nel caso di nuove caldaie che non hanno raggiunto livelli di sporcamento di regime.
Monossido di carbonio (CO)		5 - 100	5 - 30	
Mercurio e suoi composti, (come Hg)	< 0,05 (vedi sv2)	0,001 – 0,03	0,001 – 0,02	Adsorbimento tramite carboni attivi è richiesto per il conseguimento di tali livelli di emissione con gran parte dei rifiuti, poiché Hg metallico è di più difficile controllo rispetto ad Hg ionico. Le tecniche e le prestazioni di rimozione dipendono da quantità e distribuzione del Hg nei rifiuti. Alcuni rifiuti presentano concentrazioni molto variabili di Hg, tali da richiedere il pretrattamento in modo da prevenire sovraccarichi di picco sui sistemi di trattamento fumi.
Cadmio e Tallio totali e loro composti (espressi come metalli)	0,005– 0,05 (vedi sv2)			Vedi i commenti per Hg. A causa della minore volatilità di tali metalli rispetto ad Hg le tecniche di riduzione delle polveri e degli altri metalli sono più efficaci nel controllo di tali composti rispetto ad Hg.
Σ altri metalli	0,005– 0,5			Le tecniche di rimozione delle polveri sono efficaci anche nei confronti dei metalli
Diossine e furani (ng TEQ/Nm <sup>3</sup> )	0,01– 0,1 (vedi sv2)			Le tecniche di combustione distruggono PCDD/F presenti nei rifiuti. Progettazione adeguata e controllo della temperatura riducono la sintesi de-novo. Ulteriori tecniche di riduzione prevedono l'impiego di carboni attivi per conseguire livelli di emissione nell'intervallo riportato. Dosaggi superiori di adsorbenti possono favorire il conseguimento di livelli di emissione inferiori a 0,001 ng TEQ/Nm <sup>3</sup> , ma danno luogo ad incremento dei consumi e della produzione di residui.

<b>Sostanze non disciplinate dalla Direttiva 2000/76/CE sull'incenerimento dei rifiuti</b>				
Ammoniaca (NH <sub>3</sub> )	< 10	1 - 10	< 10 (vedi sv1)	Un controllo efficace dei sistemi di riduzione degli NO <sub>x</sub> , compreso il sistema di dosaggio, può ridurre i livelli di emissione di NH <sub>3</sub> I sistemi ad umido rimuovono l'NH <sub>3</sub> e la trasferiscono nelle acque di scarico.
Benz(a)pyrene	Per queste sostanze non sono disponibili dati consolidati per fissare una BAT per i livelli di emissione. Tuttavia i dati disponibili indicano che i loro livelli di emissione sono di norma bassi. PCB, IPA, e benz(a)pyrene possono essere controllati con le stesse tecniche dei PCDD/F. I livelli di N <sub>2</sub> O derivano dalle tecniche di combustione e dal livello di ottimizzazione del sistema SNCR a base di urea (nel caso sia impiegato)			Le tecniche di controllo dei PCDD/F riducono anche PCB, IPA, e benz(a)pyrene
PCB				
IPA				
Protossido di azoto (N <sub>2</sub> O)				Il mantenimento di condizioni di combustione fortemente ossidative ed il controllo dei sistemi di rimozione dei NO <sub>x</sub> contribuiscono a ridurre le emissioni di N <sub>2</sub> O. I livelli maggiori si riscontrano in caso di letti fluidi operanti a basse temperature ( < 900° C )
<b>NOTE:</b>				
<ol style="list-style-type: none"> <li>Gli intervalli di BATAOEL riportati in questa tabella sono livelli di prestazioni operative attese che possono risultare dall' adozione di BAT- essi non sono livelli di emissione vincolanti dal punto di vista normativo (ELV)</li> <li>Σ altri metalli = somma di Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V e loro composti espressi come metalli</li> <li>Le misure discontinue sono mediate su un periodo di campionamento fra trenta minuti e otto ore. I periodi di campionamento sono in genere dell'ordine di 4- 8 ore per queste misure.</li> <li>I dati sono standardizzati a 11% ossigeno, gas secchi, 273 K, e 101,3 kPa</li> <li>Diossine e furani sono calcolate utilizzando i fattori di equivalenza come da direttiva 2000/76/CE</li> <li>Nel confronto dei valori prestazionali con questi intervalli, occorre in ogni caso tenere in considerazione: i valori di confidenza associati con le determinazioni effettuate; che l'errore relativo di tali determinazioni cresce al decrescere delle concentrazioni misurate rispetto ai livelli più bassi di rilevanza.</li> <li>I dati operativi che supportano i suddetti BATAOEL sono stati ottenuti secondo le attuali norme di buona pratica di monitoraggio che richiedono apparecchiature di misura con scale strumentali 0-3 volte ELV della direttiva sull'incenerimento. Per parametri con livelli di immissione molto bassi combinati con brevi periodi di picco bisogna porre particolare attenzione alla scala strumentale. Ad esempio variando la scala strumentale per la misura del CO da 3 volte ELV della direttiva a un valore superiore di dieci volte, è stato rilevato in alcuni casi l'incremento dei valori rilevati della misurazione per un fattore di 2-3. Ciò deve essere considerato quando si interpreta questa tabella.</li> <li>Sono state riscontrate in alcuni casi difficoltà tecniche nella ristrutturazione di sistemi SNCR in impianti di incenerimento di RU di piccola taglia. I vantaggi economici (es. la riduzione di NO<sub>x</sub> per unità di costo) di sistemi di rimozione di NO<sub>x</sub> (es. SNCR) è minore per piccoli impianti (&lt;6 t/h di rifiuti)</li> </ol>				
<b>ALTRI PUNTI DI VISTA (SPLIT VIEW)</b>				
<p><b>SV1:</b> Sulla base delle loro conoscenze sulle prestazioni di impianti esistenti alcuni Stati Membri e ONG ambientaliste hanno espresso un proprio parere riguardo alla media delle 24 h dell'NH<sub>3</sub>, affermando che i livelli di emissioni dovrebbero essere &lt; 5 mg/Nm<sup>3</sup> (invece di 10 mg/Nm<sup>3</sup>).</p> <p><b>SV2:</b> Alcuni SM e ONG ambientaliste hanno espresso pareri diversi riguardo alle BATAOEL sopra riportate. Questi pareri si fondavano sulle conoscenze delle prestazioni di un certo numero di impianti esistenti e della loro interpretazione dei dati fornita al TWG ed anche di quello riportato nel capitolo 3 del Bref. Le conclusioni finali della riunione del TWG</p> <p>Sono gli intervalli riportati in tabella, ma le eseguenti opinioni sono riportate: polveri totali media semi-oraria 1-10 mg/Nm<sup>3</sup>; NO<sub>x</sub> (come NO<sub>2</sub>) in caso di SCR media semioraria 30-200 mg/Nm<sup>3</sup> e media 24 h 30-100 mg/Nm<sup>3</sup>; Hg e suoi composti (come Hg) discontinuo 0,001-0,03 mg/Nm<sup>3</sup>; Cd+Tl totali discontinuo 0,005-0,03 mg/Nm<sup>3</sup>; Diossine e furani discontinuo 0,01-0,05 TEQ ng/Nm<sup>3</sup>. In base alle stesse considerazioni ONG ambientaliste hanno espresso questi pareri: HF media semioraria &lt; 1 mg/Nm<sup>3</sup>; SO<sub>2</sub> media semioraria 1-50 mg/Nm<sup>3</sup> e media su 24 h 1-25 mg/Nm<sup>3</sup>.</p> <p>Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration – July 2005"</p>				



**Tabella E.4.2 – Analisi comparativa dei criteri di selezione delle diverse tecniche di rimozione degli inquinanti acidi dai fumi**

Critero	Ad umido (W)	Semi umido (SW)	A secco calce (DL)	A secco bicarbonato (DS)	Commenti
Emissioni gassose	+	0	-	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>rispetto HCl, HF, NH<sub>3</sub> &amp; SO<sub>2</sub> i sistemi ad umido offrono i più bassi livelli di emissioni gassose</li> <li>qualsiasi sistema è di norma combinato con sistemi di depolverazione e rimozione diossine</li> <li>sistemi DL possono conseguire stessi livelli di emissioni di DS &amp; SW, ma con consumi di reagenti e relativa produzione di residui superiori.</li> </ul>
Produzione di residui	+	0	-	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>la produzione unitaria di residui è superiore nel caso di sistemi DL rispetto ai W, con concentrazioni di inquinanti superiori in questo ultimo caso.</li> </ul>
Consumi d'acqua	-	0	+	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>i consumi d'acqua sono superiori nel caso di sistemi W</li> <li>i sistemi a secco presentano consumi d'acqua pressoché nulli</li> </ul>
Produzione di reflui	-	+	+	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>gli effluenti prodotti (se non evaporati) dai sistemi W richiedono un trattamento prima dello scarico. Ciò può costituire uno svantaggio qualora le soluzioni possano essere scaricate agevolmente (zone costiere)</li> <li>la rimozione di ammoniaca dagli effluenti può costituire un problema</li> </ul>
Consumi energetici	-	0	0	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>consumi energetici superiori nel caso di sistemi W a causa della presenza di pompe, ancora incrementati nel caso, non infrequente, di accoppiamento con altri sistemi (es. depolverazione)</li> </ul>
Consumo di reagenti	+	0	-	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>di norma consumi più ridotti con i sistemi W</li> <li>di norma consumi più elevati con i sistemi DL, riducibili tramite ricircolo</li> <li>i sistemi SW, DL &amp; DS beneficiano di un sistema di monitoraggio in continuo dei fumi grezzi</li> </ul>
Adattabilità a variazione inquinanti in ingresso	+	0	-	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>i sistemi W possono fronteggiare ampie variazioni del carico di inquinanti (HCl, HF, SO<sub>2</sub>) in ingresso</li> <li>i sistemi DL sono meno flessibili, inconvenienti in parte superabile tramite il monitoraggio in continuo dei fumi grezzi</li> </ul>
Visibilità pennacchio	-	0	+	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>in assenza di misure specifiche la visibilità del pennacchio è maggiore per i sistemi W</li> <li>i sistemi a secco presentano una ridotta visibilità del pennacchio</li> </ul>
Complessità	- (elevata)	0 (media)	+( assai limitata)	+( assai limitata)	<ul style="list-style-type: none"> <li>benché i sistemi W siano abbastanza semplici, richiedono tuttavia la presenza di sistemi ausiliari per il loro funzionamento, inclusi i sistemi di trattamento delle acque di scarico, ecc..</li> </ul>
Costi investimento	Di norma superiori	Medi	Di norma bassi	Di norma bassi	<ul style="list-style-type: none"> <li>I sistemi W sono gravati da costi aggiuntivi per impianti ausiliari ed accessori, la cui incidenza è particolarmente significativa nel caso di impianti di taglia ridotta.</li> </ul>
Costi operativi	Medi	Di norma bassi	Medi	Di norma bassi	<ul style="list-style-type: none"> <li>i sistemi W presentano costi operativi rilevanti nel caso di impianti di piccola taglia</li> <li>costi di smaltimento superiori nel caso di produzioni di residuo superiori o maggiori consumi di reagente</li> <li>i costi operativi includono costi di materiali di consumo, smaltimento e manutenzione. Essi dipendono in modo significativo dai prezzi locali per i materiali di consumo e smaltimento</li> </ul>
<p>Note: + = l'uso della tecnica presenta di norma un vantaggio rispetto ai criteri di valutazione adottati                      0 = l'uso della tecnica non presenta di norma un vantaggio significativo rispetto ai criteri di valutazione adottati                      - = l'uso della tecnica presenta di norma uno svantaggio rispetto ai criteri di valutazione adottati</p>					

Fonte: "BREF for Waste Incineration – July 2005"

**Tabella E.4.3 – Individuazione delle BAT per l'incenerimento dei rifiuti**

#### **E.4.1 Gestione dei rifiuti in ingresso**

- Conoscenza della composizione del rifiuto ai fini della progettazione di processo
- Mantenimento di condizioni ottimali dell'area di impianto
- Gestione delle caratteristiche dei rifiuti in ingresso
  - Identificazione dei flussi in ingresso e di possibili rischi
  - Comunicazioni con il fornitore dei rifiuti
  - Controlli, campionamenti e determinazione sui rifiuti in ingresso
  - Rilevazione di materiali radioattivi
- Stoccaggio dei rifiuti
  - Adeguati isolamento, protezione e drenaggio dei rifiuti stoccati
  - Minimizzazione della durata dello stoccaggio
  - Aspirazione delle arie esauste dalle aree di stoccaggio
  - Previsione di più linee di trattamento in parallelo
  - Identificazione dei rifiuti
  - Adeguati sistemi di sicurezza ed antincendio
- Pretrattamento dei rifiuti
  - Triturazione, selezione secco-umido o bioessiccazione dei RU indifferenziati
  - Miscelazione e separazione all'interno della fossa
  - Triturazione di rifiuti ingombranti
  - Triturazione di rifiuti confezionati in fusti o imballati
  - Miscelazione ed equalizzazione dei rifiuti pericolosi
- Movimentazione ed alimentazione dei rifiuti
  - Idoneo posizionamento degli operatori addetti alla movimentazione
  - Disponibilità di spazio per i rifiuti rimossi (es.: ingombranti)
  - Iniezione diretta dei reflui liquidi
  - Minimizzazione di possibili rientri d'aria in fase di alimentazione

#### **E.4.2. Trattamento termico**

- Appropriata selezione della tecnologia di combustione
- Impiego del CFD per migliorare la progettazione delle apparecchiature
- Posizionamento e dimensionamento dell'alimentazione
- Adozione di soluzioni progettuali per aumentare la turbolenza nella zona di postcombustione
- Pretrattamento e miscelazione dei rifiuti
- Funzionamento in continuo anziché in discontinuo
- Impiego di un adeguato sistema di controllo della combustione
- Impiego di camera a infrarossi per il monitoraggio e il controllo della combustione
- Ottimizzazione della distribuzione dell'aria (primaria e secondaria)
- Preriscaldamento aria primaria e secondaria
- Impiego del ricircolo dei fumi in parziale sostituzione dell'aria secondaria
- Impiego di aria arricchita con ossigeno
- Impiego di griglie raffreddate ad acqua
- Combustione ad alta temperatura
- Ottimizzazione del tempo di permanenza e della turbolenza in camera di combustione ai fini di una combustione completa
- Regolazione della portata per il mantenimento di condizione operative ottimali di combustione
- Impiego di bruciatori ausiliari operanti in automatico
- Riciclo del sottogriglia incombusto in camera di combustione
- Protezione delle pareti del combustore con refrattari e impiego di pareti raffreddate ad acqua
- Limitazione delle velocità dei fumi e previsione di zone di calma a monte della convettiva
- Determinazione del potere calorifico dei rifiuti in forma indiretta

### **E.4.3 Recupero energetico**

- ottimizzazione dei livelli di recupero energetico
- Minimizzazione delle perdite di energia
- Incremento dell'efficienza di combustione dei rifiuti (riduzione incombusti)
- Riduzione dell'eccesso d'aria di combustione
- Limitazione delle perdite indesiderate
- Minimizzazione degli autoconsumi
- Accurata selezione del tipo di turbina, idonea al regime di fornitura energetica e dotata di elevata efficienza elettrica
- Incremento delle condizioni operative del vapore e impiego di riporti protettivi sui tubi
- Riduzione pressione operativa del condensatore (aumento grado di vuoto)
- Impiego di sistemi umidi di lavaggio dei fumi a condensazione
- Eventuale uso di pompe calore per massimizzare il recupero di energia termica
- Ottimizzazione della configurazione impiantistica del generatore di vapore
- Impiego di apparecchiature con sistema forno-caldaia integrato
- Efficiente pulizia dei banchi convettivi
- Integrazione del ciclo acqua-vapore con impianti Terzi di produzione di energia elettrica
- Adozione del re-surriscaldamento del vapore
- Impiego di particolari superfici di scambio per il surriscaldatore vapore
- Riduzione della temperatura dei fumi in uscita dalla caldaia
- Stoccaggio dei rifiuti sulla base della richiesta energetica
- Funzionamento in continuo per migliorare l'efficienza

### **E.4.4. Trattamento dei fumi**

- Adeguata individuazione del sistema di trattamento dei fumi, che operi entro i valori di emissione operativi associati alle BAT (vedi Tab. E.4.1)
  - Valutazione dei consumi energetici
  - Ottimizzazione della configurazione e delle sequenze di trattamento
- Rimozione delle polveri
  - Trattamenti preliminari e finali
- Riduzione delle emissioni di gas acidi (vedi Tab E.4.2)
  - Sistemi ad umido
  - Sistemi a semi-secco
  - Sistemi a secco
  - Sistemi multistadio
  - Impiego di reagenti alcalini in fase di combustione
  - Accurata selezione del reagente alcalino
- Riduzione degli ossidi di azoto
  - Processi di riduzione selettiva catalitica (SCR)
  - Processi di riduzione selettiva non catalitica (SNCR)
  - Adeguata selezione del reagente riducente
- Riduzione delle emissioni di PCDD/DF
  - Mantenimento di adeguate condizioni e controllo della combustione
  - Prevenzione della riformazione di PCDD/DF in fase di raffreddamento dei fumi (soluzioni progettuali ed operative)
  - Impiego di processi di riduzione selettiva catalitica (SCR)
  - Impiego di filtri a maniche catalizzati
  - Distruzione termica dei materiali adsorbenti
  - Adsorbimento su carboni attivi (per iniezione nei fumi o su letto fisso)
  - Impiego di materiali carboniosi nel lavaggio ad umido, prevenzione dell' "effetto memoria"
- Riduzione delle emissioni di mercurio
  - Lavaggio in ambiente acido e impiego di additivi specifici
  - Impiego di carboni attivi tramite iniezione nei fumi o su letto fisso
  - Impiego di sistemi di lavaggio ad umido "a condensazione"
- Altre tecniche
  - Impiego di tiosolfato di sodio per la rimozione dello iodio e del bromo

#### **E.4.5. Trattamento delle acque reflue**

- Selezione della tecnologia ottimale di incenerimento
- Impiego di sistemi di trattamento privi di effluenti liquidi
- Massimizzazione del ricircolo delle acque reflue all'interno del trattamento fumi
- Raffreddamento delle acque reflue da lavaggio fumi
- Impiego del blow-down di caldaia come acqua di lavaggio
- Riutilizzo delle acque di laboratorio come reintegro per il lavaggio fumi/spengimento scorie
- Impiego di sistemi di scarico delle scorie a secco
- Riutilizzo del percolato da stoccaggio scorie
- Raccolta separata delle acque meteoriche pulite
- Adeguati sistemi di stoccaggio ed equalizzazione
- Impiego di sistemi di trattamento chimico-fisico
- Impiego di solfuri per la precipitazione dei metalli disciolti
- Impiego di filtrazione su membrane
- Strippaggio di ammoniacale dalle acque da SNCR
- Trattamento separato degli effluenti provenienti dai diversi stadi di lavaggio
- Trattamento biologico anaerobico delle acque reflue
- Evaporazione delle acque reflue all'interno del processo o separata
- Recupero HCl dalle acque effluenti dai sistemi ad umido
- Recupero di gesso dalle acque effluenti dai sistemi ad umido

#### **E.4.6 Gestione dei residui solidi**

- Migliore esaurimento delle scorie ("burnout")
- Separazione delle scorie dai residui da trattamento fumi
- Separazione delle particelle solide (polveri) dai sali di reazione del trattamento fumi
- Rimozione dei materiali metallici, ferrosi e non, dalle scorie di combustione
- Riutilizzo delle scorie, dopo maturazione
- Trattamento delle scorie con sistemi a secco e ad umido
- Trattamenti termici delle scorie
- Incremento della temperatura operativa e impiego di aria arricchita
- Funzionamento a temperature operative elevate ("a scorie fuse")
- Trattamento dei residui da trattamento dei fumi
  - Solidificazione in cemento
  - Incapsulamento in bitume
  - Vetrificazione e fusione
  - Estrazione acida
  - Stabilizzazione con  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$
  - Recupero dei sali sodici (nel caso di impiego di bicarbonato)

#### **E.4.7 Rumore**

- Sistemi di scarico e pretrattamento al chiuso
- Impiego di materiali fonoassorbenti
- Impiego di sistemi di coibentazione
- Impiego di silenziatori su valvole di sicurezza, aspirazioni e scarichi di correnti gassose

#### **E.4.8 Strumenti di gestione ambientale**

- Certificazioni UNI EN ISO 14001
- Registrazione EMAS

#### **E.4.9 Comunicazione e consapevolezza dell'opinione pubblica**

- Comunicazioni periodiche a mezzo stampa locale e distribuzione di materiale informativo
- Organizzazione di eventi di informazione/discussione con autorità e cittadini
- Apertura degli impianti al pubblico
- Disponibilità dei dati di monitoraggio in continuo all'ingresso impianto e/o su Internet

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

### **F.1 Analisi delle possibili BAT**

#### **F.1.1 Gestione dei materiali in ingresso ed in uscita**

##### **F.1.1.1 Analisi preliminari**

Per una corretta applicazione delle tecnologie a disposizione, si rivela fondamentale la conoscenza del materiale da incenerire: la tipologia e la frequenza delle analisi merceologiche e chimico-fisiche sono funzione del tipo di rifiuto da trattare che può andare dai RU tal quali, a rifiuti pre-trattati, fino a rifiuto pericolosi e ai fanghi residui di depurazione delle acque. L'individuazione di eventuali elementi radioattivi nel rifiuto conferito è altrettanto importante e viene solitamente effettuata tramite l'installazione di opportuni sistemi di monitoraggio all'ingresso in impianto.

##### **F.1.1.2 Sistemi di stoccaggio**

Nel caso materiali non pericolosi i rifiuti sono scaricati nella fossa di stoccaggio; a seconda della tipologia del rifiuto sono previsti stoccaggi diversificati (ad es. per rifiuti ospedalieri o per fanghi) ed una sezione di triturazione nel caso venissero conferiti rifiuti ingombranti o imballati.

La fossa dei rifiuti deve essere costruita con materiali e tecniche tali da garantirne una perfetta tenuta e deve inoltre essere dotata di un sistema di drenaggio del percolato. Particolare importanza riveste il sistema antincendio di questa sezione.

La fossa di stoccaggio deve essere mantenuta in depressione onde evitare l'uscita di odori e di polveri in atmosfera; l'aria prelevata viene utilizzata come aria di combustione. Un sistema di trattamento dell'aria alternativo può essere richiesto nel caso di fermo totale dell'impianto.

La filosofia generale prevede la minimizzazione del tempo di permanenza dei rifiuti (specie se biodegradabili), compatibilmente con le necessità di gestione dell'installazione impiantistica.

##### **F.1.1.3 Pretrattamenti**

Sistemi di pretrattamento possono essere previsti per rifiuti solidi eterogenei a monte del trattamento termico; è possibile attuare una miscelazione meccanica nella fossa di stoccaggio tramite movimentazione con benna oppure utilizzare diverse tipologie di trituratori; in tal modo si ottiene una omogeneizzazione del materiale, risultante in una miglior combustione e in valori di emissione più stabili.

Per rifiuti speciali e pericolosi può essere previsto uno specifico sistema di miscelazione ("blending") al fine di ottenere una composizione "mediata" che ammortizzi possibili picchi di concentrazione di alcuni inquinanti e garantisca migliori condizioni di combustione.

##### **F.1.1.4 Sistema di alimentazione**

Le postazioni di controllo del sistema di alimentazione dei rifiuti devono essere posizionate in modo tale da consentire all'operatore la perfetta visibilità della fossa e delle tramogge di alimentazione, eventualmente coadiuvato dall'utilizzo di appositi monitor. Rifiuti liquidi e

gassosi sono alimentati direttamente al combustore in camera di combustione o di post-combustione, assicurando il tempo di permanenza necessario.

Onde evitare infiltrazioni di aria, sono da prevedere sistemi di tenuta per l'alimentazione dei rifiuti sulle tramogge di carico con serrande a battente, l'iniezione per pompaggio diretto di rifiuti liquidi e pastosi, nonché l'alimentazione tramite coclee a tenuta per i fanghi.

### F.1.2 Trattamento termico – tecnologie di combustione

Il trattamento termico (combustione) deve essere appropriato alla tipologia del materiale da trattare; la scelta della tecnica di combustione ottimale deve tenere conto di:

- caratteristiche chimico-fisiche del combustibile (composizione, dimensione media) e sua variabilità nel tempo;
- caratteristiche termiche (potere calorifico, umidità);
- quantitativi di rifiuti da trattare;
- obiettivi di qualità e composizione desiderati per le scorie;
- limiti di emissione e sistemi di depurazione fumi selezionati.

Tale scelta è, inoltre, influenzata dalla comprovata affidabilità della tecnologia e dalla capacità di gestione dell'operatore, oltre che dal budget a disposizione.

Le apparecchiature principalmente impiegate sono:

- Combustori a griglia mobile (vedi punto D.2 e punto E.2.2.4) ;
- Combustori a letto fluido (vedi punto D.2 e punto E.2.3.1);
- Combustori a tamburo rotante (vedi punto D.2 e E.2.4.3).

Per tutte le tipologie di combustori è fondamentale il design della camera di combustione e di post-combustione al fine di evitare ristagni di fumi in zone a temperature tali da causare una più elevata formazione di inquinanti quali NO<sub>x</sub> e PCDD/PCDF.

Lo studio computerizzato della dinamica dei fluidi (CFD – Computerised Fluid Dynamics) è una tecnica di progettazione di comprovata validità per tale scopo che consente di definire la migliore geometria e l'ottimale posizionamento delle soffianti dell'aria secondaria, minimizzandone il flusso; nel caso di impianti dotati di sistemi SNCR o SCR, l'applicazione della CFD è utile per ottimizzare i punti di iniezione del reagente – al fine di migliorare l'efficienza di abbattimento degli NO<sub>x</sub> minimizzando al contempo la generazione di ammoniaca, N<sub>2</sub>O ed il consumo di reagente.

Uno dei più importanti parametri di controllo è la turbolenza del fluido, ottenibile con diverse tecniche quali camere a vortice, deviatori di flusso o tortuosità nel cammino dei fumi, riducendo in tal modo anche il contenuto di ceneri volanti trasportate dai fumi stessi e il rischio di sporcamento (“*fouling*”) dei fasci tubieri di caldaia.

Per un accurato ed ottimale controllo delle emissioni è importante adottare una strategia operativa che minimizzi i transitori di avviamento e di fermata riducendo in tal modo anche gli stress termici ai quali vengono sottoposte le apparecchiature di combustione e di recupero energetico e, in definitiva, i costi di manutenzione. Sotto questo punto di vista assume rilevanza ancora maggiore l'affidabilità e la disponibilità di impianto.

Particolare importanza rivestono i sistemi di controllo del processo associati agli inceneritori, in virtù del fatto che devono essere in grado di far fronte a variazioni di notevole entità nella composizione del combustibile/rifiuto rispetto agli impianti a combustibile tradizionale (fossile).

La filosofia di controllo può includere diversi tipi di informazioni di processo tra cui: la temperatura del letto di combustione nelle varie sezioni (anche attraverso controllo ottico infrarosso), lo spessore dello strato di rifiuto in combustione, le temperature dei fumi in diverse posizioni, misure quantitative dei prodotti della combustione e dell'ossigeno in diverse sezioni, dati sulla produzione del vapore.

Gli interventi per il controllo riguardano principalmente la distribuzione e la temperatura dell'aria primaria e secondaria e i dispositivi di alimentazione e di movimentazione dei rifiuti/combustibile nella camera di combustione.

L'utilizzo di sofisticati sistemi di controllo porta a notevoli benefici quali: miglior qualità delle scorie (minor tenore di incombusti), minor produzione di ceneri volanti, minor produzione di gas incombusti come CO e  $C_xH_y$  (minori *punti freddi*), minore produzione di  $NO_x$  (minori *punti caldi*), minore produzione di precursori delle diossine, miglior efficienza, minimizzazione dei flussi d'aria di processo e quindi del flusso di fumi prodotti, migliori condizioni operative per la caldaia e per la linea fumi in virtù della maggiore omogeneità di temperatura e composizione dei fumi. Tutto ciò con conseguenze positive anche sulla disponibilità di impianto e sulla sua affidabilità.

Il preriscaldamento dell'aria primaria o anche secondaria ad opera di uno scambio termico con i fumi esausti o con il vapore incrementa l'efficienza di combustione e, quindi, quella di tutto il processo; esso si rende necessario in modo particolare quando si ha a che fare con un combustibile "povero" (cioè con basso PCI) e con un contenuto di umidità elevato, tale da richiedere un maggiore essiccamento prima della combustione vera e propria.

Per ottenere un'adeguata omogeneità dei fumi di combustione ed un buon esaurimento ("burn-out") delle specie volatili è necessaria una certa quantità di aria secondaria; tuttavia un flusso troppo elevato riduce l'efficienza dell'impianto e implica un maggiore dimensionamento della sezione di trattamento fumi.

Per ovviare a tale inconveniente, si può ricorrere al ricircolo parziale in camera di post-combustione dei fumi uscenti dalla depurazione, in modo tale da diminuire la portata globale dei fumi e da controllare in modo più efficace la formazione di  $NO_x$  risparmiando contemporaneamente sul reagente dei sistemi De $NO_x$ .

Ai fini della riduzione delle portate in gioco e di un conseguimento di condizioni ottimali di combustione sono state anche proposte soluzioni alternative che prevedono l'impiego di aria arricchita con ossigeno (vedi punto G.2.1).

### **F.1.3 Scambio termico e recupero energetico**

#### **a) Generatore di vapore**

In genere il recupero termico ha inizio direttamente all'interno della camera di combustione.

Infatti quest'ultima è costituita da pareti a tubi d'acqua dotate di membrane che fanno parte del circuito di generazione del vapore. Esse sono rese refrattarie per mezzo di rivestimento speciale al fine di evitare la formazione e il deposito di scorie fuse.

L'utilizzo di tale tecnica permette di scambiare calore ad alta temperatura per radiazione e, contemporaneamente, di non far fluire i fumi attraverso i fasci tubieri della zona a convezione prima che raggiungano una temperatura di 650°C circa, riducendo i problemi di corrosione e di fouling delle ceneri volanti fuse. Per le parti più calde dei passi a radiazione si ricorre talvolta a rivestimenti in metalli speciali (Inconel).

Le caldaie possono essere progettate con un numero variabile di passi radianti e con un ultimo passo convettivo dotato di evaporatori, surriscaldatori ed economizzatori.

L'utilizzo di surriscaldatori tipo *platten* permette di ottenere una maggiore stabilità delle condizioni del vapore. Attemperatori sono previsti per il controllo della temperatura dei fumi. I fasci tubieri sono dotati di sistemi di pulizia a soffiatori o a percussori.

All'interno del primo canale sono installati i bruciatori ausiliari necessari alle fasi transitorie di avviamento e spegnimento o in caso di rifiuti a basso PCI.

Con le più moderne caldaie (ed in funzione delle caratteristiche del rifiuto/combustibile alimentato) si riesce ad ottenere vapore surriscaldato fino a oltre 500°C e 60 bar.

Lo studio dell'architettura della caldaia è necessario per ottimizzarne l'efficienza; una buona

caldaia è caratterizzata da velocità dei gas contenute ed omogenee, distanza appropriata tra i tubi e loro geometria aerodinamica.

#### **b) Ciclo termico:**

Il vapore prodotto, a seconda della tipologia di impianto, può essere sfruttato per diversi scopi:

- sfruttamento in un ciclo Rankine per la produzione di energia elettrica attraverso l'espansione in un turbogruppo;
- scambio termico con un circuito ad acqua per la fornitura di calore ad un'utenza esterna (es. teleriscaldamento);
- fornitura diretta del vapore ad un'utenza industriale.

Può essere inoltre prevista la produzione contemporanea di calore ed energia elettrica (CHP - Combined Heat & Power).

Il ciclo termico è solitamente di tipo rigenerativo con turbina a condensazione e spillamento o a contropressione se in presenza di un'importante utenza termica.

Il condensatore può essere ad aria o ad acqua a seconda della disponibilità di corsi superficiali; quello ad acqua consente gradi di vuoto maggiori e quindi è possibile conseguire efficienze di recupero superiori.

E' possibile prevedere uno scambiatore acqua alimento/fumi esausti nel caso si riveli vantaggioso recuperare ulteriore calore dai fumi in uscita dalla caldaia (in funzione anche della tipologia di trattamento fumi prescelta).

Parte del vapore spillato può servire a riscaldare i fumi in uscita dalla depurazione nel caso siano troppo freddi per lo stadio DeNO<sub>x</sub> SCR posto a fine trattamento fumi ("tail-end") o per o per il post-riscaldamento finale prima dello scarico in atmosfera.

Per incrementare l'entalpia del vapore surriscaldato, e quindi l'energia prodotta, è possibile progettare speciali configurazioni del ciclo termico con impianti di produzione di energia esterni, quali centrali a ciclo combinato gas-vapore o centrali a carbone.

Allo stesso fine è possibile sfruttare la tecnica del ri-surriscaldamento per mezzo di bruciatori dopo l'espansione del vapore in un primo stadio di turbina.

### **F.1.4 Trattamento dei fumi**

#### **F.1.4.1 Rimozione di polveri e di inquinanti acidi**

Diverse sono le tecniche utilizzabili per la depurazione dei fumi in uscita dalla caldaia; sono tutte rivolte a mantenere il tenore delle specie inquinanti nei fumi sotto il valore limite di emissione; esse si possono distinguere a seconda del processo impiegato:

- trattamenti ad umido;
- trattamenti a semi-secco;
- trattamenti a secco.

Tutte le tre tecniche (o loro combinazioni) possono essere considerate BAT, in funzione delle caratteristiche del rifiuto trattato, della configurazione e dimensioni dell'impianto e delle specifiche condizioni locali, come già discusso al punto D.3 e al punto E.2.9.2. E' utile fare riferimento alla tabella E.4.2.

##### ***F.1.4.1.1 Analisi comparativa delle tecniche di riduzione dell'inquinamento***

###### **F.1.4.1.1.1 Abbattimento polveri**

Per l'abbattimento delle polveri le caratteristiche dei sistemi di abbattimento delle polveri maggiormente impiegati sono riportati nella tabella F.1.1.



**Tabella F.1.1 – Tecniche di abbattimento delle polveri**

APPARECCHIATURA	VANTAGGI	SVANTAGGI
<b>Elettrofiltro</b>	Costi di gestione ridotti Costi di investimento accettabili (per installazioni di elevata capacità)	Prestazioni funzione del tenore di polveri nei fumi Costi di investimento non accettabili per ridotte capacità Sovradosaggio di reattivi nel caso di iniezione a secco Presenza di pezzi soggetti ad usura: costi di gestione elevati
<b>Filtro a Maniche</b>	Costi di investimento inferiori per piccole e medie capacità Prestazioni molto elevate Compatibile con l'iniezione di reattivi a "secco"	Prestazioni inficiabili da possibile rottura di qualche manica Rischio di infiammabilità e esplosione per presenza di polveri combustibili

Fonte: CITEC [2]

**F.1.4.1.1.2 Sistemi di rimozione dei gas acidi**

Viene di seguito riportata nella tabella F.1.2 un'analisi comparativa tra i principali sistemi di depurazione fumi dai macroinquinanti acidi (HCl, SO<sub>x</sub>, HF). Tutti i processi analizzati hanno in comune l'introduzione di uno o più reattivi in grado di neutralizzare i composti inquinanti presenti nella corrente dei fumi. Resta sottinteso che ognuno di essi è da considerarsi applicato nelle condizioni operative ottimali.

**Tabella F.1.2 – Tecniche di riduzione dei gas acidi**

PROCESSO		VANTAGGI	SVANTAGGI
<b>SECCO</b>	<b>Calce</b>	Realizzazione impiantistica semplice Basso costo di investimento Assenza di effluenti liquidi Manodopera ridotta Facilità di inertizzazione dei residui	Gestione poco flessibile: operazione di iniezione calce delicata; regolazione difficile; basso margine di variazione della temperatura Alto eccesso stechiometrico Bassa reattività per singolo passaggio: necessità di effettuare ricircoli In caso di regolamentazioni più severe, non offre margini di evoluzione Notevole produzione di residui solidi da conferire in discarica (previa inertizzazione)
	<b>Bicarbonato di Sodio</b>	Realizzazione impiantistica e gestione dell'impianto semplici Costi di investimento e di gestione ridotti Manodopera ridotta Assenza di effluenti liquidi Possibilità di recupero dei residui sodici (minore richiesta di discarica) Ampio campo di temperature operative	Apprezzabile consumo di reattivo (anche se si utilizza un debole eccesso in confronto allo stechiometrico: $K \approx 1,2$ ) Costo del reattivo elevato (anche se l'insieme delle voci del costo di gestione risulta ridotto)  Residui solidi più solubili: in assenza di valorizzazione, la stabilizzazione diventa più difficile (se si usano leganti idraulici tradizionali)

<b>SEMI-SECCO</b>	Costi di investimento limitati (intermedi tra il processo a secco e quello ad umido)  Assenza di effluenti liquidi	Consumo di acqua  Produzione significativa di residui (anche se inferiore ai processi a secco) Consumo significativo di reagente (anche se inferiore ai processi a secco); possibilità di ricircolo Gestione delicata dovuta alla fase di preparazione del reagente
<b>UMIDO</b>	Basso consumo di reattivi (soda)  Bassa produzione di residui solidi e residui separati (ceneri volanti – torta, ecc.) Lisciviazione dei metalli pesanti contenuti nella torta minimizzata Possibilità di evoluzione facile (basta aggiungere una seconda torre) Grande flessibilità di funzionamento	Necessità di un trattamento acque Grande produzione di effluenti liquidi  Costi di investimento elevati (legati al trattamento delle acque)  Notevoli consumi di acqua e di elettricità  Manodopera supplementare in rapporto agli altri processi (sorveglianza e mantenimento della catena di condizionamento degli effluenti)

Fonte: CITEC [2], modificata dal GTR

#### F.1.4.2 Riduzione degli ossidi di azoto

Per il controllo della formazione degli  $\text{NO}_x$  durante la combustione è di importanza rilevante l'adozione di misure cosiddette *primarie*, cioè finalizzate a prevenire la formazione degli ossidi di azoto agendo su parametri quali la distribuzione dell'aria, la fluidodinamica in camera di post-combustione, il ricircolo di fumi depurati o l'utilizzo di aria arricchita in ossigeno e di *low- $\text{NO}_x$  burners*.

Queste misure non sono sufficienti a garantire i limiti di emissione, per cui si ricorre all'utilizzo di misure *secondarie* in grado di far reagire chimicamente gli ossidi di azoto. Esistono due tecniche di riduzione secondaria (vedi anche punti D.3.3 e E.2.9.3):

- la riduzione di tipo catalitico (SCR, Selective Catalytic Reduction);
- la riduzione di tipo termico (SNCR, Selective Non Catalytic Reduction).

La prima è la più efficiente e garantisce il minor utilizzo di reagente ( $\text{NH}_3$ ); viene normalmente applicata a valle della depurazione dei fumi per non rovinare il catalizzatore che è costituito da una serie di piastre ad elevata superficie di  $\text{V}_2\text{O}_5$  e  $\text{WO}_3$  su supporto di  $\text{TiO}_2$ . La reazione di ossido-riduzione tra gli ossidi di azoto e l'ammoniaca avviene, su questo catalizzatore, ad una temperatura compresa nell'intervallo 250-400°C. Questo impone di riscaldare i fumi a valle dalla depurazione alcalina, i quali si trovano ad una temperatura di circa 70°C se uscenti da un sistema a scrubber ad umido, o variabile tra i 120°C e i 180°C se derivanti da un sistema a secco o semi-secco.

Il riscaldamento può avvenire con bruciatori dedicati o con vapore spillato dalla turbina, spesso è previsto un recupero di calore sui fumi diretti a camino. Inevitabile risulta una diretta ricaduta sui costi e sull'efficienza dell'intero processo.

Un grande vantaggio del De $\text{NO}_x$  SCR deriva dal fatto che è stato ampiamente dimostrato come tale processo tecnologico sia in grado di abbattere e distruggere anche le molecole di PCDD/PCDF, garantendo emissioni di gran lunga al di sotto dei limiti imposti.

Temperature non ottimali di funzionamento possono comportare effetti deleteri: temperature troppo basse non sono sufficienti alla conduzione della reazione, facendo risultare un elevato *slip* di ammoniaca; se troppo alte si rischia la sinterizzazione del catalizzatore e l'ossidazione totale dell'ammoniaca.

Il catalizzatore ha, comunque, una vita utile limitata e i parametri di processo sono da controllare il modo molto accurato.

Il processo SNCR si basa sulla stessa ossido-riduzione degli ossidi di azoto con ammoniaca o urea, ma la reazione viene attivata termicamente, quindi senza la presenza di un catalizzatore. Si lavora, dunque, a temperature più elevate sebbene con efficienze minori e con maggior consumo di reagente. L'iniezione del reagente avviene direttamente in caldaia nella finestra ottimale di temperatura (850-1050 °C); a temperature più basse o per tempi di residenza non sufficienti si ha il rischio di non completare la reazione e di avere *slip* di reagente; a temperature più alte si rischia l'ossidazione totale del reagente.

Un eccesso di reagente può garantire un buon abbattimento di NO<sub>x</sub> a fronte di un elevato *slip* di ammoniaca, con conseguente possibile presenza di NH<sub>3</sub> ed odori nelle ceneri leggere e della formazione di N<sub>2</sub>O (gas con effetto serra).

### **F.1.5 Trattamento delle acque di processo**

Una condizione importante per un buon controllo degli inquinanti nelle acque di processo è, in primis, riconducibile all'ottenimento di condizioni ottimali di combustione, tali da ridurre al minimo il tenore di incombusti nei fumi e quindi di inquinanti organici che migrano nei fumi e finiscono negli effluenti liquidi dagli scrubbers.

Gli impianti dotati di sistemi di trattamento fumi a secco o a semi-secco sono praticamente senza scarichi ("*effluent-free*"), in quanto l'acqua utilizzata per il trattamento viene tutta evaporata e scaricata con i fumi; non necessitano quindi di un apposito sistema di trattamento delle acque.

I sistemi ad umido, invece, danno luogo ad effluenti acquosi che necessitano di un trattamento o che possono essere riciclati al processo ed evaporati, riducendo, così, il consumo di acqua agli scrubbers.

Sempre ai fini di ridurre i consumi di acqua si può parzialmente alimentare gli scrubbers con acqua di drenaggio delle caldaie o con talune acque di laboratorio che, in tal modo, vengono trattate.

I reflui degli scrubbers così come le acque di prima pioggia possono essere sfruttate per il raffreddamento delle scorie, mentre le acque meteoriche di seconda pioggia e delle coperture possono essere drenate separatamente per non contribuire ad aumentare il flusso delle acque reflue da trattare.

Si possono distinguere diverse tecniche di trattamento degli effluenti liquidi derivanti dagli scrubbers ad umido:

Trattamenti chimico-fisici, costituiti dalle seguenti fasi: neutralizzazione con reagenti alcalini (solitamente calce); flocculazione degli idrossidi metallici formati, per mezzo dell'utilizzo di adatti agenti flocculanti; precipitazione dei fanghi in apposite vasche di sedimentazione; essiccamento dei fanghi solitamente ottenuto con l'utilizzo di filtropresse; filtrazione dell'effluente liquido con l'utilizzo di filtri a sabbia e/o a carboni attivi.

Nel caso dell'utilizzo della tecnologia SNCR per la denitrificazione dei fumi, l'effluente degli scrubbers risulta carico di ammoniaca che può essere recuperata in una colonna di stripping; il prodotto di testa ricondensato è una soluzione ammoniacale riciclabile al processo SNCR.

Nel caso di trattamento separato delle acque reflue dei diversi stadi del sistema a scrubber umido, è possibile realizzare il recupero del gesso (solfato di calcio); quest'ultimo è il prodotto di reazione del SO<sub>2</sub>, che viene trattato nel secondo stadio tramite l'effluente neutralizzato uscente dal primo stadio dopo flocculazione e precipitazione dei metalli.

Alternativamente, quando sussiste un elevato tenore di solfati nelle acque reflue è possibile adottare una tecnica che prevede il loro trattamento biologico anaerobico per mezzo dell'azione di appositi batteri. I solfati vengono trasformati in solfuri e successivamente in

zolfo grazie al trattamento in un secondo reattore aerobico. Lo zolfo separato per decantazione può essere riutilizzato, mentre il refluo rimanente può essere riciclato agli scrubbers.

In presenza di un elevato tenore di cloro, è anche possibile prevedere uno stadio di assorbimento con acqua dell'acido cloridrico presente nei fumi in una colonna a corpi di riempimento.

Evaporazione sulla linea di processo del FGT che prevede il riciclo delle acque reflue nel processo di trattamento fumi. La configurazione della linea fumi è costituita, in questo caso, da uno spray-drier (o da una torre di condizionamento) con eventuale neutralizzazione per mezzo di reagente alcalino, seguito da filtrazione dei residui (usualmente con filtro a maniche) e successivo scrubber, le cui acque reflue vengono riciclate e riutilizzate allo spray-dryer. In tal modo avviene l'evaporazione dell'acqua che segue il flusso dei fumi, mentre gli inquinanti vengono scaricati in forma solida.

Evaporazione separata, tramite l'evaporazione dell'acqua contenuta nel refluo dello scrubber per riscaldamento tramite una linea vapore a bassa pressione in un sistema di scambiatori. L'acqua ricondensata è direttamente scaricabile.

Impiego di membrane, (tramite le tecniche dell'ultra-filtrazione e dell'osmosi inversa) può essere adottata in alternativa, sebbene implichi maggiori consumi energetici.

### **F.1.6 Trattamento dei residui solidi**

La possibilità di riutilizzo o di riciclaggio dei residui solidi è determinata fondamentalmente dalle loro caratteristiche in termini di contenuto di sostanze organiche e di lisciviabilità di metalli e sali.

Per ottenere residui solidi con le migliori caratteristiche sono innanzitutto applicate tecniche di controllo diretto sul processo di combustione al fine di agevolare un completo burn-out delle sostanze organiche ed ottenere quindi un bassissimo contenuto di incombusti nelle scorie e nelle ceneri.

L'ottimizzazione della combustione può essere ottenuta in diversi modi, utilizzando griglie mobili in grado di movimentare il letto di combustione in modo adeguato, letti fluidi (solo per taluni rifiuti) o combustori a tamburo rotante; incrementando il tempo di residenza nell'ultima sezione (*ash burn-out zone*); ottimizzando la distribuzione dell'aria primaria e, ove necessario, fornendo combustibile ausiliario a supporto della combustione.

Il livello di incombusti è comunque funzione delle caratteristiche dei rifiuti e risulta minore per i rifiuti pretrattati o omogenei.

Tecniche di trattamento a valle della raccolta delle scorie e delle ceneri possono essere utilizzate per ottenere residui con caratteristiche migliori. La gestione di scorie e ceneri volanti dovrebbe avvenire separatamente, in modo da evitare la contaminazione delle scorie ed agevolarne un eventuale recupero.

Tali tecniche si possono suddividere in funzione della tipologia di residuo solido da trattare:

**Scorie (bottom ashes):** i processi utilizzati per trattare le scorie di combustione si possono dividere principalmente in sistemi a secco, ad umido e processi termici.

I primi constano solitamente di una separazione dei metalli ferrosi (utilizzando un magnete) e non ferrosi (utilizzando un separatore a correnti indotte) destinati al recupero, a valle della quale si attua la maturazione ("ageing") del materiale.

Esso consiste nello stoccaggio delle scorie per un periodo compreso tra 6 e 12 settimane in ambiente coperto; l'assorbimento di CO<sub>2</sub> dall'atmosfera abbassa il pH e diminuisce la lisciviabilità dei metalli residui; il materiale ottenuto può essere utilizzato come materiale da costruzione alternativo.

I processi ad umido prevedono un lavaggio delle scorie che permette di separare la frazione

più fine (fino a 2 mm) che è anche quella con più elevato tenore di metalli lisciviabili. L'eluato è riciclabile all'impianto come acqua di processo.

I processi termici consistono nella vetrificazione delle scorie per riscaldamento ad alta temperatura (fino a 2000°C); temperature maggiori sono raggiungibili con sistemi al plasma (vedi punto G.2.2). Tale sistema inertizza completamente le scorie a scapito di un consumo energetico molto elevato.

**Ceneri volanti (*fly ashes*) e residui dal trattamento fumi:** sia le ceneri volanti che i residui del trattamento fumi, costituiti dai sali di reazione e dalle polveri raccolte a valle del sistema di trattamento dei fumi, possono subire diversi destini:

- trattamento di stabilizzazione/solidificazione in matrice di cemento (il più diffuso), nel quale i residui reagiscono con acqua, cemento e opportuni additivi formando idrossidi insolubili che vanno a fare parte della matrice cementizia finale. I metalli, legati chimicamente, sono sottratti al dilavamento;
- trattamento di incapsulamento in sostanze bituminose, che impedisce il possibile contatto con l'acqua e quindi la lisciviazione degli inquinanti.

I prodotti finali di entrambi i trattamenti sono destinati a discarica.

Un'alternativa è rappresentata dalla vetrificazione per riscaldamento ad alta temperatura, processo analogo a quello utilizzabile per le scorie, ma con la necessità dell'aggiunta di additivi vetrificanti. Con tale trattamento molecole organiche pericolose come le diossine sono completamente distrutte.

I residui sodici derivanti da neutralizzazione con bicarbonato di sodio possono essere trattati in modo da recuperarli sottoforma di salamoia riutilizzabile. In tal modo è possibile ridurre il conferimento in discarica alla sola parte non recuperabile (indicativamente il 5-10% del totale).

## **F.2 Condizioni operative e prestazioni**

Nella tabella F.2.1 che segue vengono riportate le condizioni operative e le prestazioni ambientali tipiche conseguibili in un moderno impianto di incenerimento, in funzione delle principali apparecchiature di combustione impiegate, nonché dei sistemi di trattamento maggiormente in uso.

Anche se rappresentativi di valori medi caratteristici della realtà nazionale, i dati riportati sono da considerarsi indicativi. Sensibili scostamenti possono verificarsi in caso di adozione di specifiche tipologie altamente inquinati e/o di particolari condizioni progettuali ed operative dell'impianto.

Per quanto riguarda i livelli di emissioni conseguibili si rimanda a quanto riportato nella tabella H.4.1.

**Tabella F.2.1 - Campo di prestazioni per gli impianti di incenerimento**

Parametro	u.m.	Dati caratteristici		
<b>Dati generali impianto</b>		<b>RU / CDR</b>		<b>Altre tipologie di rifiuti</b>
Quantità rifiuti trattati	t/a	47.000-940.000		6.000-160.000
Potenzialità impianto	t/g	150-3000		20-500
Capacità termica impianto	MW	15-300		4-100
Produzione scorie,	kg/t di rifiuto	200		50-100
Produzione ceneri	kg/t di rifiuto	50-100		100-150
<b>Apparecchiatura di combustione</b>		<b>Griglia</b>	<b>Tamburo rotante</b>	<b>Letto fluido</b>
Rifiuti trattabili (primari)		RU, CDR	RS, RSS, RP, RI	CDR, RS, fanghi
(secondari)		Fanghi, sanitari	RU, fanghi, CDR	RI
Flessibilità (su capacità carico di progetto)	%	60-100	60-100	60-100
Carico termico specifico,	kW/m <sup>2</sup>	800-1200	1000-1500 (sez.)	1200-1800
Carico termico volumetrico,	kW/m <sup>3</sup>	150-300	100-200	150-300
Carico di massa specifico,	kg/m <sup>2</sup> /h	200-400	200-400	200-400
Temperatura operativa,	°C	850-1250	850-1400	850-950
Camera di post-combustione separata (CPC)		No	Si	No
Tempo di permanenza fumi (inclusa CPC)	s	> 2	> 2	> 2
Eccessi d'aria	%	50-100	80-150	40-70
Tenore di O <sub>2</sub> nei fumi umidi	%	6-9	8-14	5-8
Portata fumi,	Nm <sup>3</sup> /h/t rif.	5-8	7-10	4-7
Ricircolo fumi	%	0-20	n.a.	0-20
Tenore di incombusti nelle scorie,	% s.s.	1-3	1-3	0,5-1,5
Rendimento termico combustore/caldaia,	%	75-85	65-75	75-85
Capacità termica max per linea	MW	120	30	90
Temperatura fumi uscita generatore	°C	180-220	250-300	180-220
<b>Ciclo termico</b>		<b>Griglia (RU/CDR)</b>	<b>Tamburo rotante (RS/RP)</b>	<b>Letto fluido (CDR/RS)</b>
Tipo generatore di vapore		Integrata, passi radianti+passo convettivo orizz./vert.	Integrata, passi radianti+passo convettivo orizz.	Integrata, passi radianti+passo convettivo vert.
Capacità termica	MW	15-300	4-80	12-240

Pressione operativa	bar	40-80	10-40	35-60
Temperatura operativa	°C	360-500	200-385	320-450
Produzione specifica vapore	t/t rifiuto	3,5-4	4-5	4-5
Rendimento termico generatore di vapore	%	80-90	70-80	80-90
Rendimento elettrico lordo <sup>(1)</sup>	%	18-32	14-20	20-28
Rendimento elettrico netto <sup>(1)</sup>	%	14-27	10-16	16-24
Autoconsumi elettrici sulla potenza prodotta <sup>(2)</sup>	%	12-20	20-28	14-18 <sup>(3)</sup>

(1) Impianti di nuova generazione, in funzione della taglia

(2) In funzione della configurazione e della taglia dell'impianto

(3) Esclusi i pretrattamenti dei rifiuti

<b>Sistema Trattamento Fumi, tipo:</b>		<b>A secco</b>		<b>A semisecco</b>	<b>Ad umido</b>
Tipologia		CT (o ECO+ CaOH <sub>2</sub> +CA)	NaHCO <sub>3</sub> + CA	CaOH <sub>2</sub> (sol.)+CA	Soluzione NaOH+CA
Temperatura operativa in/out	°C	200-140	300/300-140	200-140	200-120 (RH).)
Consumi specifici di reagenti	kg/t rifiuto	15-25	10-15	15-25	n.d. <sup>(5)</sup>
Produzione residui solidi, <sup>(4)</sup>	kg/t rifiuto	40-60	8-12 <sup>(6)</sup>	40-60	n.d. <sup>(5)</sup>
Produzione reflui liquidi,	m <sup>3</sup> /t rifiuto	--	--	--	n.d. <sup>(5)</sup>
Efficienze di abbattimento	%	(7)	(7)	(7)	(7)

(4) A monte del trattamento di stabilizzazione

(5) Non sono stati resi disponibili dati di dettaglio sulla situazione nazionale

(6) I valori riportati sono relativi alla sola produzione di sali sodici raccolti, di norma, separatamente dalle ceneri leggere tramite un sistema di doppia filtrazione. Essi costituiscono, mediamente, il 30-40% dei residui solidi totali da trattamento dei fumi a secco.

(7) E' funzione della tipologia di inquinante e delle relativa concentrazione in ingresso

Legenda

CT = Torre di condizionamento

ECO = economizzatore esterno al generatore di vapore

RH = riscaldamento finale dei fumi

SOL = in soluzione e/o sospensione

CA = impiego di carboni attivi

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

### **G.1 Processi e tecnologie alternativi**

Nel presente capitolo verranno presi in esame alcuni processi e tecnologie che si stanno affacciando sul mercato del trattamento termico dei rifiuti, proposte come soluzioni alternative alla loro combustione diretta di tipo convenzionale.

Esse sono state sviluppate a livello di impianto pilota o dimostrativo, anche se per alcune di esse, quali la gassificazione e la pirolisi; sono da qualche anno operativi esempi di installazioni industriali.

Seppur con diversi livelli di sviluppo, ai fini della definizione di BAT si può sicuramente affermare che esse non hanno ancora fornito tutti gli elementi (di carattere tecnico, ambientale ed economico) necessari per una loro corretta ed esaustiva valutazione (vedi punto K.1).

Esse potranno costituire in un futuro più o meno prossimo una valida alternativa all'incenerimento tradizionale, per lo meno per il trattamento di specifiche tipologie di rifiuti. Ciò non toglie che la loro applicazione non possa essere sin d'ora presa in considerazione, se non altro ai fini di una verifica della ricettività del mercato nei loro confronti, nonché dell'acquisizione di una serie di dati significativi, attraverso i quali effettuare una realistica valutazione della loro applicabilità come BAT.

#### **G.1.1 Gassificazione**

Il processo di gassificazione consiste nella conversione di un materiale solido o liquido in un gas combustibile, ottenuta tramite un'ossidazione parziale condotta sotto l'azione del calore. Al contrario della combustione, nella quale l'ossidazione viene condotta con un eccesso di comburente rispetto al valore stechiometrico, la gassificazione viene condotta con quantitativi di agente ossidante (normalmente aria, ma anche aria arricchita con ossigeno o addirittura ossigeno puro) inferiore a quello stechiometrico.

I prodotti derivati della gassificazione dei rifiuti sono costituiti essenzialmente da:

- una corrente gassosa (gas derivato o "syngas"), costituente il prodotto principale, che può contenere frazione condensabili ("TAR") a temperatura ambiente;
- un residuo solido costituito dagli inerti e dalla frazione organica non convertita ("char").

Per materiali a matrice organica, che includono una grande varietà di rifiuti, il gas prodotto consiste in una miscela di ossido di carbonio, anidride carbonica, idrogeno, metano, acqua, azoto, con quantità minori (in dipendenza dalle condizioni operative) di idrocarburi più pesanti.

Esso presenta un potere calorifico inferiore piuttosto ridotto, che è funzione delle caratteristiche del materiale trattato e delle condizioni operative del processo, in genere compreso tra 4 e 10 MJ/Nm<sup>3</sup> (il gas naturale ha mediamente un potere calorifico di circa 35 MJ/Nm<sup>3</sup>) nel caso di gassificazione con aria<sup>5</sup>; nel caso di impiego di ossigeno si ha la produzione di un vero e proprio gas di sintesi con poteri calorifici maggiori ed in genere compresi fra 10 e 17MJ/Nm<sup>3</sup>. Tale gas può essere impiegato come combustibile in un generatore di vapore ovvero come carburante per motori a combustione interna o per turbine a gas.

---

<sup>5</sup> La gassificazione con aria risulta di più larga applicazione essenzialmente perché più economica; il PCI del gas prodotto risulta piuttosto basso a causa dell'elevato contenuto di azoto che può raggiungere anche il 60% in volume.

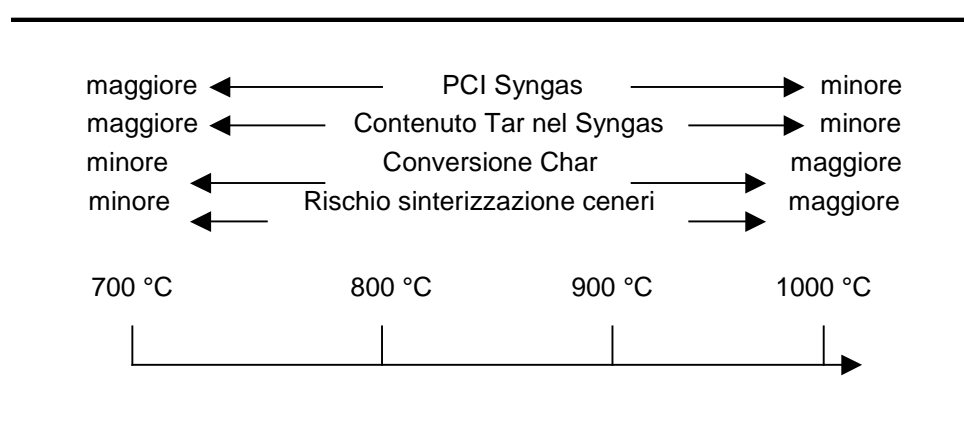


Nella maggior parte dei casi il gas prodotto dalla gassificazione di rifiuti contiene composti condensabili e particelle solide, che debbono essere rimosse prima del suo successivo impiego. Il contenuto di tali composti dipende, oltre che dal rifiuto, soprattutto dalle condizioni operative di gassificazione.

Nel processo di gassificazione il calore necessario al processo viene fornito, in toto o parzialmente, dalle reazioni di ossidazione parziale che riducono le esigenze di apporti di calore dall'esterno<sup>6</sup>. La temperatura e la sua distribuzione all'interno del reattore influenzano le caratteristiche del gas ottenuto e la ripartizione percentuale fra i vari prodotti ottenibili, come riportato qualitativamente nella figura G.1.1

Anche se il processo può essere condotto in un ampio campo di temperature, di norma la formazione del gas ha luogo a temperature dell'ordine dei 750 °C o superiori. La temperatura operativa risulta di norma compresa fra 800-1100 °C nella gassificazione con aria e tra 1000-1400 °C in caso di impiego di ossigeno.

**Figura G.1.1 - Influenza della temperatura sulle caratteristiche dei prodotti**



Fonte: ENEA [6]

Attualmente i migliori risultati nell'applicazione del processo di gassificazione sono stati ottenuti su rifiuti aventi caratteristiche piuttosto omogenee. Per questo nel caso di RU si preferisce applicarla ad un combustibile derivato (CDR) ovvero ad un rifiuto che ha subito un processo di pretrattamento, ad esempio attraverso una pirolisi.

Per l'applicazione industriale dei processi di gassificazione (e pirolisi) dei rifiuti sono state proposte differenti configurazioni impiantistiche, anche molto diversificate fra loro, che possono essere raggruppate secondo i seguenti parametri:

- la tipologia dell'apparecchiatura di conversione;
- le condizioni operative adottate nel ciclo completo di produzione ed utilizzo del gas derivato e di eventuali altri sottoprodotti.

Riguardo alle tipologie di apparecchiature adottate è possibile, in linea generale, raggruppare le apparecchiature impiegate nelle seguenti tipologie, riferibili sia alla gassificazione sia alla pirolisi:

- reattori a letto fisso;
- reattori a letto fluido;

<sup>6</sup> La gassificazione è un processo globalmente esotermico e, come tale non necessita di apporto di calore dall'esterno; tuttavia tra le varie reazioni che avvengono, alcune sono di tipo endotermico.

- reattori a letto mobile;
- reattori di tipo particolare.

Per quanto riguarda specificatamente la gassificazione, con riferimento alle diverse tipologie di apparecchiature precedentemente individuate, vengono riportati sinteticamente nella tabella G.1.1 i vari tipi di configurazione attualmente messi a punto per la realizzazione del contatto solido-gas.

Ciascuna tipologia presenta vantaggi e svantaggi e va selezionata in funzione delle caratteristiche del materiale da trattare e di quelle desiderate per il gas derivato. In generale la differenza sostanziale risiede nei differenti tempi di residenza (dell'ordine delle ore nei gassificatori statici, dei minuti in quelli a letto fluido ed anche inferiore in particolari tipologie di apparecchiature) e nella velocità di riscaldamento, variabile da alcuni °C/s (letto fisso) a  $10^2$ - $10^3$  °C/s (letti fluidi ed altre specifiche tipologie di reattori).

**Tabella G.1.1 - Tipologie di reattori di gassificazione**

Tipo di Reattore	Modalità di Contatto
<b>Letto Fisso:</b> "Downdraft" "Updraft" Equicorrente Contro corrente Correnti incrociate Varianti	Il solido ed il gas si muovono verso il basso, in equicorrente. Il solido si muove verso il basso e il gas si muove verso l'alto, in controcorrente. Il solido e il gas si muovono nella stessa direzione, ad es. come nel caso "downdraft" oppure entrambi verso l'alto. Il solido e il gas si muovono in direzioni opposte (ad es. come nel caso "updraft" ma i flussi delle correnti possono anche essere invertiti). Il solido si muove verso il basso, il gas si muove perpendicolarmente, cioè con moto orizzontale. Letto mescolato, gassificazione in due stadi.
<b>Letto Fluido:</b> Bollente Circolante Trascinato Reattori accoppiati	Velocità gas relativamente bassa, il solido inerte resta all'interno del reattore. Il solido inerte viene trascinato con la corrente gassosa, separato e ricircolato. Presenta elevate velocità della fase gassosa più leggera, può essere realizzato in un reattore di tipo ciclonico. La pirolisi (e/o la gassificazione con vapore) avviene nel 1° reattore, il char prodotto viene trasferito nel 2° reattore, dove è combusto per riscaldare l'elemento fluidificante la ricircolazione. Come combustore viene di norma impiegato un letto bollente.
<b>Letto Mobile:</b> Varianti	Il solido è trasportato meccanicamente di norma orizzontalmente. Esso è tipicamente usato per processi a bassa temperatura quali la pirolisi. Piani multipli, letto mobile orizzontale, piani inclinati, cilindro con coclea.
<b>Altro:</b> Tamburo Rotante Reattori di tipo ciclonico o "Vortex"	Garantisce un buon contatto gas-solido, tramite la rotazione. Sfruttano i fenomeni di attrito e abrasione derivanti dall'alta velocità delle particelle per conseguire elevate velocità di reazione.

Fonte: ENEA [6]

Nella Tabella G.1.2 vengono invece riassunti i principali vantaggi e svantaggi dei gassificatori maggiormente impiegati per il trattamento termico di rifiuti.

Per la gassificazione sono stati sperimentati sistemi con aria o con ossigeno (o anche con aria arricchita di ossigeno), operanti sia a pressione atmosferica sia in pressione. L'impiego di ossigeno (o di aria arricchita) porta come conseguenza a portate inferiori di gas, con migliori poteri calorifici, ma necessita di costi aggiuntivi per il suo approvvigionamento e può dare luogo a problematiche di gestione supplementari legate a questioni di sicurezza.

**Tabella G.1.2 - Vantaggi/svantaggi dei vari tipi di gassificatori**

Gassificatore	Vantaggi	Svantaggi
"Downdraft"	Alta conversione del carbonio. Bassa produzione di catrame (tar). Limitato trascinarsi di ceneri. Elevato tempo di residenza dei solidi. Semplicità costruttiva.	Bassa capacità specifica. Necessità di pezzatura uniforme in ingresso. Formazione di scorie sulla griglia. Richiede materiali piuttosto secchi. Limitata flessibilità di carico.
"Updraft"	Alta efficienza termica. Può trattare materiali di differente pezzatura. Può trattare materiali molto umidi (fino al 50%). Non esistono problemi di "scale-up".	Alto contenuto di tar nel syngas. Contenuto energetico del tar >20%. Basse produzioni di H <sub>2</sub> e CO. Richiede un successivo trattamento di cracking del tar.
Letto Fluido Bollente	Mescolamento e contatto gas-solido elevati. Elevati carichi termici specifici. Buon controllo della temperatura. Può trattare materiali con caratteristiche variabili. Buona flessibilità di carico. Semplicità di avvio e fermata.	Perdita di carbonio con le ceneri. Necessità di pretrattamento dell'alimentazione. Limitazioni sulla taglia.
Letto trascinato	Bassissime produzioni di tar. Basso contenuto di CH <sub>4</sub> nel syngas. Elevate conversioni.	Possibile di fusione delle ceneri. Perdita di carbonio con le ceneri. Richiede la riduzione della pezzatura e la preparazione dell'alimentazione (slurrying). Mediocre contatto gas-solido. Necessità di materiali particolari. Funzionamento in pressione. Problemi di sicurezza.

Fonte: ENEA [6]

L'utilizzo di sistemi in pressione consentirebbe, in linea di principio, l'alimentazione diretta del gas prodotto in una turbina a gas. Questa soluzione risulta essere particolarmente interessante per la possibilità di ottenere elevati rendimenti di conversione in energia elettrica anche tramite l'eventuale accoppiamento con cicli convenzionali a vapore basati sul recupero del calore dei fumi di scarico della turbina.

Allo stato attuale, tuttavia, le già citate non eccellenti caratteristiche qualitative del gas

ottenuto rendono necessari trattamenti preventivi di depurazione che determinano consistenti riduzioni sia di temperatura, sia di pressione, attenuando di molto i vantaggi applicativi di tali soluzioni. A questo riguardo, di sicuro interesse appaiono, in prospettiva, le possibilità legate allo sviluppo di sistemi di depurazione ad alta temperatura e di conversione del TAR tramite cracking termico o catalitico. In pratica i sistemi attualmente proposti prevedono, nella maggioranza dei casi, l'adozione di tecnologie a pressione atmosferica.

### **G.1.2 Pirolisi**

Il processo di pirolisi consiste nella degradazione termica di un materiale, condotta in totale assenza di agente ossidante. In pratica essa consiste in una sorta di estremizzazione del processo di gassificazione, anche se l'eliminazione completa dell'ossigeno risulta alquanto difficoltosa da ottenere (si pensi anche al fatto che molti rifiuti contengono quantità rilevanti di ossigeno) per cui durante la pirolisi si assiste anche all'ossidazione di alcuni composti. Il processo, in quanto tale, è complessivamente endotermico e richiede pertanto apporto di calore dall'esterno, in genere ottenuto attraverso la combustione di parte dei prodotti ottenuti, con particolare riguardo alla frazione gassosa.

Il processo di pirolisi viene, di norma, condotto in un campo di temperature comprese tra 400 e 800 °C. In pratica l'azione del calore su di un rifiuto si esplica attraverso la rottura delle molecole complesse con formazione di composti più leggeri; il risultato del trattamento è quindi la produzione di un gas (gas di pirolisi), di una frazione liquida a temperatura ambiente (olio) e di un residuo solido ancora combustibile (char). In linea generale i prodotti gassosi rappresentano dal 15% al 30% in peso del prodotto iniziale, con un'incidenza percentuale crescente con la temperatura del processo, e sono costituiti essenzialmente da idrogeno, monossido di carbonio, anidride carbonica, idrocarburi leggeri (metano, etano, etilene ed acetilene) ed altri costituenti minori.

Il residuo liquido ottenibile dalla condensazione della fase vapore rappresenta, mediamente, il 50-60% in peso del materiale di partenza; esso contiene notevoli tenori di umidità (sino al 60-80%) ed è costituito da sostanze organiche complesse quali alcoli, chetoni ed idrocarburi condensabili di varia natura.

I residui solidi rappresentano circa il 20-30% in peso del materiale iniziale, ed hanno un potere calorifico mediamente compreso tra 5000 e 6000 kcal/kg: essi sono costituiti da sostanze a base carboniosa, simili ai carboni bituminosi alle basse temperature di pirolisi (400-500°C) ed a quelli di tipo antracitico a temperature più elevate (800-900°C).

I prodotti di pirolisi possono avere diversi impieghi, in funzione del tipo di materiale trattato, anche se per il trattamento di rifiuti l'utilizzo più frequente è l'impiego come combustibile per la produzione di energia. Le caratteristiche dei materiali ottenuti e le loro quantità relative dipendono, oltre che dal tipo di materiale trattato, dalle condizioni operative con le quali viene condotta la pirolisi, in particolare la temperatura ed il tempo di esposizione del materiale a tale trattamento.

Tempi lunghi di esposizione a temperature moderate favoriscono la produzione di char, mentre un'esposizione limitata a temperature medio-alte massimizza la produzione delle frazioni liquide. Ad esempio con tempi di esposizione molto brevi (inferiori a 1 secondo) a temperature dell'ordine dei 500 °C è possibile ottenere una resa in liquidi fino all'80 % della carica; per fare ciò è necessario "congelare" le reazioni e favorire la condensazione delle frazioni gassose formatesi attraverso un brusco raffreddamento (quenching) che consente di evitare la formazione di composti più leggeri che resterebbero allo stato gassoso a temperatura ambiente.

Se lo scopo principale invece è la formazione di un gas, è possibile ottenere un combustibile di buon potere calorifico (di norma compreso fra 3500 e 5000 kcal/Nm<sup>3</sup>), molto più elevato di

quello producibile attraverso la gassificazione; in quest'ultimo processo una parte delle frazioni gassose finiscono per essere ossidate e, qualora sia impiegata aria, si ha la presenza di notevoli quantitativi d'azoto nel gas di sintesi prodotto.

Le diverse condizioni operative attraverso le quali viene condotto il processo di pirolisi vengono principalmente individuate attraverso il tempo di permanenza del materiale nelle condizioni caratteristiche del trattamento.

Ciò consente di classificare tale processo secondo le seguenti categorie:

- "slow pyrolysis" o carbonizzazione, caratterizzata da basse velocità di reazione e temperature limitate (300-500 °C), in modo da massimizzare la resa in prodotti solidi (char);
- pirolisi "convenzionale", in grado di fornire prodotti gassosi, solidi e liquidi, in quantità variabili in funzione soprattutto della temperatura operativa;
- pirolisi "fast" o "flash", finalizzata a massimizzare la produzione di composti leggeri (gassosi o liquidi), suscettibili di ulteriori successivi trattamenti per l'impiego come combustibili o materia prima per l'industria chimica.

Per quanto riguarda le apparecchiature di pirolisi esse sono più o meno le stesse impiegate per la gassificazione (letto fisso, letto mobile, letto fluido tamburo rotante); le esperienze più significative hanno riguardato tuttavia l'impiego del tamburo rotante con riscaldamento indiretto.

### **G.1.3 Le tecnologie basate su processi combinati**

I trattamenti termici di rifiuti basati su un singolo stadio di gassificazione o pirolisi ben si adattano al trattamento di rifiuti piuttosto omogenei quali quelli costituiti da rifiuti agricoli e forestali, che presentano limitate variazioni delle loro caratteristiche chimico-fisiche. In questo caso essi riescono a garantire, oltre alla compatibilità ambientale, anche interessanti risvolti economici in termini di costi di investimento e di esercizio.

Sono state tuttavia sviluppate alcune tecnologie più complesse, che impiegano la combinazione di due o più processi di trattamento termico, in grado di trattare rifiuti (e anche miscele di rifiuti) aventi caratteristiche meno omogenee e variabili nel tempo, quali, ad esempio i RU ed alcune tipologie di rifiuti industriali.

L'adozione di processi combinati può scaturire dall'esigenza di conseguire particolari obiettivi di trattamento, molto spesso legati alla volontà del proponente di accedere a specifici segmenti di mercato ovvero alla necessità di fare fronte a precisi vincoli o prescrizioni, soprattutto di carattere ambientale, che possono essere presenti a livello locale.

Nella tabella G.1.3 sono sinteticamente riportate le possibili combinazioni di processi attualmente proposte.

La combinazione di diversi processi, oltre che da un'esigenza commerciale di "personalizzare" la propria tecnologia, deriva principalmente da differenti obiettivi che si vogliono conseguire, in funzione anche della situazione locale nella quale l'impianto sarà installato.

Così, ad esempio trattamenti che prevedono solo uno stadio secondario di combustione sono finalizzati alla massimizzazione del recupero evitando la necessità di trattare preventivamente il gas prima del suo impiego finale. Processi invece che abbinano la pirolisi e la gassificazione tendono a massimizzare il recupero del gas derivato, che tuttavia necessita di trattamenti di depurazione preventiva prima del suo impiego come combustibile in installazioni di recupero energetico non convenzionali (turbogas, motori alternativi, cicli combinati ad alta efficienza) ovvero come materia prima secondaria per l'industria chimica.

### **Tabella G.1.3 - Tecnologie basate su processi combinati**

Pirolisi + gassificazione
Pirolisi + combustione
Gassificazione + combustione
Pirolisi + gassificazione + combustione
Gassificazione + vetrificazione <sup>7</sup>
Pirolisi + vetrificazione
Gassificazione + combustione + vetrificazione

Trattamenti infine che prevedono uno stadio di vetrificazione dei residui solidi mirano ad ottenere un prodotto stabile, creando le condizioni di un suo potenziale riutilizzo, a scapito della quantità netta di energia elettrica e/o termica potenzialmente recuperabile.

#### **G.1.4 Il recupero energetico tramite gassificazione e pirolisi**

La possibilità di utilizzo energetico dei gas prodotti da processi di pirolisi o gassificazione sono strettamente legate, oltre che al loro contenuto energetico, alla presenza di alcune componenti minori che possono rendere problematico sia il trasporto ad utenze esterne all'impianto sia l'eventuale impiego. Tra queste particolare importanza rivestono le particelle solide trascinate, i gas acidi (HCl H<sub>2</sub>S, acidi organici) ed alcalini (NH<sub>3</sub>) ed il TAR, costituito da un complesso di idrocarburi pesanti condensabili. Quest'ultimo, in particolare, può formare depositi viscosi di sostanze oleose e polveri a seguito del raffreddamento del gas già a temperature intorno ai 250-300°C, con conseguenti problemi di sporco e di intasamento delle superfici e degli organi meccanici.

Il trasporto a distanza del gas o il suo utilizzo in apparati o in cicli di produzione di energia elettrica ad elevato rendimento (motori alternativi, turbine a gas) richiede, di norma, trattamenti di depurazione piuttosto spinti (depolverazione, lavaggi multistadio) che, oltre alle complicazioni di carattere operativo-gestionale, determinano un impoverimento del contenuto energetico del gas, sia in termini di calore sensibile (raffreddamento) che di potere calorifico (rimozione del TAR).

In generale lo sfruttamento energetico del gas prodotto può essere effettuato secondo due alternative:

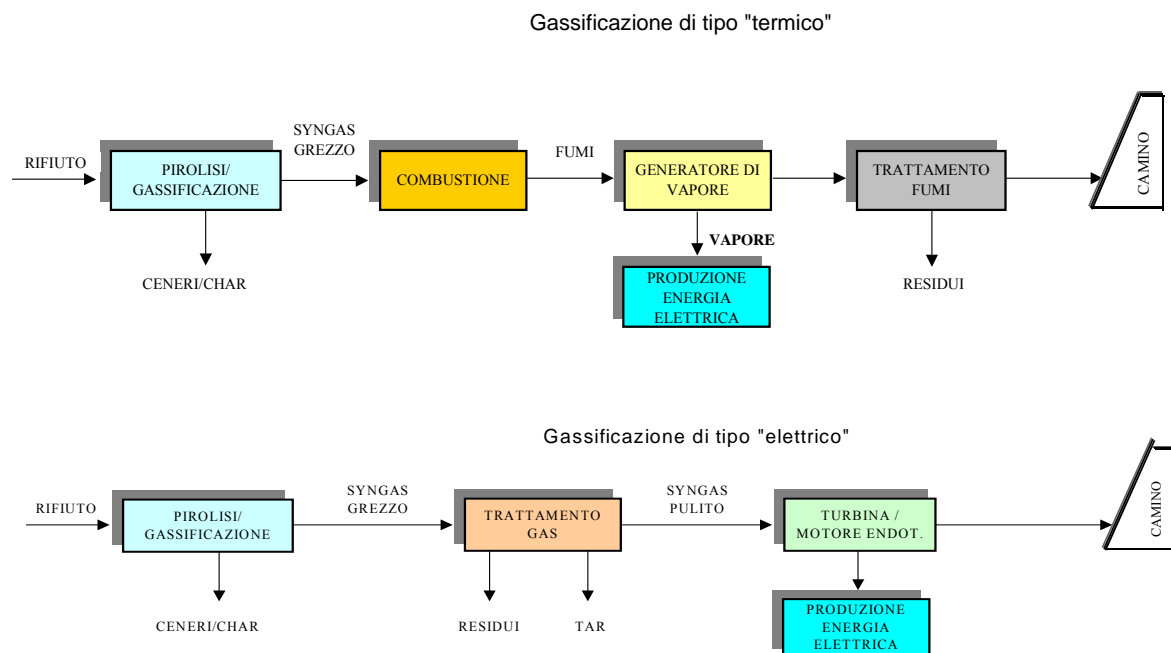
- la combustione diretta del gas così come prodotto oppure dopo trattamenti non particolarmente spinti, in sistemi convenzionali di combustione (es.: caldaia) posti a valle del gassificatore (conversione di tipo "termico");
- l'utilizzo del gas di sintesi in installazioni non costituite da centrali termiche convenzionali (motori alternativi, turbine a gas), previa depurazione spinta (gassificazione di tipo "elettrico").

I relativi schemi di flusso sono riportati in forma sintetica nella figura G.1.2

---

<sup>7</sup> La vetrificazione delle scorie è un processo mirato all'ottenimento di residui solidi allo stato vetroso, in pratica non lisciviabili.

**Figura G.1.2 - Modalità di recupero energetico da pirolisi/gassificazione dei rifiuti**



Fonte: ENEA [6]

Questa soluzione non differisce sostanzialmente dalla combustione convenzionale dei rifiuti. La differenziazione diviene pressoché formale in alcuni casi nei quali non è possibile separare fisicamente la fase di pirolisi/gassificazione da quella di combustione finale del gas derivato, per cui il trattamento viene a configurarsi come un incenerimento in due stadi e come tale, giustamente, sottoposto a tutte le prescrizioni e le normative ad esso applicabili<sup>8</sup>.

Nella gassificazione di tipo "elettrico", invece, risultano ben distinte le due fasi della "produzione del gas derivato" e del suo "impiego in turbina o motore endotermico" per la produzione di energia elettrica, previo trattamento di depurazione spinta.

E' proprio questa soluzione che, allo stato attuale, presenta maggiori potenzialità di sviluppo, in quanto, sulla base di quanto già sperimentato con il carbone ed alcune biomasse, la produzione di un combustibile gassoso destinato ad essere impiegato in una turbina consente l'adozione di cicli combinati per la produzione di energia elettrica.

Dal recupero energetico effettuato sui fumi di scarico della turbina è possibile produrre vapore da destinare alla produzione di energia elettrica tramite espansione in una turbina secondaria. Questa soluzione offre la possibilità di incrementare notevolmente il rendimento di conversione in energia elettrica, con conseguenti benefici di carattere economico ed ambientale.

Un confronto fra le due soluzioni alternative di impiego del syngas prodotto ai fini della produzione di energia è riportato, in forma sintetica, nella tabella G.1.4, nella quale sono evidenziati i rispettivi vantaggi e svantaggi.

<sup>8</sup> E' ovvio tuttavia che i fornitori di tali tecnologie tendano a commercializzare tali impianti come impianti di gassificazione, nel tentativo di eludere proprio la diffusa ostilità da parte dell'opinione pubblica verso l'incenerimento.

**Tabella G.1.4- Vantaggi / Svantaggi delle diverse modalità di combustione del syngas**

<b>Opzione</b>	<b>Vantaggi</b>	<b>Svantaggi</b>
Combustione del syngas "grezzo" (gassificazione di tipo "termico")	Il TAR fornisce PCI addizionale con conseguente incremento dell'energia producibile. Non è necessaria la rimozione del TAR/dal syngas. Non è previsto nessun trasporto o stoccaggio del syngas. Maggiore sicurezza di esercizio.	E' paragonabile all'incenerimento. Maggiori volumi di fumi da trattare, con conseguente incremento dei relativi costi. Costi operativi mediamente superiori. Potenziale maggiore impatto sull'ambiente. Minore accettabilità da parte dell'opinione pubblica. Maggiori dimensioni di impianto. Necessità di controlli più rigorosi sulle emissioni.
Combustione del syngas "pulito" (gassificazione di tipo "elettrico")	Necessità di trattare volumi minori di gas. Costi operativi inferiori. Minori dimensioni dell'impianto. Produzione di un combustibile derivato pulito. Possibilità di ritorni economici dal recupero del TAR. Rischi di sporco e corrosione ridotti nelle apparecchiature di conversione di energia. Migliore accettabilità da parte delle autorità e dell'opinione pubblica. Consente la conversione diretta del syngas prodotto attraverso turbine o motori endotermici	Il trattamento del gas presenta delle difficoltà operative. Maggiori complicazioni impiantistiche. Maggiori rischi in tema di sicurezza e salute.

Fonte: ENEA [6]

Occorre anche rilevare che, da un punto di vista normativo, un gas di sintesi depurato costituisce un vero e proprio prodotto (materia prima seconda) e, quindi, il suo impiego non dovrebbe essere più disciplinato dalla normativa afferente alla gestione dei rifiuti.

## **G.2 Altre tecnologie in fase di sviluppo per applicazioni particolari**

### **G.2.1 Combustione con aria arricchita o ossigeno puro**

Una delle maggiori critiche nei confronti dell'incenerimento è riconducibile all'enorme massa di fumi che si generano dai processi di combustione, legati alla presenza dell'azoto che è il principale costituente (circa 80% in volume) dell'aria impiegata come comburente. Esso non partecipa direttamente al processo, ma la sua presenza comporta il sovradimensionamento delle apparecchiature costituenti il sistema di trattamento dei fumi oltre che a ridurre i livelli di recupero energetico, a causa del contenuto entalpico dei fumi emessi in atmosfera.

Per ovviare a questi inconvenienti sono stati proposti vari processi di incenerimento che impiegano aria arricchita con ossigeno ovvero ossigeno puro come comburente, sviluppati sia al fine di ridurre le dimensioni degli impianti, sia per il trattamento di particolari tipologie di rifiuti.

#### **G.2.1.1 I processi SYNCOM e SYNCOM-PLUS**

Il processo SYNCOM (**SY**Nthetic **CO**Mbustion) è stato messo a punto quale risposta alle



nuove tecnologie di gassificazione, in grado di ridurre la produzione specifica dei fumi per tonnellata di rifiuto e di migliorare sia i livelli di recupero energetico che la qualità dei residui solidi prodotti.

Si tratta di una combustione su griglia che fa uso, per una particolare zona del forno, di aria arricchita con ossigeno. Questo accorgimento consente, oltre a migliori condizioni di combustione, di ridurre la portata di fumi effluenti di circa il 35 %, con conseguenti minori dimensioni e costi del sistema di trattamento di fumi.

Oltre alla variante base è stata sviluppata di recente anche una soluzione alternativa (SYNCOM-PLUS) che prevede la possibilità di trattare le scorie e gran parte delle ceneri leggere (in quantità massima pari a circa il 75% del totale) direttamente all'interno della camera di combustione al fine di ottenere un residuo completamente sinterizzato, con caratteristiche di lisciviabilità molto ridotte.

I dati caratteristici delle due tecnologie sono riportati in forma sintetica nella tabella G.1.5.

**Tabella G.1.5 - Dati caratteristici dei processi Syncom e Syncom-Plus**

Processo	Syncom	Syncom-Plus
Dati caratteristici	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Impiego di aria arricchita con ossigeno</li> <li>✓ Impiego del ricircolo dei fumi</li> <li>✓ Control della combustione assistita con camera IR</li> </ul>	<i>(addizionali):</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Trattamento delle scorie di combustione</li> <li>✓ Ricircolo delle scorie non sinterizzate</li> <li>✓ Ricircolo sensorizzato di quota parte delle ceneri leggere</li> </ul>
Prestazioni (rispetto a griglia tradizionale)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Portata fumi ridotta del 35%</li> <li>✓ Temperatura del letto superiore</li> <li>✓ Riduzione del quantitativo di ceneri leggere</li> </ul>	<i>(addizionali):</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Residui sinterizzati senza ulteriori trattamenti</li> <li>✓ Perdita di agnizione &lt; 0,1%</li> <li>✓ Lisciviabilità dei metalli molto bassa</li> <li>✓ Quantitativi di ceneri ridotte (&lt; 7 kg/t di rifiuto)</li> </ul>
Stato di sviluppo	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tre impianti pilota operativi</li> <li>✓ Impianto industriale in corso di realizzazione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Singoli componenti collaudati industrialmente</li> <li>✓ Un impianto semi-industriale operativo (Yokohama)</li> <li>✓ Un impianto semi-industriale in costruzione (Clausthal)</li> </ul>

Fonte: Gohlke et Al [9]

### G.2.1.2 Il processo DISMO

Il processo DISMO (**DIS**sociazione **MO**lecolare) è basato sul principio di una combustione con aria arricchita (fino al 100% di ossigeno) effettuata sotto pressione (variabile da 2 a 10 bar).

In tale modo è possibile conseguire livelli di temperatura molto elevati, dell'ordine dei 2000-2200 °C, con ridotte portate dei fumi (in conseguenza dell'assenza dell'azoto che costituisce circa l'80% in volume dell'aria di combustione), nonché migliori condizioni di combustione, anche con rifiuti a basso PCI.

I fumi prodotti passano in una seconda camera nella quale subiscono un'espansione semi-adiabatica, in conseguenza della quale si separano la stragrande maggioranza dei metalli (sotto forma di ossidi) e degli inerti presenti nei rifiuti.

La ridotta portata di fumi riduce le dimensioni delle apparecchiature e può portare a semplificazioni nel successivo sistema di trattamento dei fumi, nonché dare luogo a

potenziale maggiore recupero energetico (ove previsto).

Per contro occorre evidenziare che l'impiego di ossigeno puro può risultare gravoso in termini sia energetici che economici, oltre a creare problemi addizionali di sicurezza rispetto agli impianti di combustione di rifiuti di tipo tradizionale.

Le sue caratteristiche lo rendono in particolar modo idoneo al trattamento di un'ampia gamma di rifiuti industriali a matrice organica, anche pericolosi.

Dopo alcune prove su un'unità pilota installata presso l'impianto di incenerimento di RU dell'HERA di Rimini, è stato realizzato un primo impianto su scala industriale con il quale sono state fatte alcune esperienze riguardanti il trattamento di rifiuti vari quali, tra gli altri, vernici, solventi alogenati, fanghi di raffineria, imballaggi plastici contaminati, oli contenenti PCB, pesticidi e farmaci scaduti.

## **G.2.2 Processi all'arco-plasma**

I processi all'arco plasma possono essere considerati a tutti gli effetti dei processi di pirolisi o di piro-gassificazione (se condotto in presenza di ossigeno), nei quali l'energia termica viene fornita tramite una torcia plasma, alimentata da corrente elettrica.

La torcia plasma è un dispositivo attraverso il quale è possibile generare correnti gassose ad elevatissima temperatura (fino a valori dell'ordine dei 10.000 °C).

Per la sua generazione è necessario l'impiego di un'una scarica (tramite un arco elettrico) attraverso un gas, la cui natura influisce poco sulla generazione della scarica stessa, ma può influenzare notevolmente le caratteristiche dei prodotti gassosi ottenuti. L'arco può scoccare tra la torcia ed un bagno fuso ("arco trasferito") o tra due elettrodi posti all'interno della torcia stessa ("arco non trasferito").

Nel passaggio attraverso il gas l'energia elettrica viene convertita in energia termica, assorbita dalle molecole del gas. Queste ultime vengono ridotte ad uno stato atomico ionizzato, perdendo degli elettroni. Quando le molecole o gli atomi abbandonano lo stato energetico eccitato ritornando a livelli di contenuto energetico inferiore, viene emessa energia radiante che è assorbita dal materiale su cui il flusso gassoso insiste.

Questo flusso di energia consente l'innalzamento della temperatura, con conseguente innesco di reazioni di pirolisi e gassificazione che portano alla distruzione del rifiuto, ivi inclusi i composti altamente pericolosi in esso contenuti.

Tale dispositivo ha trovato da decenni applicazioni in vari campi industriali quali ad esempio, il recupero di metalli nel settore metallurgico dalle scorie di trattamento. Vi sono inoltre alcune applicazioni per lo smaltimento di rifiuti speciali e pericolosi (di natura organica ed inorganica).

Di recente si sta proponendo la sua applicazione al recupero energetico di rifiuti, in considerazione del fatto che, in presenza di rifiuti organici, il gas derivato dal trattamento dei rifiuti può presentare caratteristiche interessanti come combustibile alternativo.

Dal punto di vista di principio l'applicazione della torcia plasma può avvenire secondo due diverse modalità:

- Applicazione della torcia direttamente al rifiuto da trattare (in pezzatura adeguata), in linea generale quando è prevalente la funzione di termodistruzione del rifiuto;
- Applicazione della torcia al gas prodotto da un processo di gassificazione posto a monte, quando lo scopo principale è quello di massimizzare la produzione di un gas combustibile ad alto contenuto di componenti leggeri.

Allo stato attuale per il recupero energetico di rifiuti (RU e RS) risulta operativo un unico impianto su scala industriale in Giappone che impiega il processo PDMR della Hitachi Metals che prevede una piro-gassificazione con torcia plasma, cui segue una combustione diretta del gas grezzo prodotto ed il recupero energetico in un ciclo a vapore di tipo convenzionale.

Non si ha invece notizia di impianti industriali che producano un syngas depurato, idoneo all'alimentazione di una turbina a gas per la produzione di energia elettrica.

### **G.2.3 Produzione di correnti gassose ricche in idrogeno**

Il processo di gassificazione dei rifiuti, condotto in opportune condizioni operative, può condurre alla produzione di correnti gassose ricche in idrogeno, dalle quali tale gas può essere eventualmente separato tramite post-trattamenti di arricchimento, già consolidati sotto l'aspetto tecnico-impiantistico, che consentono di avere a disposizione un gas impiegabile sia per la produzione di energia in apparecchiature ad alta efficienza (cicli combinati, celle a combustibile) oppure come materia prima per l'industria chimica e petrolchimica.

Queste tecnologie fanno uso di uno stadio di gassificazione ad alta temperatura (realizzabile, ad esempio, tramite impiego di ossigeno puro come comburente ovvero di tecniche di pirogassificazione che consentono un'accurata somministrazione del calore quali i processi all'arcoplasma) per l'ottenimento di una corrente gassosa ricca in composti leggeri ( $H_2$ , CO e  $CH_4$  in misura minore).

Successivamente viene quasi sempre previsto un secondo stadio di conversione ("shift") che, in opportune condizioni operative e sotto l'azione di opportuni catalizzatori, consente di convertire, tramite la reazione fra CO ed  $H_2O$ , la quasi totalità del CO in  $H_2$ , massimizzandone la produzione (concentrazioni del 50 % ed oltre). La corrente ricca in  $H_2$  potrebbe essere impiegata tal quale, oppure tramite una successiva separazione, ad esempio su setacci molecolari, degli altri gas (essenzialmente  $CO_2$ ), trovare impiego come materia prima per l'industria petrolchimica oppure per la produzione di energia in apparecchiature di conversione ad elevata efficienza (es.: celle a combustibile).

Tale tipo di processo è già sviluppato per la produzione di  $H_2$  da combustibili fossili (carbone, metano, combustibili liquidi). Per il trattamento di rifiuti sono disponibili solo alcune esperienze a livello di impianto pilota.

### **G.3 Trattamento termico di rifiuti integrato in impianti di produzione di energia**

E' stato più volte evidenziato che uno dei limiti della produzione di energia elettrica dall'incenerimento dei rifiuti è costituito dalle condizioni del vapore (pressione, temperatura) piuttosto modeste (rispetto alle centrali termoelettriche convenzionali) che occorre mantenere al fine di limitare i fenomeni di corrosione connessi con l'alta aggressività dei fumi.

Una delle soluzioni proposte di recente consiste nella realizzazione, ove possibile, di impianti di trattamento termico di rifiuti presso centrali termoelettriche esistenti.

In questo modo è possibile ovviare, in parte, alle suddette limitazioni, tramite un'integrazione dei due impianti che può avvenire secondo diverse modalità, tra le quali si citano in modo non esaustivo:

- Produzione di vapore saturo nella caldaia dell'inceneritore e surriscaldamento dello stesso nella caldaia della centrale;
- Impiego dei fumi, parzialmente depurati, da incenerimento rifiuti all'interno del processo di combustione della centrale;
- Impiego dei fumi di combustione dei rifiuti in caldaie a recupero poste a valle di una turbina a gas;
- Produzione di un gas di sintesi tramite gassificazione dei rifiuti e suo impiego come combustibile ausiliario all'interno della centrale termoelettrica.

In tutti questi casi la finalità è comunque quella di incrementare i livelli di rendimento del recupero energetico di rifiuti, riducendo contestualmente i costi unitari del loro trattamento.

## **H) DEFINIZIONE (SULLA BASE DELL'APPROFONDIMENTO E DELL'ESTENSIONE DELLE ANALISI SVOLTE IN SEDE COMUNITARIA) DELLA LISTA DELLE MIGLIORI TECNICHE PER LA PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO DELLO SPECIFICO SETTORE IN ITALIA**

Nel presente capitolo verranno discusse le principali BAT che, sulla base dell'elenco riportato al punto E.4, possono essere ritenute, a livello nazionale, le più idonee per l'applicazione agli impianti di incenerimento di rifiuti soggetti all'autorizzazione integrata ambientale.

Resta inteso che, per ogni specifico argomento trattato, le informazioni di seguito riportate sono integrabili con quelle, di maggior dettaglio, riportate nei capitoli D, E ed F.

### **H.1 Gestione dei rifiuti in ingresso**

#### **H.1.1 Modalità di raccolta**

Il sistema di gestione dei RU deve comprendere una efficace raccolta differenziata che consenta di recuperare le frazioni merceologiche utilmente riciclabili (carta, vetro, plastica, metalli, organico compostabile) e separare le frazioni indesiderate (rifiuti ingombranti, rifiuti pericolosi) ai fini del processo di combustione.

#### **H.1.2 Controllo dei rifiuti in ingresso**

Le procedure di accettazione all'impianto devono garantire che i rifiuti in ingresso siano compatibili con le tipologie di trattamento presenti ed eventualmente prevedere operazioni a monte come raccolta differenziata, selezione e/o pretrattamento.

Deve essere previsto un rivelatore di radioattività in ingresso all'impianto che permetta di individuare materiali radioattivi eventualmente presenti tra i rifiuti.

Inoltre si possono adottare soluzioni specifiche quali, ad esempio:

- evitare flussi di rifiuti contenenti plastiche clorate per meglio controllare le emissioni di HCl;
- omogeneizzare (mescolare, ridurre la pezzatura) i rifiuti per controllare i picchi di emissione;

Occorre inoltre evidenziare che:

- per la ricezione dei rifiuti in ingresso valgono tutte le prescrizioni contenute nell'art.7 del D.Lgs. 133/05, in particolare si evidenzia l'obbligo di acquisire le informazioni relative allo stato fisico, alla composizione chimica dei rifiuti, al Codice dell'Elenco europeo. Vanno, anche, acquisite informazioni sul contenuto di sostanze pericolose che possono, in base alla loro concentrazione, far classificare il rifiuto come pericoloso, sulle sostanze con le quali non possono essere mescolati i rifiuti e sulle precauzioni da adottare nella manipolazione dei rifiuti stessi. I rifiuti accettati dovranno avere caratteristiche conformi a quelle indicate nell'autorizzazione; al riguardo si segnala che l'articolo 4 prevede che, nell'autorizzazione rilasciata dall'autorità competente, vengano specificate nel caso di combustione di rifiuti pericolosi: le quantità ed i poteri calorifici inferiori minimi e massimi delle diverse tipologie di rifiuti pericolosi che possono essere trattate nell'impianto, i loro flussi di massa minimi e massimi, nonché il contenuto massimo di inquinanti quali, ad esempio, PCB/PCT, PCP, cloro totale, fluoro totale, zolfo totale, metalli pesanti. All'atto dell'accettazione dei rifiuti pericolosi dovranno essere prelevati campioni rappresentativi al fine di verificarne, mediante controlli analitici, la conformità a quanto previsto nel documento autorizzativi;
- per effettuare i controlli dovranno essere utilizzate metodologie di campionamento ed

analisi riconosciute in sede internazionale e nazionale e ed approvate da parte degli Enti di controllo. I laboratori utilizzati dovranno operare in regime di qualità secondo le norme della famiglia ISO 9000.

### **H.1.3 Stoccaggio**

Al fine di garantire che le operazioni di stoccaggio non generino rischi in relazione alle caratteristiche chimico-fisiche delle differenti tipologie di rifiuti, devono essere previste aree di stoccaggio distinte, in funzione della tipologia dei rifiuti.

La fase di stoccaggio dei rifiuti grezzi deve seguire una programmazione razionale, tale a garantire la minimizzazione dei tempi di stoccaggio.

Le aree di scarico e di stoccaggio devono essere in locali chiusi e tenuti in leggera depressione; l'aria aspirata deve essere inviata in caldaia come aria di combustione per evitare la diffusione di odori.

Un sistema di trattamento alternativo dell'aria deve essere previsto nel caso di fermo totale dell'impianto.

### **H.1.3 Pretrattamento**

Sistemi di pretrattamento dei rifiuti in ingresso, quali separazione (vagliatura secco/umido, rimozione dei metalli, ecc.) e omogeneizzazione, devono essere previsti se richiesti dalla specifica tecnologia adottata. Normalmente è necessaria la triturazione dei rifiuti ingombranti e dei pneumatici (vedi punto E.2.2.2).

L'operatore deve essere in grado di verificare la presenza di rifiuti incompatibili (es. grossi elettrodomestici) e provvedere ad allontanarli dalla fossa di stoccaggio.

Il pretrattamento più usato è la miscelazione dei rifiuti stoccati nella fossa effettuato con la stessa benna di alimentazione.

Sistemi più complessi di pretrattamento e miscelazione debbono essere previsti per il trattamento di rifiuti pericolosi (vedi punto E.2.3).

## **H.2 Trattamento termico**

### **H.2.1 Forni a griglia**

I forni a griglia realizzano la combustione dei rifiuti (tipicamente i RU) al di sopra di una griglia che per la quasi totalità degli impianti più recenti è del tipo mobile. L'aria necessaria alla combustione viene iniettata sia al di sotto della griglia, in quantitativi circa stechiometrici (aria primaria), che al di sopra della stessa (aria secondaria). L'alimentazione del rifiuto, il movimento della griglia e la distribuzione dell'aria possono essere regolati automaticamente al fine di ottimizzare la combustione.

### **H.2.2 Forni a letto fluido**

I forni a letto fluido sono costituiti da camere verticali con pareti refrattarie all'interno delle quali il rifiuto da incenerire viene mantenuto in sospensione da una corrente d'aria ascendente. Per fornire maggiore inerzia termica al sistema e favorire i processi di scambio termico viene previsto l'impiego di sabbia o altro materiale inerte simile assieme al rifiuto.

Le problematiche legate ai sistemi di alimentazione e scarico hanno limitato la diffusione di tale tipologia di forno per la combustione dei RU.

Il forno a letto fluido è indicato soprattutto per il trattamento di combustibili derivati da

rifiuti (CDR) o di altro rifiuto preventivamente selezionato e ridotto alla pezzatura idonea e dei fanghi di depurazione acque reflue.

### **H.2.3 Forni a tamburo rotante**

I forni a tamburo rotante sono costituiti da un cilindro metallico in rotazione, leggermente inclinato sull'orizzontale (1-3%) per favorire l'avanzamento del materiale. Il tamburo è rivestito all'interno da materiale refrattario per proteggere l'involucro metallico dalla temperatura elevata e dall'aggressione chimica: in alcune applicazioni il tamburo può essere provvisto di rivestimento interno e/o dotato di pareti a tubi d'acqua per la produzione di vapore.

I forni a tamburo rotante, che possono essere alimentati con rifiuti solidi, liquidi, pastosi e fusti, sono utilizzati soprattutto per lo smaltimento dei rifiuti industriali e pericolosi.

### **H.2.4 Altri processi e tecnologie**

Per la combustione diretta di rifiuti possono essere previste altre tipologie di rifiuti per impieghi specifici (vedi paragrafo D.2.6).

Per quanto riguarda le tecnologie basate sui processi di pirolisi e gassificazione (anche in combinazione fra loro) le applicazioni sono limitate a impianti aventi carattere ancora dimostrativo, ancorché in scala industriale o a specifiche ed omogenee tipologie di rifiuti speciali e/o industriali.

Tali tecnologie non hanno ancora raggiunto una maturità tale da poter essere considerate come alternative, in grado di sostituire in toto l'incenerimento.

### **H.2.5 Tecniche per migliorare le prestazioni delle apparecchiature di combustione**

Uso di modelli di calcolo fluidodinamico e di altre tecniche quali descritte al punto F.1.2.

#### **H.2.5.1 Forni a griglia**

Ottimizzazione e distribuzione dell'aria primaria di combustione nei vari settori della griglia. Ottimizzazione e distribuzione dell'aria secondaria per creare turbolenza e migliorare il mescolamento dei fumi e sostituzione dell'aria secondaria con ricircolo di parte dei gas di scarico depurati.

Utilizzo della telecamera a raggi infrarossi per il monitoraggio della combustione e la regolazione della distribuzione dell'aria primaria.

E' in sperimentazione anche l'impiego di aria arricchita di ossigeno che permetterebbe di avere un minor volume di fumi da trattare e scorie con migliori caratteristiche in termini di tenore di incombusti e lisciviabile.

#### **H.2.5.2 Altri tipi di forno**

In aggiunta alle tecniche descritte al punto F.1.2 si possono citare:

##### **a) Forni a tamburo rotante**

- impiego di sistemi recuperativi del calore di combustione che si sviluppa all'interno del tamburo rotante (preriscaldamento dell'aria, installazioni di sistemi di scambio termico, ecc.)
- installazione di apparecchiature di rilevazione per la lettura a distanza della temperatura all'interno del tamburo e/o delle sue pareti;

- ottimizzazione del mix di rifiuti in alimentazione (per impianti polifunzionali).

#### **b) Combustori a letto fluido**

- ottimizzazione della distribuzione dell'aria totale (in funzione della tipologia di rifiuto trattato) tra primaria e secondaria e sua minimizzazione;
- aumento dei punti di alimentazione e della distribuzione dei rifiuti nel letto;
- mantenimento di condizioni di combustione quando più uniformi lungo l'asse longitudinale dell'apparecchiatura.

### **H.3 Recupero energetico**

#### **H.3.1 Generatore di vapore**

Il generatore di vapore è normalmente costituito da:

- sezione di vaporizzazione;
- sezione di surriscaldamento;
- sezione dedicata all'economizzatore.

Il generatore di vapore deve essere provvisto di sistemi per la pulizia dai depositi di cenere sia dei tubi vaporizzanti che dei banchi di surriscaldamento, al pari di tutti i generatori di vapori alimentati con combustibili solidi.

Il generatore di vapore viene alimentato con acqua pressoché priva di sali e ossigeno, per cui dovranno essere previsti un adeguato impianto di demineralizzazione dell'acqua ed un degasatore termico a vapore.

#### **H.3.2 Turbogruppo e circuito vapore**

La sua scelta è funzione della tecnologia di combustione selezionata, delle condizioni operative del vapore e del tipo di recupero energetico che si intende effettuare: solo energia elettrica o produzione combinata di energia elettrica e termica ("co-generazione").

Le potenze tipiche del turbogruppo impiegato in impianti di incenerimento vanno da qualche MW a 50 MW ed oltre.

Anche se di dimensioni inferiori tale sezione è del tutto simile a quella presente in qualsiasi centrale termoelettrica.

#### **H.3.3 Ottimizzazione dei livelli di recupero energetico (vedi anche punto F.1.3)**

##### **H.3.3.1 Combustione e scambio termico**

Riduzione del volume in eccesso di aria, con un buon controllo della distribuzione dell'aria di combustione e del (eventuale) ricircolo dei fumi.

Migliorare il recupero di calore dai fumi riducendone al minimo la temperatura; con economizzatori dotati di opportuni sistemi di pulizia si può scendere fino a 130-140°C. Aumento della temperatura e della pressione del vapore surriscaldato inviato alla turbina (i valori massimi raggiungibili attualmente sono 450°C e 60 bar, i valori più utilizzati sono 400°C e 40 bar) e minimizzazione della pressione nel condensatore per migliorare il rendimento elettrico. Impiego di leghe speciali resistenti alla corrosione ad alta temperatura. Utilizzo di sistemi di pulizia che riducano la presenza e l'accumulo di polveri nella caldaia.

### **H.3.3.2 Impiego dell'energia**

#### ***H.3.3.2.1 Utenze energetiche***

Identificazione ed accurata analisi delle possibilità di utilizzo dell'energia recuperata.

#### ***H.3.3.2.2 Teleclimatizzazione***

Massimizzare, ove possibile, l'impiego dell'energia termica recuperata per usi di teleriscaldamento invernale e condizionamento estivo.

#### ***H.3.3.2.3 Cessione di calore per uso industriale***

La presenza di attività produttive necessitanti di calore (energia termica) per uso tecnologico nelle vicinanze dell'impianto è un fattore importante da prendere in considerazione.

#### ***H.3.3.2.4 Cessione di energia elettrica***

Possibilità di allacciamento elettrico alla rete con caratteristiche idonee. In ogni caso è bene prevedere la consegna dell'energia in alta tensione

## **H.4 Trattamento fumi e controllo emissioni**

### **H.4.1 Emissioni puntiformi in aria**

#### **H.4.1.1 Controllo delle emissioni in atmosfera**

Nelle tabelle H.4.1 e H.4.2 è riportata, in forma schematica, una sintesi delle prestazioni rispettivamente delle principali BAT e delle tecniche/tecnologie finalizzate alla riduzione delle emissioni puntiformi e diffuse in atmosfera da impianti di incenerimento di rifiuti, applicabili a livello nazionale.



**Tabella H.4.1 – Livelli operativi di emissione in atmosfera associati all'applicazione delle BAT (valori espressi in mg/Nm<sub>3</sub>, se non indicato diversamente)**

Composto	Camp. discontinuo	Medie semiorarie	Medie giornaliere	Commenti
Polveri totali		1 – 20 (vedi sv2)	1 - 5	Di norma l'impiego di filtri a maniche consente di ottenere i valori più bassi di questo intervallo. Un efficace manutenzione dei sistemi di controllo è molto importante. I consumi energetici aumentano all'aumentare delle prestazioni richieste. Il controllo delle polveri contribuisce a ridurre anche le emissioni di metalli
Acido cloridrico (HCl)		1-50	1-8	Il controllo dei rifiuti, la miscelazione ed il rimescolamento possono ridurre le fluttuazioni di concentrazione di inquinanti nei fumi grezzi che possono dare luogo a picchi di emissioni I sistemi ad umido presentano di norma la migliore capacità di assorbimento e permettono di conseguire i livelli di emissione più bassi in assoluto, ma sono anche i più costosi. Vedere la tabella E.4.2 per quanto riguarda i criteri di selezione dei sistemi di trattamento dei fumi, inclusi gli impatti secondari indotti
Acido fluoridrico (HF)		< 2 (vedi sv2)	< 1	
Ossidi di zolfo (SO <sub>2</sub> )		1 – 150 (vedi sv2)	1 – 40 (vedi sv2)	
Ossidi di azoto (NO) e biossidi di azoto (NO <sub>2</sub> ) espressi come biossido di azoto in impianti con sistemi SCR		40 – 300 (vedi sv2)	40 – 100 (vedi sv2)	Le tecniche di combustione e trattamento fumi accoppiate con sistemi SCR consentono il funzionamento all'interno dei campi riportati. L'impiego di sistemi SCR implica consumi energetici e costi superiori. In generale l'incremento del costo unitario di trattamento è meno significativo nel caso di impianti di taglia elevata. Contenuti elevati di N <sub>2</sub> nei rifiuti comportano incrementi delle concentrazioni di NO <sub>x</sub> nei fumi grezzi
Ossidi di azoto (NO) e biossidi di azoto (NO <sub>2</sub> ) espressi come biossido di azoto in impianti con sistemi SNCR		30 – 350	120 – 180	Le tecniche di combustione e trattamento fumi accoppiate con sistemi SNCR consentono il funzionamento all'interno dei campi riportati. Per valori inferiori della media su 24 h è richiesto l'impiego di SCR, ameno che le concentrazioni di NO <sub>x</sub> in ingresso siano basse. Con alti dosaggi di reagente nel SNCR lo slip di NH <sub>3</sub> può essere controllato tramite sistemi ad umido che richiedono adeguati trattamenti per le acque ammoniacali di scarico. (vedi anche nota 8 per gli impianti di piccola taglia) Contenuti elevati di N <sub>2</sub> nei rifiuti comportano incrementi delle concentrazioni di NO <sub>x</sub> nei fumi grezzi
Gas e vapori di sostanze organiche, espressi come TOC		1 – 20	1 – 10	Tecniche finalizzate a migliorare le condizioni di combustione riducono le emissioni di tali sostanze. Le concentrazioni in emissione non sono di norma influenzate significativamente dai sistemi di trattamento fumi. I livelli di CO possono risultare superiori in fase di avviamento e fermata e nel caso di nuove caldaie che non hanno raggiunto livelli di sporcamento di regime.
Monossido di carbonio (CO)		5 - 100	5 - 30	
Mercurio e suoi composti, (come Hg)	< 0,05 (vedi sv2)	0,001 – 0,03	0,001 – 0,02	Adsorbimento tramite carboni attivi è richiesto per il conseguimento di tali livelli di emissione con gran parte dei rifiuti, poiché Hg metallico è di più difficile controllo rispetto ad Hg ionico. Le tecniche e le prestazioni di rimozione dipendono da quantità e distribuzione del Hg nei rifiuti. Alcuni rifiuti presentano concentrazioni molto variabili di Hg, tali da richiedere il pretrattamento in modo da prevenire sovraccarichi di picco sui sistemi di trattamento fumi.
Cadmio e Tallio totali e loro composti (espressi come metalli)	0,005– 0,05 (vedi sv2)			Vedi i commenti per Hg. A causa della minore volatilità di tali metalli rispetto ad Hg le tecniche di riduzione delle polveri e degli altri metalli sono più efficaci nel controllo di tali composti rispetto ad Hg.
Σ altri metalli	0,005– 0,5			Le tecniche di rimozione delle polveri sono efficaci anche nei confronti dei metalli
Diossine e furani (ng TEQ/Nm <sup>3</sup> )	0,01– 0,1 (vedi sv2)			Le tecniche di combustione distruggono PCDD/F presenti nei rifiuti. Progettazione adeguata e controllo della temperatura riducono la sintesi de-novo. Ulteriori tecniche di riduzione prevedono l'impiego di carboni attivi per conseguire livelli di emissione nell'intervallo riportato. Dosaggi superiori di adsorbenti possono favorire il conseguimento di livelli di emissione inferiori a 0,001 ng TEQ/Nm <sup>3</sup> , ma danno luogo ad incremento dei consumi e della produzione di residui.

<b>Sostanze non disciplinate dalla Direttiva 200/76/CE sull'incenerimento dei rifiuti</b>				
Ammoniaca (NH <sub>3</sub> )	< 10	1 - 10	< 10 (vedi sv1)	Un controllo efficace dei sistemi di riduzione degli NO <sub>x</sub> , compreso il sistema di dosaggio, può ridurre i livelli di emissione di NH <sub>3</sub> I sistemi ad umido rimuovono l'NH <sub>3</sub> e la trasferiscono nelle acque di scarico.
Benz(a)pyrene	Per queste sostanze non sono disponibili dati consolidati per fissare una BAT per i livelli di emissione. Tuttavia i dati disponibili indicano che i loro livelli di emissione sono di norma bassi. PCB, IPA, e benz(a)pyrene possono essere controllati con le stesse tecniche dei PCDD/F. I livelli di N <sub>2</sub> O derivano dalle tecniche di combustione e dal livello di ottimizzazione del sistema SNCR a base di urea (nel caso sia impiegato)			Le tecniche di controllo dei PCDD/F riducono anche PCB, IPA, e benz(a)pyrene
PCB				
IPA				
Protossido di azoto (N <sub>2</sub> O)				Il mantenimento di condizioni di combustione fortemente ossidative ed il controllo dei sistemi di rimozione dei NO <sub>x</sub> contribuiscono a ridurre le emissioni di N <sub>2</sub> O. I livelli maggiori si riscontrano in caso di letti fluidi operanti a basse temperature ( < 900° C )
<b>NOTE:</b>				
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gli intervalli di BATAOEL riportati in questa tabella sono livelli di prestazioni operative attese che possono risultare dall' adozione di BAT- essi non sono livelli di emissione vincolanti dal punto di vista normativo (ELV)</li> <li>2. Σ altri metalli = somma di Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V e loro composti espressi come metalli</li> <li>3. Le misure discontinue sono mediate su un periodo di campionamento fra trenta minuti e otto ore. I periodi di campionamento sono in genere dell'ordine di 4- 8 ore per queste misure.</li> <li>4. I dati sono standardizzati a 11% ossigeno, gas secchi, 273 K, e 101,3 kPa</li> <li>5. Diossine e furani sono calcolate utilizzando i fattori di equivalenza come da direttiva 2000/76/CE</li> <li>6. Nel confronto dei valori prestazionali con questi intervalli, occorre in ogni caso tenere in considerazione: i valori di confidenza associati con le determinazioni effettuate; che l'errore relativo di tali determinazioni cresce al decrescere delle concentrazioni misurate rispetto ai livelli più bassi di rilevanza.</li> <li>7. I dati operativi che supportano i suddetti BATAOEL sono stati ottenuti secondo le attuali norme di buona pratica di monitoraggio che richiedono apparecchiature di misura con scale strumentali 0-3 volte ELV della direttiva sull'incenerimento. Per parametri con livelli di immissione molto bassi combinati con brevi periodi di picco bisogna porre particolare attenzione alla scala strumentale. Ad esempio variando la scala strumentale per la misura del CO da 3 volte ELV della direttiva a un valore superiore di dieci volte, è stato rilevato in alcuni casi l'incremento dei valori rilevati della misurazione per un fattore di 2-3. Ciò deve essere considerato quando si interpreta questa tabella.</li> <li>8. Sono state riscontrate in alcuni casi difficoltà tecniche nella ristrutturazione di sistemi SNCR in impianti di incenerimento di RU di piccola taglia. I vantaggi economici (es. la riduzione di NO<sub>x</sub> per unità di costo) di sistemi di rimozione di NO<sub>x</sub> (es. SNCR) è minore per piccoli impianti (&lt;6 t/h di rifiuti)</li> </ol>				
<b>ALTRI PUNTI DI VISTA (SPLIT VIEW)</b>				
<b>SV1:</b> Sulla base delle loro conoscenze sulle prestazioni di impianti esistenti alcuni Stati Membri e ONG ambientaliste hanno espresso un proprio parere riguardo alla media delle 24 h dell'NH <sub>3</sub> , affermando che i livelli di emissioni dovrebbero essere < 5 mg/Nm <sup>3</sup> (invece di 10 mg/Nm <sup>3</sup> ).				
<b>SV2:</b> Alcuni SM e ONG ambientaliste hanno espresso pareri diversi riguardo alle BATAOEL sopra riportate. Questi pareri si fondavano sulle conoscenze delle prestazioni di un certo numero di impianti esistenti e della loro interpretazione dei dati fornita al TWG ed anche di quello riportato nel capitolo 3 del Bref. Le conclusioni finali della riunione del TWG				
Sono gli intervalli riportati in tabella, ma le eseguenti opinioni sono riportate: polveri totali media semi-oraria 1-10 mg/Nm <sup>3</sup> ; NO <sub>x</sub> (come NO <sub>2</sub> ) in caso di SCR media semioraria 30-200 mg/Nm <sup>3</sup> e media 24 h 30-100 mg/Nm <sup>3</sup> ; Hg e suoi composti (come Hg) discontinuo 0,001-0,03 mg/Nm <sup>3</sup> ; Cd+Tl totali discontinuo 0,005-0,03 mg/Nm <sup>3</sup> ; Diossine e furani discontinuo 0,01-0,05 TEQ ng/Nm <sup>3</sup> . In base alle stesse considerazioni ONG ambientaliste hanno espresso questi pareri: HF media semioraria < 1 mg/Nm <sup>3</sup> ; SO <sub>2</sub> media semioraria 1-50 mg/Nm <sup>3</sup> e media su 24 h 1-25 mg/Nm <sup>3</sup> .				
Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration – July 2005"				

**Tabella H.4.2 – Prestazioni indicative delle tecniche/tecnologie per il controllo delle emissioni in atmosfera <sup>(1)</sup>**

Inquinante	BAT	Prestazioni	Valutazioni per singole unità produttive e informazioni specifiche	Applicazioni in Italia	
				Osservazioni	D.Lgs. 133/05
<b>Monitoraggio in continuo</b>					
Monossido di carbonio	Regolazione del processo di combustione	Giornaliero 5-30 mg/Nm <sup>3</sup>  Semiorario 5-100 mg/Nm <sup>3</sup>	Uso di modelli di calcolo fluidodinamici per migliorare il progetto del forno e della caldaia. Ottimizzazione e distribuzione dell'aria primaria di combustione nei vari settori della griglia. Ottimizzazione e distribuzione dell'aria secondaria per creare turbolenza e migliorare il mescolamento dei fumi	E' in fase di sperimentazione l'utilizzo della telecamera a raggi infrarossi per il monitoraggio della combustione e la regolazione della distribuzione dell'aria primaria.	Giornaliero 50 mg/Nm <sup>3</sup>  Orario 100 mg/Nm <sup>3</sup> semiorario
Polveri totali	Ciclone	100-300 mg/Nm <sup>3</sup>	Utilizzabili eventualmente solo come fase preliminare di abbattimento	Da solo non sufficiente	Giornaliero 10 mg/Nm <sup>3</sup>  Semiorario 30 mg/Nm <sup>3</sup>
	Elettrofiltro	< 20 mg/Nm <sup>3</sup>	Utilizzato in genere come fase preliminare di abbattimento polveri a monte di un lavaggio ad umido dei fumi		
	Filtro a maniche	Giornaliero 0,5-5 mg/Nm <sup>3</sup>  Semiorario 0,5-20 mg/Nm <sup>3</sup>	E' utilizzato generalmente come fase finale a valle di sistemi a secco e semisecco.		
Sostanze organiche (esprese come COT)	Regolazione del processo di combustione	Giornaliero 0,1-10 mg/Nm <sup>3</sup>  Semiorario 0,1-20 mg/Nm <sup>3</sup>	Come per l'ossido di carbonio		Giornaliero 10 mg/Nm <sup>3</sup>  Semiorario 20 mg/Nm <sup>3</sup>

Inquinante	BAT	Prestazioni	Valutazioni per singole unità produttive e informazioni specifiche	Applicazioni in Italia	
				Osservazioni	D.Lgs. 133/05
Composti inorganici del cloro (espressi come HCl)	Sistema a secco		Utilizza reattivo solido (calce o bicarbonato di sodio in polvere). Eccessi stechiometrici superiori rispetto sistemi ad umido e funzione del reagente impiegato Richiede un buon controllo della temperatura dei fumi (130-140°C), nel caso di impiego di calce. Assenza di consumi di acqua e di effluenti liquidi. Minori consumi di energia		Giornaliero 10 mg/Nm <sup>3</sup>  Semiorario 60 mg/Nm <sup>3</sup>
	Sistema a semisecco	Giornaliero 1-8 mg/Nm <sup>3</sup>  Semiorario 1-50 mg/Nm <sup>3</sup>	Impiego di una sospensione di calce in acqua che viene dispersa finemente nei fumi. L'evaporazione dell'acqua raffredda i fumi che devono quindi essere a temperature più alte rispetto alla reazione a secco, inoltre è necessario, rispetto ai sistemi a secco, un maggiore volume a disposizione per il completamento delle reazioni. Il sistema consuma acqua ma il prodotto residuo è allo stato solido, assenza di effluenti liquidi		
	Sistema a umido		Prevede l'uso di un reattivo allo stato liquido, normalmente una soluzione di soda. Presenta un basso consumo di reattivi (soda) e una bassa produzione di residui solidi, ma è necessario un trattamento delle acque reflue che sono prodotte in quantità rilevante.		
Composti inorganici del fluoro (espressi come HF)	Vedi HCl	Giornaliero < 1 mg/Nm <sup>3</sup> Semiorario 1-2 mg/Nm <sup>3</sup>			Giornaliero 1 mg/Nm <sup>3</sup> Semiorario 4 mg/Nm <sup>3</sup>

Inquinante	BAT	Prestazioni	Valutazioni per singole unità produttive e informazioni specifiche	Applicazioni in Italia	
				Osservazioni	D.Lgs. 133/05
Ossidi di zolfo (espressi come SO <sub>2</sub> )	Vedi HCl	Giornaliero 1-40 mg/Nm <sup>3</sup>  Semiorario 1-150 mg/Nm <sup>3</sup>	Nel sistema ad umido è indispensabile un secondo stadio di lavaggio con soluzione alcalina		Giornaliero 50 mg/Nm <sup>3</sup> Semiorario 200 mg/Nm <sup>3</sup>
Ossidi di azoto (espressi come NO <sub>2</sub> )	Ricircolo fumi	< 400 mg/Nm <sup>3</sup>	Sostituzione dell'aria secondaria con parte dei gas di scarico depurati e riciccolati.	Questa tecnica non è sufficiente da sola a garantire il rispetto dei limiti	Giornaliero 200 mg/Nm <sup>3</sup>  Semiorario 400 mg/Nm <sup>3</sup>
	SNCR (riduzione selettiva non catalitica)	Giornaliero 70-180 mg/Nm <sup>3</sup>  Semiorario 70-350 mg/Nm <sup>3</sup>	Si basa sull'iniezione in caldaia a temperature di 850-1050°C di una soluzione ammoniacale o di urea. Sono in corso sperimentazione per migliorarne l'efficienza introducendo sistemi di controllo e regolazione più fini delle quantità di soluzione ammoniacale iniettata.	Può dare maggiori emissioni residue di ammoniaca rispetto al SCR Non incide sull'efficienza energetica dell'impianto	
	SCR (riduzione selettiva catalitica)	Giornaliero 40-100 mg/Nm <sup>3</sup>  Semiorario 40-300 mg/Nm <sup>3</sup>	Si basa sull'installazione di un catalizzatore in coda al trattamento fumi e sull'iniezione di soluzione ammoniacale nei fumi. E' richiesto un consumo di metano per il riscaldamento dei fumi alla temperatura ottimale di esercizio del catalizzatore (300°C). Esiste il pericolo di "avvelenamento" del catalizzatore.	Incide notevolmente sull'efficienza energetica complessiva dell'impianto	
<b>Misurazioni periodiche</b>					
Cadmio e Tallio Cd,Tl	Vedi mercurio e metalli pesanti	0,005-0,05 mg/Nm <sup>3</sup>			0,05 mg/Nm <sup>3</sup> 1 ora di campionamento

Inquinante	BAT	Prestazioni	Valutazioni per singole unità produttive e informazioni specifiche	Applicazioni in Italia	
				Osservazioni	D.Lgs. 133/05
Mercurio	Nei sistemi a secco e a semisecco	< 0,05 mg/Nm <sup>3</sup>	Iniezione nei fumi di carboni attivi come per i microinquinanti organici.		0,05 mg/Nm <sup>3</sup> 1 ora di campionamento
	Nei sistemi ad umido	< 0,05 mg/Nm <sup>3</sup>	Aggiunta di particolari additivi (solfuri o derivati) alla soluzione di lavaggio. Non è in grado di abbattere il mercurio se presente a valenza zero. Questo può succedere se nei fumi c'è poco HCl e molto SO <sub>2</sub> (es. combustione fanghi biologici).	Verificare la necessità di dover aggiungere uno stadio di trattamento fumi con carboni attivi.	
Metalli pesanti Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V,		0,005-0,5 mg/Nm <sup>3</sup>	I metalli pesanti meno volatili sono presenti nelle polveri fini e vengono eliminati dai fumi con una buona filtrazione, per es. nel filtro a maniche finale.		0,5 mg/Nm <sup>3</sup> 1 ora di campionamento
Policlorodibenzo- Diossine e policlorodibenzo- Furani PCDD/PCDF	Assorbimento attraverso l'iniezione di carbone		I carboni attivi possono essere iniettati nei fumi assieme ai reagenti dei sistemi a secco. E' necessario un filtro a maniche finale. Con i carboni attivi si ottiene l'eliminazione contemporanea anche di metalli pesanti volatili (mercurio).		0,1 ng/Nm <sup>3</sup> misurati come equivalenti di tossicità (TEQ) alla TCDD 8 ore di campionamento
	distruzione con catalizzatori di ossidazione	0,01-0,1 ng/Nm <sup>3</sup> TEQ	Degradazione chimica dei microinquinanti organici con opportuni catalizzatori.	Sperimentale	
	uso di materiali impregnati di carbone nel lavaggio a umido		E' in fase di sperimentazione l'aggiunta di materiali adsorbenti rivestiti di carbonio come corpi di riempimento nelle torri di lavaggio ad umido.	Sperimentale	
Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)	Vedi PCDD/PCDF	< 0,01 mg/Nm <sup>3</sup>			0,01 mg/Nm <sup>3</sup> 8 ore di campionamento

Inquinante	BAT	Prestazioni	Valutazioni per singole unità produttive e informazioni specifiche	Applicazioni in Italia	
				Osservazioni	D.Lgs. 133/05
Ammoniaca NH <sub>3</sub>		<5-20 mg/Nm <sup>3</sup>			Non previsto
Gas ad effetto serra: CO <sub>2</sub>	Miglioramento dell'efficienza energetica dell'impianto		I rifiuti sono per lo più costituiti da materiali di origine biogenica, la cui combustione non contribuisce all'aumento della CO <sub>2</sub> in atmosfera. Incrementando i rendimenti di recupero energetico vengono "sostituiti" maggiori quantitativi di combustibili fossili ed evitate le relative emissioni.	Con la cogenerazione di energia elettrica e calore si raggiungono rendimenti dell'ordine del 80%	
Gas ad effetto serra: CH <sub>4</sub>	Buona conduzione della combustione	Emissione a valori insignificanti	Eliminato per combustione		
Gas ad effetto serra: N <sub>2</sub> O	Buona conduzione della combustione e del sistema di riduzione di NO <sub>x</sub>	<10 mg/Nm <sup>3</sup> con urea <2 mg/Nm <sup>3</sup> con ammoniaca	Può prodursi se il sistema di eliminazione degli NO <sub>x</sub> non agisce correttamente. In particolare possono formarsi nei sistemi non catalitici che utilizzano urea.		
Odori	Fossa di stoccaggio rifiuti in depressione		L'aria di combustione viene aspirata, almeno in parte, dalla fossa di stoccaggio rifiuti	Prevedere sistema di aspirazione e abbattimento odori per la fermata impianto	
Emissione diffusa di polveri	Area di scarico chiusa	< 10 mg/Nm <sup>3</sup>	Dall'area di scarico l'aria entra, attraverso le porte di scarico rifiuti, nella fossa rifiuti e di qui è inviata alla combustione		
	Filtri a maniche ai silos	< 10 mg/Nm <sup>3</sup>	Lo stoccaggio dei materiali solidi in polvere (calce, residuo, ecc.) deve avvenire in sili dotati di filtri a maniche sulle uscite d'aria.		

(1) I valori riportati costituiscono un'indicazione sulle prestazioni conseguibili con l'applicazione delle rispettive BAT, in condizioni di normale operazione; essi non rappresentano affatto limiti legali alle emissioni

#### **H.4.1.2 Aspetti operativo-gestionali**

##### ***H.4.1.2.1 Ossidi di azoto***

La produzione di NO<sub>x</sub> può essere ridotta tramite un buon controllo della combustione e un buon mescolamento dei gas, evitando eccessi d'aria troppo elevati e temperature troppo alte, anche attraverso il ricircolo dei fumi.

Migliorare l'efficienza di abbattimento adottando sistemi di controllo e regolazione più fini delle quantità di soluzione ammoniacale iniettata.

##### ***H.4.1.2.2 Inquinanti acidi***

Nei sistemi a secco e a semi-secco qualora sia impiegata calce idrata occorre prevedere un ricircolo del prodotto non reagito nel reattore, al fine di ridurre i consumi.

Tale accorgimento non si rende necessario qualora si utilizzi un prodotto più reattivo (es.: bicarbonato di sodio)

#### **H.4.1.3 Camino**

L'impianto deve essere dotato di un camino per l'immissione in atmosfera dei fumi, di altezza tale da assicurare una buona dispersione dei fumi, e dotato di un sistema di monitoraggio in continuo degli inquinanti secondo le prescrizioni di legge.

Sul camino deve essere prevista una adeguata struttura per permettere all'ente di controllo di effettuare agevolmente il campionamento manuale dei fumi.

#### **H.4.2 Emissioni diffuse in aria**

Possibili fonti di emissioni diffuse in atmosfera possono essere:

- Serbatoi aperti;
- Aree di stoccaggio;
- Operazioni di carico/scarico di automezzi;
- Sistemi di trasporto, tubazioni e condotti,
- Perdite accidentali da locali chiusi;
- Perdite per rottura e malfunzionamenti di impianti ed apparecchiature.

##### **Polveri**

- Copertura di recipienti e contenitori aperti
- Evitare, ove possibile, stoccaggi a cielo aperto
- Impiego di spruzzatori, leganti, frangivento, ecc.
- Pulizia periodica di strade e piazzali
- Impiego di trasportatori chiusi, trasporti pneumatici
- Impiego di silos chiusi per lo stoccaggio di materiali pulverulenti
- Raccolta degli sfiati ed abbattimento delle polveri
- Stoccaggio in sistemi chiusi
- Impiego di sistemi di carico/scarico di tipo chiuso

##### **Composti organici volatili (COV)**

- Impiego di sistemi di raccolta degli sfiati
- Impiego di sistemi di sfiato controllato
- Stoccaggio di solidi a temperatura piuttosto limitata (evitare effetti radiazione solare)
- Nello stoccaggio di liquidi a pressione atmosferica prevedere:



- Controllo di temperatura
- Adeguati sistemi di isolamento
- Serbatoi a tetto galleggiante
- Valvole di respirazione
- Eventuali trattamenti specifici (adsorbimento, condensazione)

#### **H.4.3 Odori**

- Evitare la fuoriuscita di emissioni odorose qualora generate all'interno di edifici
- Accurato controllo delle potenziali sorgenti di odore poste all'aperto
- Contenimento degli odori tramite:
  - Confinamento delle aree di stoccaggio
  - Stoccaggio e movimentazione chiusi per i rifiuti odorigeni
  - Trattamento tempestivo dei rifiuti putrescibili (RU, fanghi, scarti animali ecc.)
  - Adozione di sistemi di stoccaggio refrigerati per i rifiuti putrescibili (qualora non sia possibile contenere la durata del loro stoccaggio)
  - Pulizia regolare ed eventuali disinfezione dei sistemi di movimentazione dei rifiuti putrescibili
  - Trasporto dei rifiuti e dei residui in contenitori chiusi
  - Prevenzione di fenomeni di anaerobiosi tramite insufflamento di aria
  - Eventuale clorazione delle acque di risulta da fanghi
  - Adeguamento trattamento per l'eliminazione degli odori

#### **Trattamento degli odori**

- Impiego delle arie esauste odorigene come comburente nei forni di incenerimento. E' necessario un sistema ausiliario in caso di fermata dei forni.
- Impiego di biofiltri qualora vi sia area disponibile
- Impiego di sistemi di lavaggio ad umido
- Impiego di carboni attivi (per basse concentrazioni odorose)

### **H.5 Trattamento delle acque reflue**

#### **H.5.1 Trattamento acque**

Qualora venga adottato un sistema di depurazione dei fumi del tipo ad umido è necessario prevedere un trattamento specifico per questo refluo prima di inviarlo allo scarico o a successivi trattamenti con gli altri reflui liquidi.

Nel caso di scarico diretto in un corpo ricettore esterno i valori di concentrazione conseguibili dall'applicazione delle BAT sono riportati nella tabella H.5.1.

#### **H.5.2 Protezione della falda**

Il sito dell'impianto, comprese le aree di stoccaggio dei rifiuti, deve essere progettato e gestito in modo da evitare l'immissione non autorizzata e accidentale di qualsiasi inquinante nel suolo, nelle acque superficiali e nelle acque sotterranee.

Deve essere prevista una capacità di stoccaggio per le acque piovane contaminate che defluiscano dal sito dell'impianto o per l'acqua contaminata derivante da spandimenti o da operazioni di estinzione di incendi.

La capacità di stoccaggio deve essere sufficiente per garantire che tali acque possano, se necessario, essere analizzate ed eventualmente trattate prima dello scarico.

**Tabella H.5.1 – Prestazioni indicative delle BAT per il trattamento di acque reflue <sup>(0)</sup>**

Parametro	BAT-AOEL mg/l	Direttiva 91/271/CE (mg/l)	Campionamento
SST	10-30(95%) 10-45(100%)	30 (95%) 45 (100%)	Spot giornaliero o proporz. a portata di 24 h
COD	50-250	-	c.s.
pH	6,5-11	-	Continuo
Hg	0,001-0,03	0,03	c.s.
Cu	0,01-0,5	0,5	Mensile
Zn	0,01-1,0	1,5	c.s.
Pb	0,01-0,1	0,2	c.s.
As	0,01-0,15	0,15	c.s.
Cd	0,01-0,05	0,05	c.s.
Tl	0,01-0,05	0,05	c.s.
Cr	0,01-0,5	0,5	c.s.
Ni	0,01-0,5	0,5	c.s.
Co	0,005-0,05	-	c.s.
V	0,03-0,5	-	c.s.
Mn	0,02-0,2	-	c.s.
Sn	0,02-0,5	-	c.s.
Sb	0,005-0,85	-	c.s.
PCDD/F	0,01-0,1 ng/l	0,3 ng/l	Media di 6 misure mensili su campioni rappresentativi di una portata di 24 h

(0) I valori riportati costituiscono un'indicazione sulle prestazioni conseguibili con l'applicazione delle BAT, in condizioni di normale operazione; non rappresentano affatto limiti legali agli scarichi liquidi

Fonte: "Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration – July 2005, modificata dal GTR"

## H.6 Gestione dei residui solidi

### H.6.1 Movimentazione e stoccaggio

Prevedere sistemi di stoccaggio adeguati per queste tipologie di residui.

### H.6.2 Smaltimento e recupero

Privilegiare l'adozione di trattamenti e/o condizioni operative che favoriscano il possibile recupero dei residui (vedi anche punto H.7.1.2).

Ove possibile, prevedere l'installazione di sistemi di trattamento in loco (integrati o meno nel processo principale) dei residui ai fini del loro recupero e/o smaltimento.

### H.6.3 Trattamento dei residui solidi

#### H.6.3.1 Scorie, ceneri e residui della depurazione

Per le ceneri leggere e le polveri residue della depurazione fumi sono stati proposti diversi processi di stabilizzazione e inertizzazione, dalla solidificazione con cemento e silicati, all'incapsulamento in resine, alla vetrificazione, ecc..

### H.6.3.2 Recupero di materiali

Prevedere la separazione ed il recupero di metalli ferrosi e non ferrosi dalle scorie, ai fini di un riutilizzo delle scorie, previo trattamento, in sostituzione di materie prime inerti. La rimozione può essere effettuata dalle scorie di combustione o durante le fasi di pretrattamento. Nel caso di impiego di bicarbonato di sodio come reagente alcalino è da preferire l'adozione di sistemi di doppia filtrazione che consentano di separare la quasi totalità delle polveri leggere dai sali di reazione riutilizzabili, previo trattamento, in cicli produttivi industriali.

## H.7 Impiego di risorse

### H.7.1 Materie prime

- Predisposizione di un elenco aggiornato dei materiali impiegati e delle loro caratteristiche;
- Revisione periodica degli aspetti quali/quantitativi delle materie prime impiegate;
- Eventuale adozione di procedure di controllo delle impurità presenti nelle materie prime;
- Analisi periodica di possibili sostituzioni delle materie prime impiegate con altre meno inquinanti.

#### H.7.1.1 Selezione

**Tabella H.7.1 - Criteri di selezione delle principali materie prime**

<b>Materia Prima</b>	<b>Caratteristiche richieste</b>
Reagenti alcalini	<ul style="list-style-type: none"><li>• Limitata presenza di contaminanti (es.:metalli)</li><li>• Elevata reattività</li><li>• Ridotta produzione di residui (bassi eccessi di reagente)</li><li>• Possibilità di riciclo all'interno del processo</li></ul>
Carbone attivo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Limitata presenza di contaminanti (es.:metalli)</li><li>• Elevata porosità</li><li>• Accurata selezione del fornitore</li></ul>
NaOH	<ul style="list-style-type: none"><li>• Limitata presenza di contaminanti (es.:mercurio)</li></ul>
Combustibili ausiliari	<ul style="list-style-type: none"><li>• Non devono dare luogo ad emissioni superiori a quelle del gasolio, gas naturale o GPL</li></ul>
Prodotti chimici organici	<ul style="list-style-type: none"><li>• Prodotti chimici quanto più possibile biodegradabili</li></ul>
Biocidi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Prodotti chimici quanto più possibile biodegradabili</li><li>• Analisi e valutazione dei possibili impatti sull'ambiente tenuto conto delle caratteristiche del corpo ricettore a livello locale</li></ul>

#### H.7.1.2 Minimizzazione della produzione di rifiuti

E' da privilegiare l'adozione di tecniche gestionali e modalità operative che tendano a ridurre il consumo di materie prime e/o la produzione quantitativa di residui, da attuarsi attraverso un programma di "audit" delle condizioni di funzionamento dell'impianto.

A titolo non esaustivo si citano:

- Gestione dei rifiuti in ingresso: controllo, omogeneizzazione ed eventuale pretrattamento;
- Combustione: mantenimento di condizioni ottimali, con particolare riguardo all'esaurimento delle scorie ("burn-out");
- Trattamento fumi: scelta accurata del reagente, riciclo del reagente (ove applicabile), impiego di sistemi a minor consumo di prodotti, ottimizzazione delle condizioni operative di dosaggio e reazione;

- Gestione dei residui: evitare la contaminazione di grossi quantitativi di residui con correnti altamente inquinate, prevedere la separazione dei sali di reazione dalle ceneri leggere, mantenere separati i vari flussi in uscita in modo da favorirne l'eventuale recupero.

### **H.7.1.3 Uso di risorse idriche**

L'impiego principale di acqua è relativo all'uso di sistemi di trattamento ad umido dei fumi. Se compatibile con la tipologia di rifiuti trattati occorre privilegiare sistemi a secco o semisecco.

Nel caso di impiego di sistemi ad umido adottare tutti gli accorgimenti tecnici finalizzati a ridurre il consumo di acqua industriale (scrubbers multistadio, sistemi a ciclo chiuso, riutilizzo e riciclo interno delle acque di processo e/o meteoriche, ecc.).

Particolare importanza rivestono anche le esigenze idriche del ciclo termico, sia per il reintegro di acqua demineralizzata per le caldaie di recupero che l'acqua necessaria per la condensazione del vapore.

### **H.7.2 Energia**

Nella progettazione, realizzazione gestione ed esercizio dell'impianto dovranno essere prese in considerazione tutte quelle tecniche che possono concorrere alla riduzione dei consumi energetici e/o delle emissioni con essi connesse, sia in forma diretta (produzione di energia in loco) che indiretta (emissioni evitate da centrale termoelettrica remota).

In via non esaustiva si citano:

- Impiego di combustibili a minor contenuto di inquinanti;
- Recupero dei cascami di energia termica dalla produzione di energia elettrica per usi interni all'impianto (es.: preriscaldamento aria di combustione/acqua alimento caldaia, post-riscaldamento dei fumi da trattamento ad umido prima dello scarico al camino);
- Produzione combinata di energia termica ed elettrica;
- Impiego di apparecchiature di conversione dell'energia ad alta efficienza;
- Efficace isolamento delle apparecchiature, al fine di limitare le perdite di calore;
- Minimizzazione dei rientri incontrollati di aria in fase di combustione o trattamento dei fumi;
- Mantenimento di condizioni operative stabili, al fine di limitare l'impiego di combustibili ausiliari o la necessità di pretrattamenti;
- Impiego della ricircolazione dei fumi;
- Manutenzione programmata delle superfici di scambio del generatore di vapore e degli scambiatori, onde non penalizzare ingiustificatamente il recupero di energia.

### **H.8 Rumore**

Possibili fonti di rumore sono:

- Ventilatori
- Transito automezzi
- Trasformatori
- Torri di raffreddamento
- Apparecchiature meccaniche in operazione
- Scarico valvole di sicurezza generatore di vapore (eccezionale)

### **H.8.1 Modalità di controllo**

- Adeguata gestione e manutenzione delle sezioni di impianto ed apparecchiature che possono essere fonte di rumore (es.: cuscinetti, impianto di aerazione, parti strutturali degli edifici, insonorizzazioni, ecc.)
- Impiego di adeguati sistemi di insonorizzazione che consentano il rispetto dei vigenti limiti di rumorosità (diurni e notturni) al perimetro dell'impianto
- Controlli periodici, misurazioni e valutazione dei livelli di rumorosità, anche tramite l'impiego di modelli matematici. Inserimento della gestione dei livelli di rumorosità nell'ambito della gestione dell'impianto
- Ove possibile, installare tutti i macchinari all'interno di edifici
- Utilizzare ventilatori a basso numero di giri per i condensatori e gli aerotermini che costituiscono le fonti principali di rumore essendo installati all'esterno degli edifici.

### **H.9 Strumenti di gestione ambientale**

#### **H.9.1 Migliori tecniche di gestione degli impianti di incenerimento dei rifiuti**

La gestione degli impianti di incenerimento deve:

- individuare i potenziali pericoli connessi con l'ambiente interno ed esterno all'impianto
- identificare i rischi effettivi interni ed esterni all'impianto
- redigere un manuale operativo, funzionale ai rischi rilevati, che comprenda anche le attività di manutenzione e di emergenza in caso di incidenti.

Devono, inoltre, essere approntati i seguenti piani:

- Piano di gestione operativa
- Programma di sorveglianza e controllo
- Piano di ripristino ambientale per la fruibilità del sito a chiusura dell'impianto secondo la destinazione urbanistica dell'area.

#### **H.9.1.2 Piano di gestione operativa**

In fase di esercizio gli impianti di incenerimento devono disporre di un piano di gestione operativa che individui le modalità e le procedure necessarie a garantire un elevato grado di protezione sia dell'ambiente che degli operatori presenti sull'impianto.

In particolare il piano di gestione deve contenere indicazioni su:

- a) procedure di accettazione dei rifiuti da trattare (modalità di campionamento ed analisi e verifica del processo di trattamento)
- b) tempi e modalità di stoccaggio dei rifiuti
- c) criteri e modalità di omogeneizzazione dei rifiuti da trattare ove necessario
- d) procedure di monitoraggio e di controllo dell'efficienza del processo di trattamento, dei sistemi di protezione ambientale e dei dispositivi di sicurezza installati
- e) procedura di ripristino ambientale dopo la chiusura dell'impianto in relazione alla destinazione urbanistica dell'area.

### **H. 9.2 Programma di sorveglianza e controllo (PSC)**

Nell'ambito delle BAT va individuata la predisposizione ed adozione di un programma di sorveglianza e controllo, finalizzato a garantire che:

- 1) tutte le sezioni impiantistiche assolvano alle funzioni per le quali sono progettate in tutte le condizioni operative previste

- 2) vengano adottati tutti gli accorgimenti per ridurre i rischi per l'ambiente ed i disagi per la popolazione
- 3) venga assicurato un tempestivo intervento in caso di incidenti ed adottate procedure/sistemi che permettano di individuare tempestivamente malfunzionamenti e/o anomalie
- 4) venga garantito l'addestramento costante del personale impiegato nella gestione
- 5) venga garantito alle autorità competenti ed al pubblico l'accesso ai principali dati di funzionamento, ai dati relativi alle emissioni, ai rifiuti prodotti, nonché alle altre informazioni sulla manutenzione e controllo, inclusi gli aspetti legati alla sicurezza
- 6) vengano adottate tutte le misure per prevenire rilasci e/o fughe di sostanze inquinanti.

Il controllo e la sorveglianza dovrebbero essere condotti avvalendosi di personale qualificato ed indipendente ed i prelievi e le analisi previste per garantire il rispetto dei limiti alle emissioni, indicate nei documenti autorizzativi, dovrebbero essere effettuati da laboratori competenti, preferibilmente indipendenti, operanti in regime di qualità secondo le norme della famiglia ISO 9000 per le specifiche determinazioni indicate nel provvedimento autorizzativo. I contenuti del PSC devono essere correlati, per quanto di competenza, con quelli del Piano di Gestione.

### **H.9.3 Personale**

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

### **H.9.4 Benchmarking**

E' necessario analizzare e confrontare, con cadenza periodica, i processi, i metodi adottati e i risultati raggiunti, sia economici che ambientali, con quelli di altri impianti e organizzazioni.

### **H.9.5 Certificazione**

E' necessario promuovere le attività relative all'adozione di sistemi di gestione ambientale (EMS) nonché di certificazione ambientale (UNI EN ISO 14001) e soprattutto l'adesione al sistema EMAS.

### **H.9.6 Sistemi di supervisione e controllo**

Tutti i sistemi, gli apparati e le apparecchiature costituenti l'impianto di incenerimento devono essere asservite ad un efficiente ed affidabile sistema di supervisione e controllo che ne consenta la gestione in automatico.

## **H.10 Monitoraggio**

Il rispetto delle prescrizioni riportate nella normativa nazionale possono essere considerate come BAT in questo campo, soprattutto per quanto concerne le emissioni in atmosfera e gli scarichi liquidi.

Occorre inoltre prevedere un programma di monitoraggio sul flusso dei residui che preveda:

- La registrazione dei quantitativi prodotti e il loro destino (smaltimento/recupero)
- La determinazione delle caratteristiche chimico-fisiche
- L'evidenziazione di eventuali particolari precauzioni o rischi connessi con la loro manipolazione.

## **H.11 Comunicazione e consapevolezza pubblica**

E' necessaria la predisposizione di un programma di comunicazione periodica che preveda, oltre a quanto elencato al punto E.4.9:

- diffusione periodica di rapporti ambientali
- la diffusione periodica dei dati sulla gestione dell'impianto.

## **H.12 Aspetti di pianificazione e gestione**

### **H.12.1 Ubicazione dell'impianto**

La scelta del sito deve essere effettuata sulla base di valutazioni comparative tra diverse localizzazioni che tengano in considerazione tutti gli aspetti logistici, di collegamento con le diverse utenze e di impatto ambientale come meglio dettagliato nei successivi punti.

Le zone destinate agli insediamenti industriali dalle pianificazioni urbanistiche dei Comuni costituiscono la collocazione più idonea per tali impianti.

### **H.12.2 Potenzialità dell'impianto**

Nel caso di incenerimento di RU, al fine di conseguire economie di scala, la potenzialità di un impianto di incenerimento non dovrebbe essere inferiore alle 300 t/g, riferite ad un PCI di 10,5 MJ/kg, indicativamente suddivise in 2 linee da 150 t/g, corrispondenti ad un bacino di utenza dell'ordine di 300.000 abitanti.

Sono fatte salve eventuali peculiarità locali.

Si ricorda ancora una volta che, a causa delle diverse caratteristiche dei rifiuti trattabili (RU, frazione secca, CDR), la taglia dell'impianto è univocamente definita dalla capacità termica nominale dell'impianto. Ne caso sopraesposto la taglia minima dovrebbe essere indicativamente compresa fra 30 e 40 MW<sub>t</sub>.

Nel caso di incenerimento di altre tipologie di rifiuti (RS, sanitari, fanghi), non è possibile dare indicazioni in merito; tuttavia anche in questo caso è sensibile l'influenza del fattore di scala sull'economicità dell'investimento.

### **H.12.3 Bacino di utenza**

Deve essere riferito ai criteri indicati dalla normativa vigente, prendendo comunque in considerazione quanto indicato al punto H.12.2.

### **H.12.4 Trasporti e collegamento al sistema viario**

Deve essere assicurato un collegamento viario idoneo al transito dei mezzi per il conferimento dei rifiuti e per l'allontanamento dei residui.

Il conferimento dei rifiuti mediante ferrovia, se fattibile dal punto di vista tecnico-economico, è da privilegiare.

Al fine di ridurre i costi di trasporto e l'impatto sull'ambiente è necessario prevedere l'impiego di autocarri con la massima portata utile; di conseguenza è necessario verificare la disponibilità di strade adeguate.

## **D) ANALISI DELL'APPLICABILITA' AD IMPIANTI ESISTENTI DELLE TECNICHE DI PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO ELENcate AL PUNTO PRECEDENTE, ANCHE CON RIFERIMENTO AI TEMPI DI ATTUAZIONE**

### **I.1 Applicazione delle BAT**

L'applicabilità di una qualsiasi BAT, soprattutto nel caso degli impianti esistenti, non può risultare di carattere generale essendo essa legata a diversi fattori presenti a livello locale, che possono influenzare notevolmente le prestazioni raggiungibili.

Tra questi si citano:

- Le dimensioni dell'impianto;
- Il tempo di vita residuo ("età") dell'impianto;
- L'ubicazione e il contesto locale;
- Le caratteristiche dei rifiuti trattati (principalmente il contenuto di inquinanti);
- La presenza di vincoli di carattere tecnico;
- La legislazione a livello nazionale e regionale.

#### **I.1.1 Le dimensioni dell'impianto**

Si può senza dubbio affermare che l'economia di scala non consente agli impianti di taglia ridotta di ottenere, a parità di costo unitario, le stesse prestazioni ambientali, a causa dell'influenza negativa del fattore di scala. Questo può rendere alcune tecniche poco applicabili.

In linea generale si ritiene che i campi di prestazioni definiti sono da riferirsi ad impianti di taglia medio-grande.

#### **I.1.2 L'età dell'impianto**

In linea generale l'applicazione delle BAT dovrebbe essere idonea sia per gli impianti nuovi che per quelli esistenti.

E' altrettanto evidente che tale affermazione deve poi essere calata all'interno della realtà del singolo impianto.

In via generale le modifiche impiantistiche su installazioni esistenti risultano essere di norma più costose, richiedono spesso di interrompere o ridurre il funzionamento dell'impianto e, soprattutto possono disporre di un tempo di ammortamento molto ridotto, vincolato dalla vita utile residua dell'impianto stesso.

#### **I.1.3 L'ubicazione e il contesto locale**

L'ubicazione dell'impianto può influenzare notevolmente l'efficacia e persino la stessa applicabilità di una specifica BAT.

Ad esempio la mancata disponibilità di quantitativi idonei di acqua per usi di processo o di raffreddamento può costringere al ricorso all'impiego di condensatori ad aria (con limitazioni sull'efficienza di recupero) oppure a prevedere l'impiego di sistemi a secco anziché ad umido. Analogamente eventuali vincoli sulle concentrazioni di inquinanti sulle acque di scarico (es. cloruri) può costringere al ricorso all'impiego di sistemi di trattamento dei fumi a secco anziché ad umido che, per contro, risultano essere favoriti nel caso di impianti siti in zone costiere.



#### **I.1.4 La tipologia di rifiuti trattati**

Come già rilevato la configurazione impiantistica e le prestazioni energetico-ambientali di un impianto di incenerimento sono fortemente vincolate dalle tipologie di rifiuti trattati.

Il D.Lgs. 133/05 sull'incenerimento disciplina un ampio spettro di impianti che possono trattare da RU sino a rifiuti pericolosi di varia natura e provenienza, disciplinando oltretutto, alcune categorie di rifiuti (oli usati, rifiuti sanitari), non disciplinati da quelle precedentemente in vigore.

In termini generali si può affermare che l'applicazione delle stesse BAT a rifiuti che differiscono sostanzialmente in termini di caratteristiche (quali combustibilità, contenuto di inquinanti, contenuto di inerti, ecc.) potrebbe condurre, a seconda dei casi, a prestazioni ambientali insoddisfacenti ovvero ad inutili ridondanze tecniche, non giustificabili in termini di analisi costi-benefici.

#### **I.1.5 Presenza di vincoli di carattere tecnico**

Tra le difficoltà che possono insorgere nell'applicazione di specifiche BAT occorre sicuramente annoverare:

- La compatibilità tecnica dell'intervento in esame con i criteri progettuali e/o realizzativi delle installazioni esistenti;
- La mancata disponibilità di aree idonee per l'installazione di apparecchiature, sistemi e/o componenti aggiuntivi.

Entrambe, e soprattutto quest'ultima, possono vanificare l'applicazione di BAT che rispondono a tutti gli altri requisiti di applicabilità.

#### **I.1.6 La legislazione a livello nazionale e regionale**

Come già rilevato, l'applicazione delle BAT deve avvenire nell'ambito dell'applicazione della normativa nazionale e regionale, che costituisce requisito minimo per l'identificazione della prestazione autorizzabile. In ultima analisi qualsiasi tecnica individuata per essere effettivamente applicabile deve essere in linea con qualsiasi prescrizione normativa applicabile, non solo di carattere ambientale.

### **I.2 Interventi per l'applicazione delle BAT**

La storia dell'incenerimento dei rifiuti negli ultimi 20 anni dimostra che in molti casi si è preferito, per adeguarsi a nuove norme più restrittive, ricostruire completamente la linea di incenerimento (forno/generatore di vapore e depurazione fumi) valorizzando comunque il vantaggio di avere un sito con i collegamenti stradali, gli allacciamenti alle reti tecnologiche, la fossa rifiuti, il camino ed altre opere civili. Molto spesso però i vecchi impianti sono penalizzati dalla presenza di sistemi di stoccaggio rifiuti (fosse) troppo piccoli e di camini che non dispongono di strutture che permettono di effettuare agevolmente le analisi periodiche previste dalla legislazione vigente.

Va comunque detto che, allo stato attuale, un qualsiasi impianto deve già rispettare le prescrizioni previste dal Decreto Legislativo 133/05.

Per l'adeguamento del sistema impiantistico nazionale al rispetto contestuale della normativa sull'incenerimento e dei dettami della direttiva IPPC possono essere individuati due tipi di interventi:

- Interventi di carattere operativo gestionale, caratterizzati da tempi di realizzazione e costi

relativamente ridotti, nonché vantaggi prestazionali accettabili per impianti che sono praticamente già in linea o quasi con la futura normativa;

- Interventi ristrutturativi, che prevedono il rifacimento, più o meno esteso, di qualche sezione dell'impianto individuata come critica e che comportano tempi di realizzazione (indicativamente dell'ordine dei 24 mesi), con maggiori impegni economici.

### **I.2.1 Interventi di carattere operativo-gestionale**

Tra le BAT elencate al capitolo H si evidenziano le seguenti come applicabili agli impianti esistenti in tempi indicativamente non superiori ai 12 mesi, al fine quantomeno della loro equiparazione alle prestazioni ambientali di un impianto di nuova generazione.

#### **Controllo dei rifiuti in ingresso**

Accettare all'impianto solo le tipologie compatibili con l'impianto ed eventualmente prevedere operazioni a monte come raccolta differenziata, selezione e/o pretrattamento.

Ad esempio:

- evitare flussi di rifiuti contenenti plastiche clorate per meglio controllare le emissioni di HCl;
- omogeneizzare (mescolare, ridurre la pezzatura) i rifiuti per controllare i picchi di emissione.

Occorre inoltre evidenziare che:

- per la ricezione dei rifiuti in ingresso valgono tutte le prescrizioni contenute nell'art.7 del D.Lgs. 133/05, in particolare si evidenzia l'obbligo di acquisire le informazioni relative allo stato fisico, alla composizione chimica dei rifiuti, al Codice dell'Elenco europeo. Vanno, anche, acquisite informazioni sul contenuto di sostanze pericolose che possono, in base alla loro concentrazione, far classificare il rifiuto come pericoloso, sulle sostanze con le quali non possono essere mescolati i rifiuti e sulle precauzioni da adottare nella manipolazione dei rifiuti stessi. I rifiuti accettati dovranno avere caratteristiche conformi a quelle indicate nell'autorizzazione; al riguardo si segnala che l'articolo 4 prevede che, nell'autorizzazione rilasciata dall'autorità competente, vengano specificate nel caso di combustione di rifiuti pericolosi: le quantità ed i poteri calorifici inferiori minimi e massimi delle diverse tipologie di rifiuti pericolosi che possono essere trattate nell'impianto, i loro flussi di massa minimi e massimi, nonché il contenuto massimo di inquinanti quali, ad esempio, PCB/PCT, PCP, cloro totale, fluoro totale, zolfo totale, metalli pesanti. All'atto dell'accettazione dei rifiuti pericolosi dovranno essere prelevati campioni rappresentativi al fine di verificarne, mediante controlli analitici, la conformità a quanto previsto nel documento autorizzativi;
- per effettuare i controlli dovranno essere utilizzate metodologie di campionamento ed analisi riconosciute in sede internazionale e nazionale e ed approvate da parte degli Enti di controllo. I laboratori utilizzati dovranno operare in regime di qualità secondo le norme della famiglia ISO 9000.

#### **Controllo della combustione**

Per ridurre le emissioni di monossido di carbonio e delle sostanze organiche totali (COT) intervenire sulla regolazione del processo di combustione attraverso:

- l'ottimizzazione della distribuzione dell'aria di combustione primaria e secondaria
- il preriscaldamento dell'aria primaria;
- la sostituzione di parte dell'aria secondaria con il ricircolo dei fumi depurati.

### **Miglioramento della filtrazione**

Controllo delle emissioni di polveri totali e di tutti i microinquinanti che alla temperatura di filtrazione sono in fase solida oppure adsorbiti sulle polveri. A tal fine occorrerà prendere in esame l'installazione di un filtro a maniche come stadio finale del trattamento fumi.

### **Riduzione degli ossidi di azoto**

Oltre al miglior controllo della combustione (vedi sopra) è necessario installare un sistema specifico di rimozione degli NO<sub>x</sub>.

Il sistema SNCR (riduzione selettiva non catalitica) si adatta meglio agli impianti esistenti perché non necessita di grandi spazi e presenta costi e tempi di realizzazione accettabili.

### **Composti inorganici del cloro, fluoro, ossidi di zolfo**

Per raggiungere limiti più bassi per questi composti, senza ricorrere a nuove installazioni, occorre ricorrere all'impiego di reagenti con maggior grado di reattività.

Si citano ad esempio:

- impiego di bicarbonato di sodio o calce idrata con maggior grado di purezza e maggior superficie attiva per i sistemi a secco;
- l'adozione di un maggior grado di ricircolo nel caso di impiego di calce nei sistemi a secco;
- l'impiego degli idrossido di sodio per i sistemi ad umido.

### **Mercurio, PCDD/PCDF e IPA**

Impiego di carboni attivi (per iniezione o su letto fisso) a monte della filtrazione finale.

Nei sistemi ad umido occorre aggiungere additivi specifici (solfuri o derivati) alla soluzione di lavaggio o ricorrere all'impiego di materiali adsorbenti rivestiti di carbonio come corpi di riempimento nelle torri di lavaggio ad umido (tecnica in fase di sperimentazione nei Paesi del Nord Europa).

### **Controllo del rumore**

E' uno dei problemi più rilevanti nei vecchi impianti.

Può essere ovviato tramite un'adeguata manutenzione delle apparecchiature più critiche sotto questo aspetto (ventilatori, compressori, motori), nonché l'impiego di adeguati sistemi di insonorizzazione.

### **Sistemi di supervisione e controllo**

Tutti i sistemi, gli apparati e le apparecchiature costituenti l'impianto di incenerimento devono essere asservite ad un efficiente ed affidabile sistema di supervisione e controllo che ne consenta la gestione in automatico.

Adeguamento del sistema di misura in continuo delle emissioni e il software di gestione dei dati, in particolare per la registrazione delle medie semiorarie.

### **Recupero energetico**

Installazioni di sistemi di scambio termico. Ove necessario i problemi di corrosione possono essere affrontati rivestendo le superfici di scambio con leghe speciali resistenti alla corrosione ad alta temperatura (es. leghe di Nichel).

### **I.2.2 Interventi ristrutturativi**

Si rendono necessari per impianti più vecchi che possono presentare, allo stato attuale, difficoltà al rispetto della normativa vigente e per i quali non risultano applicabili (perché non efficaci o diseconomici) gli interventi di tipo operativo-gestionale.

A titolo informativo e non esaustivo si citano:

- la sostituzione con generatori di vapore di tipo integrato delle caldaie a recupero poste in serie alle camere di combustione e post-combustione;
- l'introduzione di combustori con griglie raffreddate ad acqua e/o a letto fluido, se richiesto dalle caratteristiche dei rifiuti trattati;
- l'introduzione di uno stadio addizionale di trattamento dei fumi e/o la sostituzione di uno esistente con uno più efficace/efficiente, ai fini del controllo di specifiche tipologie di inquinanti;
- l'installazione di sistemi avanzati di "polishing" dei fumi (solo in presenza di particolare vincoli di carattere ambientale a livello locale).

Alla luce della rilevanza di tali interventi l'analisi costi-benefici deve essere comunque condotta caso per caso, tenendo conto anche dei possibili risvolti negativi sull'ambiente conseguenti al mancato esercizio dell'impianto.

### **I.2.3 Adozione di piano di gestione operativa**

Nell'applicazione delle BAT è necessario predisporre ed applicare un piano di gestione operativa che individui le modalità e le procedure necessarie a garantire un elevato grado di protezione sia dell'ambiente che degli operatori presenti sull'impianto.

In particolare il piano di gestione deve contenere indicazioni su:

- a) procedure di accettazione dei rifiuti da trattare (modalità di campionamento ed analisi e verifica del processo di trattamento)
- b) tempi e modalità di stoccaggio dei rifiuti
- c) criteri e modalità di omogeneizzazione dei rifiuti da trattare ove necessario
- d) procedure di monitoraggio e di controllo dell'efficienza del processo di trattamento, dei sistemi di protezione ambientale e dei dispositivi di sicurezza installati
- e) procedura di ripristino ambientale dopo la chiusura dell'impianto in relazione alla destinazione urbanistica dell'area.

### **I.2.4 Adozione di un programma di sorveglianza e controllo**

Nell'ambito dell'applicazione delle BAT va individuata la predisposizione ed adozione di un programma di sorveglianza e controllo, previsto, peraltro, in alcune leggi regionali a carico di tutti gli impianti di gestione dei rifiuti, finalizzato a garantire che:

- tutte le sezioni impiantistiche assolvano alle funzioni per le quali sono progettate in tutte le condizioni operative previste;
- vengano adottati tutti gli accorgimenti per ridurre i rischi per l'ambiente ed i disagi per la popolazione;
- venga assicurato un tempestivo intervento in caso di incidenti ed adottate procedure/sistemi che permettano di individuare tempestivamente malfunzionamenti e/o anomalie nel processo produttivo;
- venga garantito l'addestramento costante del personale impiegato nella gestione;
- venga garantito alle autorità competenti ed al pubblico l'accesso ai principali dati di funzionamento, ai dati relativi alle emissioni, ai rifiuti prodotti, nonché alle altre informazioni sulla manutenzione e controllo, inclusi gli aspetti legati alla sicurezza;

- vengano adottate tutte le misure per prevenire rilasci e/o fughe di sostanze inquinanti.
- Il controllo e la sorveglianza dovrebbero essere condotti avvalendosi di personale qualificato ed indipendente ed i prelievi e le analisi previste per garantire il rispetto dei limiti alle emissioni, indicate nei documenti autorizzativi, dovrebbero essere effettuati da laboratori competenti, preferibilmente indipendenti, operanti in regime di qualità secondo le norme della famiglia ISO 9000 per le specifiche determinazioni indicate nel provvedimento autorizzativo.

### **I.2.5 Benchmarking**

E' necessario analizzare e confrontare, con cadenza periodica, i processi, i metodi adottati e i risultati raggiunti, sia economici che ambientali, con quelli di altri impianti e organizzazioni.

### **I.2.6 Certificazione**

E' necessario promuovere le attività relative all'adozione di sistemi di gestione ambientale (EMS) nonché di certificazione ambientale (UNI EN ISO 14001) e soprattutto l'adesione al sistema EMAS.

### **I.2.7 Comunicazione e consapevolezza pubblica**

E' necessaria la predisposizione di un programma di comunicazione periodica che preveda, oltre a quanto elencato al punto E.4.9:

- diffusione periodica di rapporti ambientali
- la comunicazione periodica a mezzo stampa locale
- la distribuzione di materiale informativo
- l'apertura degli impianti per le visite del pubblico
- la diffusione periodica dei dati sulla gestione dell'impianto.

## J) FATTIBILITA' ECONOMICA DELLE TECNICHE ELENcate ANALIZZATA ATTRAVERSO L'ANALISI DEI COSTI BENEFICI

### J.1 Considerazioni economiche di carattere generale sugli impianti di incenerimento

#### J.1.1 Costi unitari di investimento

Gli impianti di incenerimento dei rifiuti con recupero energetico sono caratterizzati da valori specifici dell'investimento variabili in un campo molto ampio, in conseguenza dei numerosi fattori che concorrono alla sua definizione.

Tra questi, due in particolare rivestono un'incidenza rilevante: la taglia e la configurazione dell'impianto, con particolare riguardo al sistema di produzione di energia elettrica ed alla sezione di trattamento dei fumi<sup>9</sup>.

Riguardo al concetto di taglia occorre precisare che in considerazione delle differenti caratteristiche dei rifiuti in ingresso (RU, "frazione secca", CDR, ecc.) non è possibile fare unicamente riferimento ai quantitativi di rifiuti alimentati (su base giornaliera o annua).

La taglia va intesa come potenza termica dell'impianto, espressa come carico termico massimo continuo in ingresso all'apparecchiatura di combustione, parametro che tiene conto delle caratteristiche dei rifiuti alimentati (PCI) e che quindi determina le dimensioni sia delle apparecchiature di combustione che dei sistemi di trattamento dei fumi.

Per potenze termiche (oppure elettriche lorde) tra 50 e 200 MWt (oppure tra 12 e 60 MWe) ed impianti sviluppati su almeno 2 linee di processo, si può affermare che tali valori oscillano tra circa 0,9 MEuro/MWt (oppure 3,0 MEuro/MWe) per gli impianti di maggiore taglia e circa 1,5 MEuro/MWt (oppure 6,0 MEuro/MWe) per quelli di taglia inferiore.

L'investimento specifico diminuisce all'aumentare della taglia dell'impianto, anche se l'adozione di soluzioni impiantistiche più avanzate, ovvero di alcune ridondanze per i grossi impianti (esempio realizzazione su tre linee anziché su due) annullano in parte l'effetto scala. Per contro tali soluzioni aumentano l'affidabilità dell'impianto, favorendo anche il contenimento dei costi di esercizio.

Si ottengono quindi forti economie di scala solo nel caso di impianti di taglia piuttosto elevata.

La ripartizione percentuale per i vari sistemi (in opera) può essere considerata la seguente :

- Ricezione e movimentazione 5÷10
- Combustore/caldaia 20÷30
- Turbogruppo e ciclo termico 10÷15
- Trattamento fumi 10÷15
- Ausiliari meccanici 5÷10
- Sistemi elettro-strumentali 15÷20
- Opere civili e camino 15÷20

#### J.1.2 Costi di gestione

I costi annuali di gestione (comprensivi di oneri per personale, amministrazione, manutenzione, consumo di reagenti e utilities, smaltimento a discarica dei residui) oscillano indicativamente tra 75 e 90 MEuro/t<sup>10</sup> di rifiuto annualmente trattato, con la seguente

<sup>9</sup> Esistono poi altri fattori che possono influenzare in maniera significativa il costo di investimento quali la "qualità" della fornitura, la completezza del sistema di automazione, controllo e monitoraggio dell'impianto, la ridondanza di sistemi ed apparecchiature, gli aspetti architettonici e di inserimento nel territorio.

<sup>10</sup> I costi di gestione sono fortemente influenzati da molti fattori, tra cui la taglia, l'età, l'ubicazione dell'impianto, nonché la disponibilità di infrastrutture e servizi.

ripartizione percentuale indicativa :

- Personale 15÷20
- Reagenti e utilities 10÷20
- Smaltimenti 35÷45
- Manutenzione 15÷25
- Amministrative 5÷10

## **K) DEFINIZIONE DEI CRITERI DI INDIVIDUAZIONE E UTILIZZAZIONE DELLE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI**

### **K.1 La definizione e l'applicazione delle BAT**

#### **K.1.1 La direttiva 96/61/CE**

La direttiva 96/61/CE ("Direttiva IPPC") definisce le *"migliori tecniche disponibili"* come *"la più efficiente e avanzata fase di sviluppo di attività e relativi metodi di esercizio indicanti l'idoneità pratica di determinate tecniche a costituire, in linea di massima, la base dei valori limite di emissione intesi ad evitare oppure, ove ciò si riveli impossibile, a ridurre in modo generale le emissioni e l'impatto sull'ambiente nel suo complesso"*.

A tale scopo occorre tenere presente le seguenti definizioni:

- *"tecniche"*, si intende sia le tecniche impiegate sia le modalità di progettazione, costruzione, manutenzione, esercizio e chiusura dell'impianto;
- *"migliori"*, qualifica le tecniche più efficaci per ottenere un elevato livello di protezione dell'ambiente nel suo complesso;
- *"disponibili"*, qualifica le tecniche sviluppate su una scala che ne consenta l'applicazione in condizioni economicamente e tecnicamente valide nell'ambito del pertinente comparto industriale, prendendo in considerazione i costi e i vantaggi, indipendentemente dal fatto che siano o meno applicate o prodotte nello Stato Membro di cui si tratta, purché il gestore possa avervi accesso a condizioni ragionevoli;

#### **K.1.2 Impatto ambientale e rischi**

Le tecniche individuate devono minimizzare l'impatto dell'impianto sull'ambiente relativo a tutte le matrici interessate (acqua, aria, suolo) e sulla salute umana, nel rispetto degli specifici requisiti stabiliti dalla normativa vigente. La sicurezza dei lavoratori deve essere tutelata, in accordo alla vigente normativa.

#### **K.1.3 Fattibilità tecnico-economica**

Le tecniche prescelte devono essere affidabili e deve essere garantita la qualità dei sistemi e delle apparecchiature utilizzate.

I costi di investimento, esercizio e manutenzione devono essere sostenibili.

Le analisi costi-benefici devono aver dato esito positivo.

#### **K.1.4 Processo decisionale per l'individuazione delle BAT**

Per l'individuazione di una BAT occorre mettere in atto un processo decisionale che sulla base dei dati disponibili riguardo alla tecnica in esame ed alla specifica applicazione, tenuto conto dei fattori locali e degli aspetti summenzionati possa portare ad una valutazione della sua applicabilità (vedi anche punto I.1).

L'analisi dell'applicabilità parte da una verifica della fattibilità tecnica della BAT individuata. A valle segue una valutazione dei benefici attesi, da valutare non solo intermini di prestazioni teoriche, ma anche in funzione della reale operatività ed efficacia nel tempo. I benefici dovranno essere valutati secondo un approccio integrato, al fine di evitare la trasposizione dell'inquinamento da un settore ambientale ad un altro.

Ai benefici individuati dovranno essere associati i relativi costi, al fine di verificarne la congruità. Per gli impianti esistenti si dovranno considerare anche i costi associati con



l'eventuali fermate o la ridotta capacità di trattamento conseguenti agli interventi individuati. A valle dell'individuazione delle BAT applicabili, sarà possibile definire le eventuali prescrizioni da riportare nell'autorizzazione integrata ambientale che, come già discusso in precedenza, saranno specifiche dell'impianto in questione e, in ogni caso, in linea con qualsiasi disposizione di legge applicabile al caso in esame.

## **K.2 Criteri di individuazione delle BAT**

Considerazioni da tenere presenti nella determinazione delle migliori tecniche disponibili, tenuto conto dei costi e dei benefici che possono risultare da un'azione e del principio di precauzione e prevenzione.

### **K.2.1. Impiego di tecniche a scarsa produzione di rifiuti**

Le tecniche adottate nei i processi di trattamento termico dei rifiuti devono essere tali da minimizzare la produzione dei rifiuti e la loro pericolosità, intervenendo in particolare su:

- efficienza della combustione;
- efficienza del trattamento fumi;
- controllo delle caratteristiche dei rifiuti in ingresso.

Queste tecniche devono tendere ad eliminare i composti pericolosi, a concentrare quelli non eliminabili nella minore quantità possibile di residui della depurazione dei fumi ed a produrre delle scorie e ceneri quanto più inerti.

Le tecniche devono limitare anche la produzione di rifiuti non direttamente collegati al processo di combustione, ma all'esercizio dell'impianto nel suo insieme, come catalizzatori esauriti, parti di impianto sostituite, coibentazioni, refrattari, oli, fanghi, reflui, ecc..

Inoltre devono essere affrontate le problematiche legate allo stoccaggio, carico, trasporto e scarico dei rifiuti prodotti.

### **K.2.2 Impiego di sostanze meno pericolose**

Nella progettazione dell'impianto e nella sua conduzione deve essere previsto l'impiego di sostanze e materiali selezionati secondo i criteri della minore pericolosità e del minore consumo.

### **K.2.3 Tecniche per il recupero/riciclo delle correnti in uscita al processo e dei rifiuti**

Negli impianti di incenerimento deve essere massimizzato il recupero di energia dai fumi derivanti dal trattamento termico.

I materiali e le sostanze impiegate nei vari processi devono essere recuperati al massimo possibile, nel rispetto della normativa vigente.

In particolare, per la loro rilevanza quantitativa, le tecniche di gestione devono essere finalizzate a massimizzare:

- il recupero delle scorie come materiali inerti da costruzioni e dei metalli (ferrosi e non) in esse contenuti;
- il riciclo delle acque di scarico per usi interni all'impianto.

### **K.2.4 Processi, sistemi o metodi operativi sperimentati su scala industriale**

Le tecniche individuate devono garantire prestazioni e livelli di esercizio verificati sulla base di applicazioni di successo su scala industriale.

L'impianto deve garantire elevata disponibilità e affidabilità di esercizio.

E' importante la molteplicità di fornitori e la disponibilità sul mercato di ricambi, materiali e reagenti necessari per l'esercizio e per le manutenzioni.

Le tecniche adottate devono essere compatibili con le condizioni locali (ambientali, climatiche, geografiche, socio-economiche).

### **K.2.5 Progressi in campo tecnico e evoluzione delle conoscenze in campo scientifico**

Le tecniche devono essere scelte alla luce delle evoluzioni in campo scientifico e dei relativi progressi tecnici conseguiti nel settore dell'incenerimento dei rifiuti.

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

### **K.2.6 Natura, effetti e volume delle emissioni**

La valutazione degli effetti delle emissioni deve tenere conto della situazione al contorno (piani di qualità dell'aria e dell'acqua, piani territoriali e urbanistici, ecc.)

Devono essere utilizzate le tecniche più avanzate per la misurazione delle emissioni e dei parametri di processo, nel rispetto dei requisiti minimi prescritti dalla normativa.

### **K.2.7 Messa in funzione degli impianti nuovi o esistenti**

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

### **K.2.8 Tempo richiesto per l'adozione di una migliore tecnica disponibile**

Nel settore del trattamento dei rifiuti, la variabilità e complessità dei materiali da trattare richiedono l'attenta sperimentazione e la verifica sul campo di qualsiasi nuova tecnica proposta.

Gli investimenti necessari possono essere notevoli, anche alla luce delle taglie significative degli impianti; molto spesso il passaggio dalla sperimentazione alla realizzazione industriale è un processo lento e costoso che può richiedere anni.

### **K.2.9 Consumo di risorse**

Le tecniche selezionate devono essere finalizzate alla la minimizzazione dei consumi di acqua, materie prime, energia; devono inoltre prediligere l'impiego di sostanze e materiali la cui produzione è, a sua volta, causa di un ridotto impatto ambientale e minimi consumi energetici.

In questa valutazione può risultare utile l'impiego di sistemi di analisi del ciclo di vita (LCA).

Le tecniche prescelte devono massimizzare l'efficienza del ciclo termico e utilizzare apparecchiature a basso consumo di energia.

In particolare deve essere minimizzata l'emissione specifica per unità di energia prodotta.

### **K.2.10 Prevenzione e riduzione dell'impatto globale sull'ambiente**

E' necessario minimizzare l'impatto delle emissioni in aria e in acqua, tenendo conto della specifica realtà territoriale in cui è insediato l'impianto. L'impatto globale deve essere valutato nell'ambito di piani locali della qualità dell'aria e delle acque.

Deve essere preso accuratamente valutato che un impianto non affidabile può mettere in crisi

il servizio (pubblico o meno) di smaltimento rifiuti.

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

Sono da individuare tecniche di gestione della combustione che permettano il contenimento del volume dei fumi e del loro carico inquinante.

I reflui dalla depurazione fumi devono essere opportunamente trattati prima di essere scaricati.

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

#### **K.2.11 Prevenzione degli incidenti e minimizzazione degli effetti**

Le tecniche adottate devono considerare la possibilità di incidenti, guasti e malfunzionamenti degli impianti e prevenirne o limitarne le conseguenze. Gli impianti devono essere dotati di sistemi di sicurezza intrinseca e di adeguate riserve. In caso di guasto improvviso o di mancanza di alimentazione, le apparecchiature devono portarsi autonomamente in condizioni di massima sicurezza.

Tenere in debita considerazione l'avvio, le perdite, le disfunzioni, gli arresti temporanei e l'arresto definitivo dell'impianto. Le tecniche prescelte devono prevedere tutte le misure per fronteggiare qualsiasi condizione anomala di esercizio.

Deve essere previsto un idoneo sistema antincendio.

La responsabilità della gestione dell'impianto va affidata a persone competenti e il personale deve essere adeguatamente addestrato.

## BIBLIOGRAFIA

1. European IPPC Bureau (a cura di) (2005), “*Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration*” (BREF on Waste Incineration) – Draft July 2005
2. CITEC (a cura di) (2002), “*Linee guida per la progettazione, realizzazione e gestione degli impianti a tecnologia complessa per lo smaltimento dei rifiuti urbani*”, Ed. Hyper
3. APAT/ONR (2005) “*Rapporto Rifiuti 2005*”, disponibile sul sito web: <http://www.apat.it>
4. Vercaemst P., “*BAT: When do Best Available Techniques become Barely Affordable Technology?*”, Proceedings of the Workshop “Economic consequences of the IPPC-Directive”, Brussels, May 2002
5. De Stefanis P. et Al. (1998), “*La valorizzazione energetica in impianti dedicati*”, Atti della Conferenza Nazionale Energia e Ambiente” - Roma, 25-28 novembre 1998
6. De Stefanis P. (2002), “*Le tecnologie innovative per il recupero di energia da rifiuti*”, Rapporto Tecnico ENEA RT/AMB/2001/25
7. ISWA Report (WG Thermal Treatment of Waste), “*Management of APC Residues from WTE Plants*”, October 2003
8. Zannier S. (2001), “*Comparazione tra i sistemi i recupero energetico dalla combustione di RSU o di CDR*”, Atti del III Convegno nazionale “Utilizzazione Termica dei Rifiuti” Abano Terme 31 maggio-1 giugno 2001, pp 139-147
9. Gohlke O. et Al., “*New grate-based waste-to-energy system producing an inert ash granulate*”, Waste Management world vol. 3, n. 3 May-June 2003, pages 37-46

## GLOSSARIO

### a) Abbreviazioni ed acronimi

#### A

APC Air Pollution Control, Sistema di Controllo delle Emissioni Gassose (trattamento fumi)

#### B

BAT Best Available Technique, Migliore Tecnica Disponibile

BATAOEL BAT Associated Operational Emission Levels

BFB Bubbling Fluidised Bed, combustore a Letto Fluido Bollente

BREF **B**est Available Techniques **R**eference document, Documento di Riferimento a Livello Europeo sulle BAT

#### C

CDR Combustibile Derivato da Rifiuti

CE Commissione Europea

CEN Comitato Europeo di Normazione

CHP Combined Heat and Power, Produzione combinata di energia termica ed elettrica

CFB Circulating Fluidised Bed, Combustore a Letto fluido Circolante

CFC Cluorofluorocarburi

CFD Computerised Fluid Dynamics, Tecnica di modellizzazione fluidodinamica per la predizioni delle condizioni operative di sistemi di combustione ed altro

COT Carbonio Organico Totale

CPC Camera di Post Combustione

#### D

DCS Distributed Control System, Sistema di Controllo Distribuito dell'Impianto

DM Decreto Ministeriale

DLgs Decreto Legislativo

DRE Destruction and Removal Efficiency, Efficienza di Distruzione e Rimozione dell'Incenerimento misurata come percento di un inquinante presente nei rifiuti non emessa al camino

#### E

EIPPCB European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau, Ufficio Europeo sull'IPPC

ESP ElectroStatic Precipitator, Precipitatore Elettrostatico

EMS Environmental Management System

#### F

FB Fluidised Bed, Combustore a Letto Fluido

FBC Fluidised Bed Combustion, Combustione in Letto Fluido

FGT Flue Gas Treatment, Trattamento Fumi

#### G

GTR Gruppo Tecnico Ristretto demandato alla predisposizione del presente documento

<b>H</b>	
HHV	High Heating Value, Potere Calorifico Superiore
<b>I</b>	
IEF	Information Exchange Forum, Forum Internazionale per lo Scambio di Informazioni
IGCC	Integrated Gasification Combined Cycle, Gassificazione Integrata con Ciclo Combinato
IPA	Idrocarburi Policiclici Aromatici
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control, Prevenzione e Controllo Integrati dell'Inquinamento
IR	Infrared, Raggi Infrarossi
I-TEQ	Tossicità Equivalente delle Diossine secondo il Metodo Internazionale
<b>J</b>	
JRC	Joint Research Center, Centro Comune di Ricerca a livello UE
<b>K</b>	
<b>L</b>	
LHV	Low Heating Value, Potere Calorifico Inferiore (PCI)
<b>M</b>	
MBT	Mechanical Biological Treatment, Trattamenti Meccanico-Biologici di rifiuti
MG	Mass Grate, inceneritore a Griglia
MGWC	Mass Grate Water Cooled, Inceneritore a Griglia Raffreddata ad Acqua
MSW	Municipal Solid Waste, Rifiuti Urbani (RU)
MSWI	Municipal Solid Waste Incinerator/Incineration, Inceneritore/Incenerimento di Rifiuti Urbani
<b>N</b>	
n/a	Non applicabile
n.d.	Non disponibile
NMVOG	Non Methane Volatile Organic Compounds; Composti Organici Volatili Diversi dal Metano
<b>O</b>	
<b>P</b>	
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Idrocarburi Aromatici Policiclici (IPA)
PCB	Policlorobifenili
PCC	Post combustion Chamber, Camera di Post Combustione (CPC)
PCDD	Policlorodibenzo-diossine
PCDF	Policlorodibenzo-furani
PCI	Potere Calorifico Inferiore di una sostanza (quando l'umidità dei fumi di combustione viene considerata allo stato vapore)
PCS	Potere Calorifico Superiore di una sostanza (quando l'umidità dei fumi di combustione viene considerata allo stato liquido)
POPs	Persistent Organic Pollutants, Inquinante Organico Persistente
PSR	Prodotti Solidi Residui costituiti da sali di reazione e dalle polveri leggere, in percentuali variabili in funzione dei sistemi di depolverazione adottati

PVC	Cloruro di Polivinile
<b>Q</b>	
<b>R</b>	
RD	Raccolta Differenziata
RDF	Refuse Derived Fuel, Combustibile Derivato da Rifiuti (CDR)
RI	Rifiuti industriali
RK	Rotary Kiln, Inceneritore a Tamburo Rotante (TR)
RP	Rifiuti Pericolosi
RS	Rifiuti Speciali
RSS	Rifiuti Speciali Sanitari
RU	Rifiuti Urbani
<b>S</b>	
SCC	Secondary Combustion Chamber, Camera di Post Combustione (CPC)
SCR	Selective Catalytic Reduction, Riduzione Catalitica Selettiva degli Ossidi di Azoto
SNCR	Selective Non-Catalytic Reduction, Riduzione non-Catalitica Selettiva degli Ossidi di Azoto
SS	Sewage Sludge, Fanghi da Trattamento Acque
SSI	Sewage Sludge Incinerator, Inceneritore di Fanghi da Trattamento Acque
<b>T</b>	
TEQ	Toxicity Equivalent, Tossicità Equivalente, modalità di contabilizzazione del contenuto di diossine riferito convenzionalmente alla 2,3,7,8 TCDD
TOC	Total Organic Carbon, Carbonio Organico Totale (COT)
TR	Inceneritore a tamburo rotante
<b>U</b>	
UV	UltraVioletto
<b>V</b>	
VOC	Volatile Organic Compounds, Composti Organici Volatili
<b>W</b>	
WEP	Wet Electrostatic Precipitator, Precipitatore Elettrostatico ad Umido
WS	Wet Scrubber, Colonna di lavaggio ad umido dei fumi
WI	Waste Incineration/Incinerator, Incenerimento/Inceneritore di Rifiuti
WID	Waste Incineration Directive, Direttiva sull'incenerimento dei Rifiuti (2000/76/CE)
W-t-E	Waste to Energy, Incenerimento con Recupero Energetico
<b>X</b>	
<b>Y</b>	
<b>Z</b>	

## **b) Definizioni**

### **ACQUE REFLUE E/O REFLUI**

Acque di scarico derivanti da attività industriali o da scarichi domestici. Le acque reflue, convogliate attraverso apposite tubature, possono essere scaricate nell'ambiente esterno solo se rispecchiano la normativa sugli scarichi (D.lgs. 152/99) e, in caso contrario, solo dopo un adeguato trattamento.

### **AMMONIACA**

É un gas incolore, di formula  $NH_3$ , dal caratteristico odore irritante. Si trova in tracce minime nell'aria e nelle esalazioni vulcaniche; si forma, anche, nella putrefazione delle sostanze organiche. Nell'industria trova largo impiego in diversi processi chimici, come composto di base o come additivo chimico.

### **ANIDRIDE CARBONICA ( $CO_2$ )**

L'anidride carbonica é un gas incolore, inodore e insapore, più pesante dell'aria, che si forma in tutti i processi di combustione, respirazione, decomposizione di materiale organico, per ossidazione totale del carbonio. É indispensabile alla vita vegetale (fotosintesi clorofilliana) ed é praticamente inerte. La  $CO_2$  é trasparente alla luce solare ma assorbe le radiazioni infrarosse emesse dalla superficie terrestre determinando il cosiddetto effetto serra. Variazioni di concentrazione di anidride carbonica in atmosfera, dovute a varie attività antropiche (combustione, deforestazione) potrebbero determinare nel tempo modifiche del clima.

### **ANIDRIDE SOLFOROSA ( $SO_2$ )**

Gas presente nelle emissioni provenienti dall'uso di combustibili derivati dal petrolio o dal carbone. Gran parte dei processi di raffinazione del petrolio sono finalizzati alla riduzione del contenuto di zolfo nei combustibili. Elevate concentrazioni di  $SO_2$  in aria possono determinare le cosiddette piogge acide che, in presenza di terreni particolarmente vulnerabili, come quelli del centro e nord Europa, provocano danni alle foreste.

### **BIOLOGICAL OXYGEN DEMAND (BOD)**

Indica il contenuto di sostanza organica biodegradabile, presente negli scarichi idrici, espresso in termini di quantità di ossigeno necessario alla degradazione da parte di microrganismi in un test della durata di cinque giorni. Il parametro rappresenta un indicatore del potenziale di riduzione dell'ossigeno disciolto nei corpi idrici ricettori degli scarichi con possibili effetti ambientali negativi.

### **BIOMASSE**

Scarti derivanti da produzioni agricole o alimentari, che possono essere utilizzate come fonte energetica rinnovabile.

### **BIOTRATTAMENTO**

Sistema di degradazione degli inquinanti organici operato dai microrganismi che, naturalmente presenti nelle matrici contaminate sono in grado, in condizioni controllate, di degradare completamente gli inquinanti organici ad anidride carbonica ed acqua.

### **CAPACITA' TERMICA**

Vedi carico termico.

### **CAMERA STATICA**



Individua la tipologia più semplice di forno adatta solo per rifiuti liquidi e costituita da una camera di combustione senza parti in movimento in cui vengono iniettati i rifiuti da incenerire.

### **CARBONE ATTIVO**

Particolare tipo di carbone, finemente macinato, caratterizzato da un'elevata superficie di contatto, sulla quale possono essere adsorbite sostanze liquide o gassose.

### **CARICO TERMICO (NOMINALE) o CAPACITA' TERMICA**

Potenzialità (massima) dell'apparecchiatura di combustione alla quale essa è in grado di funzionare in modo continuativo, espressa in termini di MW associati ai rifiuti alimentati al forno stesso. E' data dal prodotto della portata oraria per il potere calorifico inferiore dei rifiuti.

### **CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD)**

Il COD misura la quantità di ossigeno utilizzata per l'ossidazione di sostanze organiche e inorganiche contenute in un campione d'acqua a seguito di trattamento con composti a forte potere ossidante. Questo parametro, come il BOD, viene principalmente usato per la stima del contenuto organico e quindi del potenziale livello di inquinamento delle acque naturali e di scarico. Un alto valore di COD di uno scarico comporta una riduzione dell'ossigeno disciolto nel corpo idrico ricettore e quindi una riduzione di capacità di autodepurazione e di sostenere forme di vita.

### **COMBUSTIBILE DERIVATO DAI RIFIUTI (CDR)**

É un combustibile ottenuto dalla componente secca (carta, plastica, fibre tessili, ecc.) dei rifiuti urbani, tramite appositi trattamento di separazione e purificazione da altri materiali, quali vetro, metalli e inerti.

Esso può trovare impiego in:

- impianti industriali esistenti (cementifici, acciaierie, centrali termoelettriche, ecc.);
- combustori dedicati a griglia o a letto fluido per la produzione di energia elettrica.

Le caratteristiche e le modalità di impiego dell'CDR sono state definite con D.M. 5/2/98.

In senso lato il termine CDR può indicare qualsiasi combustibile alternativo derivante dal recupero di rifiuti.

### **COMBUSTIONE**

Reazione di sostanze organiche con l'ossigeno presente nell'atmosfera; essa produce ossidi di carbonio, vapore d'acqua e calore.

### **CONTAMINANTE**

Vedi inquinante

### **DEGRADAZIONE**

Conversione di un composto organico in un altro avente un numero inferiore di atomi di carbonio.

### **DEPURAZIONE DEI FUMI**

É un trattamento eseguito tramite un sistema di apparecchiature finalizzate alla rimozione, ovvero alla riduzione della concentrazione degli inquinanti presenti nell'effluente gassoso da trattare.

In base alle proprietà chimico-fisiche dell'effluente e degli inquinanti il sistema può essere

costituito da uno o più stadi di abbattimento; la sua configurazione viene determinata in base allo stato fisico degli inquinanti presenti nella corrente gassosa ed alle loro proprietà chimiche, dando luogo a:

- sistemi a secco (ad esempio per polveri o goccioline) di tipo dinamico (cicloni) o statico (filtri a maniche);
- sistemi ad umido (ad esempio per anidride solforosa o acido cloridrico) come le torri di lavaggio ad assorbimento;
- sistemi termici e catalitici (ad esempio per ossidi di azoto e composti organici policiclici e/o policlorurati) come i combustori e i reattori catalitici;
- sistemi ad adsorbimento (per composti organici insolubili in acqua) come le apparecchiature a carboni attivi;
- sistemi biologici come i biofiltri.

In genere vengono associati stadi di abbattimento a secco, come la filtrazione, con stadi di abbattimento ad umido, come le unità di assorbimento. È inoltre frequente avere uno stadio finale di abbattimento catalitico o di adsorbimento, per il finissaggio finale (“polishing”) finalizzato all'abbattimento spinto di inquinanti particolarmente pericolosi come i composti organici clorurati.

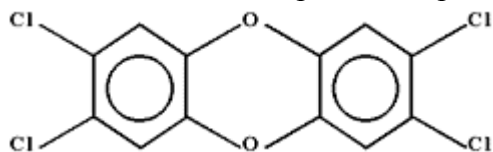
### **DIOSINE (PCDD)**

Le diossine sono dei composti organici clorurati che comprendono una famiglia di 75 tipologie di molecole simili fra di loro (congeneri) ma con tossicità diversa; la 2,3,7,8, tetraclorodibenzo-p-diossina (TCDD) è la più tossica. Sono presenti nell'ambiente in forma di cristalli incolori insolubili estremamente stabili nell'ecosistema per cui possono entrare nella catena alimentare con conseguente bioaccumulo negli organismi superiori; sono sospettate di essere cancerogene per l'uomo.

Le diossine sono presenti pressoché ovunque nell'ecosistema poiché numerose sono le fonti di formazione, fra cui:

- industria siderurgica;
- combustione di combustibili fossili;
- produzione di pesticidi, farmaci, solventi, ecc.;
- incenerimento di rifiuti urbani e speciali;
- industria cartaria (alcuni processi di sbiancamento della carta).

Le temperature di formazione sono comprese fra 300 e 400 °C. Si ha la loro completa termodistruzione a temperature superiori a 800 °C.



formula della 2,3,7,8 tetraclorodibenzo-p-diossina (TCDD)

Vedi anche MICROINQUINANTI.

### **DISCARICA**

Area predisposta per il contenimento di rifiuti e dotata di caratteristiche costruttive diverse in funzione del tipo di rifiuto ad essa destinato, in base anche alle disposizioni normative.

A seguito della DLgs 13 gennaio 2003 sono previste in Italia 3 categorie di discariche:

- discariche per rifiuti inerti;
- discariche per rifiuti non pericolosi;
- discariche per rifiuti pericolosi.

## **ELETTROFILTRO**

Apparecchiatura di abbattimento delle polveri dalle emissioni gassose. I principi base del processo di precipitazione elettrostatica possono essere così riassunti:

- sviluppo di una corrente ad alto voltaggio utilizzata per caricare elettricamente il materiale particellare dell'aeriforme da depurare;
- creazione di un campo elettrico tra gli elettrodi di scarica e gli elettrodi di raccolta con conseguente migrazione delle polveri, caricate negativamente, sulle piastre di raccolta caricate positivamente;
- rimozione del materiale particellare raccolto mediante scuotimento delle piastre, per battitura o scorrimento di acqua.

## **EMISSIONE**

Scarico di qualsiasi sostanza solida, liquida o gassosa introdotta nell'ecosistema, che possa produrre direttamente o indirettamente un impatto sull'ambiente.

## **ESSICCATORE**

Apparecchiatura utilizzata al fine di ridurre l'umidità dei fanghi di depurazione a valori fino all'ordine del 5% in peso. Scopo del trattamento è ridurre il volume finale di fango da smaltire, stabilizzarlo termicamente, anche per la quasi completa assenza d'acqua, in modo da renderlo utilizzabile in agricoltura o inceneribile in appositi impianti attrezzati per la produzione di energia termica o elettrica. Gli essiccatori si possono distinguere essenzialmente in diretti e indiretti a seconda che il fluido scaldante venga in contatto, o meno, con il fango da essiccare.

## **EQUALIZZAZIONE DEI REFLUI**

Operazione effettuata mediante accumulo dei reflui in arrivo all'impianto di trattamento, allo scopo di omogeneizzare eventuali variazioni temporanee delle concentrazioni degli inquinanti.

## **FANGHI ATTIVI**

L'insieme dei microrganismi che si sviluppano in un impianto di depurazione biologica. Tale biomassa viene mantenuta in sospensione dai sistemi di aerazione ed agitazione, installati nell'impianto di depurazione, permette la degradazione delle sostanze organiche inquinanti presenti nei reflui da trattare.

## **FILTRO A MANICHE**

Strumento di depurazione degli effluenti gassosi, costituito da cilindri di tessuto aperti da un lato. Attraversando il tessuto, i fumi depositano le polveri in essi contenute, comprese particelle di dimensioni submicroniche.

## **FLOCCULAZIONE**

Fase della coagulazione, durante la quale le singole particelle colloidali disperse nel liquame, destabilizzate con l'aggiunta di opportune sostanze, si addensano e formano fiocchi di maggiori dimensioni, che sedimentano più rapidamente.

## **FLOTTAZIONE**

Fase della depurazione utilizzata per la separazione dall'acqua di sostanze liquide o solide, avvalendosi di un gas di trasporto che ne favorisca la raccolta in superficie. Il gas di trasporto, prevalentemente aria, può essere sia disperso nella corrente liquida da depurare (flottatori ad aria disciolta), sia aspirato direttamente dalla stessa, attraverso idonei dispositivi (flottatori ad

aria indotta). Applicazioni prevalenti riguardano la separazione dall'acqua di sostanze oleose e l'ispessimento dei fanghi prodotti dal trattamento biologico.

### **FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI**

Fonti di energia che si generano spontaneamente in natura. Sono fonti rinnovabili l'energia solare, eolica, idroelettrica, geotermica. Anche i rifiuti, secondo l'attuale normativa vigente in Italia, sono classificati fra le fonti energetiche rinnovabili.

### **FORNO o COMBUSTORE A GRIGLIA**

Apparecchiatura destinata principalmente al trattamento di RU indifferenziati nella quale la combustione avviene al di sopra di una griglia che per la quasi totalità degli impianti più recenti è del tipo mobile. L'aria necessaria alla combustione viene iniettata sia al di sotto della griglia (aria primaria), che al di sopra della stessa (aria secondaria).

### **FORNO o COMBUSTORE A LETTO FLUIDO**

Il combustore a letto fluido è essenzialmente costituito da un cilindro verticale contenente un inerte (sabbia) tenuta in sospensione (fluidificata) da una corrente d'aria inviata attraverso una griglia posta alla base del cilindro stesso. I rifiuti vengono alimentati e bruciano nel letto di sabbia che favorisce i processi di scambio termico e fornisce sufficiente inerzia termica al sistema, in modo da regolarizzare il processo di combustione.

### **FORNO A TAMBURO ROTANTE**

I forni a tamburo rotante sono costituiti da un cilindro orizzontale, dotato di opportuna inclinazione (in genere 1-3%), che ruota per consentire l'avanzamento dei rifiuti alimentati. La carica dei rifiuti avviene in corrispondenza dell'estremità del forno più elevata, mentre lo scarico delle scorie avviene all'estremità opposta.

### **FRAZIONE SECCA o SECCO**

Frazione dei RU ricca in materiali combustibili (carta, plastica, tessili, ecc.) ottenuta tramite operazioni di selezione meccanica e (eventuale) rimozione dei metalli.

### **GAS ACIDI**

Prodotti gassosi della combustione (anidride solforosa, acido cloridrico, ecc.) caratterizzati da reazione acida in presenza di acqua.

### **IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (IPA)**

Idrocarburi aromatici con più anelli benzenici, alcuni dei quali sono classificati cancerogeni per l'uomo.

### **IMPATTO AMBIENTALE**

Insieme degli effetti che un'opera (impianto industriale, centrale energetica, strada, ecc.) produce sul territorio circostante, provocando alterazioni o perturbazioni di singole componenti dell'ambiente o del sistema ambientale complessivo. Nel caso che l'introduzione consenta una diminuzione delle emissioni di inquinanti a livello globale si parla di "impatto evitato"

### **INCENERIMENTO**

Processo di combustione ad alta temperatura (compresa fra 850 °C e 1200 °C) in presenza di ossigeno. Viene utilizzato per distruggere i rifiuti e le sostanze pericolose in essi contenute.

La combustione dei rifiuti consente:

- il recupero dell'energia dai rifiuti;
- la riduzione del volume dei rifiuti (90 % del volume iniziale).

L'incenerimento permette la distruzione completa delle sostanze organiche pericolose (es. PCB, diossine, composti organici alogenati, solventi ecc.). I fumi della combustione sono poi trattati e depurati in un apposita sezione dell'impianto.

### **INERTIZZAZIONE**

Processo finalizzato a ridurre la mobilità dei contaminanti, ad esempio la solubilizzazione in acqua, prevenendo o limitando al minimo il loro trasferimento nell'ambiente. (vedi anche solidificazione/stabilizzazione)

### **INQUINANTE E/O CONTAMINANTE**

Sostanza che, immessa nell'ambiente, può alterarne le caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche, con potenziale rischio per la salute umana e per l'ambiente stesso.

### **MEGAWATT**

Unità di misura della potenza vale a dire dell'energia (termica o elettrica) per unità di tempo, corrispondente a circa  $0,86 \times 10^6$  kcal /h. Identifica la taglia dell'inceneritore e, di conseguenza, di tutto l'impianto.

### **METALLI PESANTI**

Sono così definiti i metalli con densità maggiore di 5. Fra questi, alcuni (piombo, cadmio, mercurio, antimonio, selenio, nichel, vanadio e altri), sono immessi nell'ambiente, sotto forma di ossidi o di solfuri, attraverso la combustione di olio combustibile, di carbone e/o rifiuti, che ne contengono tracce, oppure nel caso di processi industriali.

Tali composti, dopo una certa permanenza in aria passano nel sistema acqua-suolo e possono entrare nella catena alimentare dando luogo a pericolosi fenomeni di bioaccumulo negli organismi viventi.

### **MICROINQUINANTI**

Inquinanti presenti in livelli modesti ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 1 mg = 1 milionesimo di grammo) nei fumi di combustione che tuttavia possono costituire un rischio ambientale per la loro tossicità e persistenza. Si suddividono in microinquinanti inorganici, costituiti essenzialmente da alcuni metalli pesanti, e in microinquinanti organici fra cui le diossine.

### **MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)**

Il monossido di carbonio è prodotto dalla incompleta combustione di carburanti e combustibili fossili. È un gas fortemente tossico che attacca le funzioni cerebrali e la respirazione. La fonte principale è costituita dai motori a benzina non dotati di marmitta catalitica ossidante.

### **NEUTRALIZZAZIONE**

L'azione chimica attraverso la quale una soluzione acida o basica è resa neutra (cioè né acida né basica) per aggiunta, rispettivamente, di una base o di un acido. In generale, per neutralizzazione si intende un processo utilizzato per rendere innocuo un agente chimico tossico.

### **OSSIDI DI AZOTO (NO<sub>x</sub>)**

Gli ossidi di azoto sono composti ossigenati dell'azoto allo stato gassoso. Essi possono agire sulle vie aeree sinergicamente con altri gas e partecipano come "precursori" alla formazione

degli ossidanti fotochimici (ozono, perossidi organici). Sono, dopo l'anidride solforosa, i più diffusi e aggressivi inquinanti atmosferici e con questa danno luogo alle cosiddette "piogge acide".

### **OSSIDI DI ZOLFO (SO<sub>x</sub>)**

Le emissioni di ossidi di zolfo, costituite principalmente da anidride solforosa sono dovute prevalentemente all'uso di combustibili solidi e liquidi e sono correlate al contenuto di zolfo di questi ultimi. Gli ossidi di zolfo sono tipici inquinanti delle aree urbane e industriali, ove l'elevata intensità degli insediamenti ne favorisce l'accumulo, soprattutto in condizioni meteorologiche sfavorevoli. Le situazioni più gravi si presentano nei periodi invernali quando, alle altre fonti di emissione, si aggiunge il riscaldamento domestico. Danno luogo alle cosiddette "piogge acide".

### **pH**

Misura del grado di acidità di una soluzione acquosa. Il pH dell'acqua è pari a 7, valori inferiori indicano una soluzione acida, valori superiori indicano una soluzione alcalina.

### **PIROSCISSIONE**

Reazione di decomposizione per effetto dell'alta temperatura, di una molecola chimica. Ad esempio l'acido solforico ad alta temperatura (1000°C circa) si decompone producendo anidride solforosa.

### **POLICLOROBIFENILI (PCB)**

Composti organici aromatici contenenti cloro, in massima parte impiegati come fluidi isolanti nei trasformatori elettrici. Sono altamente tossici e difficilmente degradabili.

### **POLVERI (SOSPESE)**

Le polveri sospese (o particolato fine) sono costituite da particelle di dimensioni ridotte (molto meno di un millesimo di millimetro) da rimanere, anche per molto tempo, in sospensione in aria, prima di depositarsi al suolo. La composizione del particolato è molto varia (ad esempio, idrocarburi incombusti da motori diesel, idrocarburi pesanti parzialmente ossidati, metalli pesanti da impianti di combustione, ceneri vulcaniche, polveri, ecc.).

### **PORTATA**

Potenzialità massima del forno espressa in termini di tonnellate/ora dei rifiuti alimentati al forno stesso.

### **POTERE CALORIFICO**

È la quantità di energia contenuta in un dato materiale (rifiuto), sviluppabile quando esso è sottoposto a combustione. Si distingue in Superiore (PCS) e Inferiore (PCI), a seconda che l'umidità contenuta nei fumi sia considerata, allo stadio finale di riferimento, allo stato liquido o vapore. Il rendimento di recupero è, di norma, riferito al PCI.

### **QUENCH**

Rapido raffreddamento dei fumi di combustione ottenuto con iniezione di acqua attraverso spruzzatori. Ciò permette l'abbattimento della maggior parte delle polveri presenti nei fumi.

### **RECUPERO ENERGETICO**

Utilizzazione dell'energia termica liberata in un processo di combustione di rifiuti, per la produzione di vapore da cedere a terzi o da sfruttare in un ciclo termico, per la produzione di

energia elettrica.

### **RECUPERO DI MATERIA /RICICLAGGIO**

Le operazioni di recupero consentono di valorizzare e riutilizzare come “materie prime secondarie” scarti di produzione o di consumo (es. plastica, vetro, carta, metalli ecc.). In particolare si distingue:

- il riutilizzo consente l'utilizzo del materiale di scarto (rifiuto) nello stesso ciclo di produzione o di consumo originario;
- il riciclaggio consente l'utilizzo dei materiali di scarto (rifiuti) in un ciclo produttivo o di consumo diverso da quello originario.

### **RENDIMENTO**

Misura della efficacia del recupero energetico (termico o elettrico) espressa come rapporto fra l'energia recuperata e l'energia potenzialmente disponibile a monte di una trasformazione.

### **RIFIUTI**

Ai sensi del D.Lgs 22/97, si definisce un rifiuto qualsiasi sostanza od oggetto, di cui il detentore si disfi, o abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi.

La qualificazione di una sostanza come rifiuto è condizionata essenzialmente dal comportamento del produttore e quindi se questo si disfi o abbia intenzione di disfarsi o abbia l'obbligo disfarsi.

Il termine di disfarsi si riferisce alla destinazione di un materiale ad attività di smaltimento o di trattamento (es. recupero) per ottenere una materia prima secondaria o un prodotto. La qualificazione di una sostanza come rifiuto emerge in sostanza dal fatto che essa sia avviata ad una operazione di recupero o di smaltimento come indicate negli allegati B e C del D. Lgs 22/97.

### **RIFIUTI PERICOLOSI**

Secondo il D.Lgs. n. 22/97, sono pericolosi i rifiuti individuati in un apposito elenco allegato al decreto stesso.

Tale elenco, tiene conto dell'origine e della composizione dei rifiuti. Si considera infatti che i rifiuti pericolosi possiedano per definizione almeno una delle 14 caratteristiche di pericolo definite in relazione ai rischi per l'uomo e per l'ambiente secondo quanto previsto dalle norme comunitarie.

### **RIFIUTI SPECIALI**

Secondo il D.Lgs. n. 22. del 5.2.1997 sono rifiuti speciali:

- i rifiuti da attività agricole e agro-industriali;
- i rifiuti derivanti dalle attività di demolizione, costruzione, nonché i rifiuti pericolosi che derivano da attività di scarico;
- i rifiuti da lavorazioni industriali;
- i rifiuti da lavorazioni artigianali;
- i rifiuti da attività commerciali;
- i rifiuti da attività di servizio;
- i rifiuti derivanti dall'attività di recupero e smaltimento di rifiuti, i fanghi prodotti dalla potabilizzazione e da altri trattamenti delle acque e dalla depurazione delle acque reflue e da abbattimento dei fumi;
- i rifiuti derivanti da attività sanitarie;
- i macchinari e le apparecchiature deteriorati ed obsoleti;

- i veicoli a motore, rimorchi e simili fuori uso e loro parti;
- il combustibile derivato dai rifiuti.

### **RIFIUTI URBANI**

Secondo il D.Lgs. n. 22/97 sono rifiuti urbani:

- i rifiuti domestici, anche ingombranti, provenienti da locali e da luoghi adibiti ad uso di civile abitazione;
- i rifiuti non pericolosi provenienti da locali e luoghi adibiti ad usi diversi da quelli della lettera a), assimilati ai rifiuti urbani sulla base dei criteri dettati dal decreto stesso;
- i rifiuti provenienti dallo spazzamento delle strade;
- i rifiuti di qualunque natura o provenienza, giacenti sulle strade ed aree pubbliche o sulle strade ed aree private comunque soggette ad uso pubblico o sulle spiagge marittime e lacuali e sulle rive dei corsi d'acqua;
- i rifiuti vegetali provenienti da aree verdi, quali giardini, parchi ed aree cimiteriali;
- i rifiuti provenienti da esumazioni ed estumulazioni.

### **SCORIE (DA COMBUSTIONE)**

Residuo solido derivante dalla combustione di un materiale ad elevato contenuto di inerti (frazione incombustibile). È il caso, ad esempio, delle scorie prodotte nella combustione del carbone, dette anche ceneri pesanti, o nell'incenerimento dei rifiuti solidi urbani. In particolare, le scorie di un processo di termodistruzione di rifiuti urbani, costituite dalla frazione incombustibile degli stessi, più una piccola percentuale di incombusti, rappresentano il 20-25% in peso e circa il 10% in volume dei rifiuti di partenza.

### **SECCO**

Vedi frazione secca.

### **SISTEMA NON CATALITICO DI DEPURAZIONE DEGLI NO<sub>x</sub>**

Tecnologia per il controllo degli ossidi di azoto nelle emissioni gassose, che prevede l'iniezione di additivi (ammoniaca o urea) nella camera di combustione. La reazione avviene solo in una determinata finestra di temperatura (900-1000°C).

### **SOLIDIFICAZIONE/STABILIZZAZIONE**

I contaminanti vengono legati fisicamente o inclusi entro una massa stabilizzata nel caso della solidificazione, mentre nel caso della stabilizzazione intervengono reazioni chimiche tra l'agente stabilizzante e il contaminante per ridurre la sua mobilità. La stabilizzazione implica una trasformazione radicale delle caratteristiche chimiche e fisiche di un rifiuto. La solidificazione agisce solo sulle caratteristiche fisiche del materiale.

Tale sistema di trattamento è particolarmente indicato per l'isolamento dei metalli dalle matrici ambientali circostanti. Infatti utilizzando silicati e in genere leganti idraulici questi, a seguito dei processi di presa, formano matrici solide, insolubili e termodinamicamente stabili che inglobano i metalli pesanti impedendone il loro rilascio nel tempo. (vedi anche inertizzazione).

### **SMALTIMENTO DEI RIFIUTI**

Secondo la definizione del D.Lgs. n. 22/97, tale operazione include: deposito sul o nel suolo; trattamento in ambiente terrestre (ad esempio biodegradazione di rifiuti liquidi o fanghi nei suoli); iniezioni in profondità; lagunaggio; messa in discarica; scarico dei rifiuti solidi nell'ambiente idrico eccetto l'immersione; immersione, compreso il seppellimento nel sottosuolo marino; incenerimento a terra o a mare; deposito permanente (ad esempio, in una



miniera); altri trattamenti biologici; altri trattamenti fisico-chimici (ad esempio, evaporazione, essiccazione, calcinazione, ecc.); raggruppamento, deposito o ricondizionamento preliminare prima di una delle suddette operazioni.

### **SOLIDI SOSPESI TOTALI (SST)**

Materiale, di qualsiasi natura, in sospensione. La presenza di solidi sospesi oltre determinati limiti, altera la normale trasparenza dell'acqua.

### **STOCCAGGIO DEI RIFIUTI**

Deposito provvisorio o definitivo di rifiuti, effettuato previa autorizzazione degli organi statali competenti.

### **SEDIMENTAZIONE PRIMARIA / SECONDARIA**

I sedimentatori sono costituiti da vasche circolari o rettangolari in cemento o in ferro, aventi il fondo leggermente inclinato verso una zona dove il fango sedimentato viene convogliato, mediante opportuni meccanismi raschiafanghi. L'operazione di sedimentazione può intervenire in diverse fasi del trattamento di depurazione; nella maggioranza dei casi le vasche di sedimentazione vengono installate all'inizio del processo di depurazione, per rimuovere i solidi di grigliatura e dissabbiatura (sedimentazione primaria), dopo i processi biologici, per separare il fango attivo (sedimentazione secondaria) e, infine, dopo le operazioni di coagulazione e flocculazione, per separare le sostanze chimiche sedimentate.

### **TKN (Total Kieldhal Nitrogen)**

Misura della quantità totale di azoto contenuta nei reflui o rifiuti liquidi che l'impianto di depurazione è in grado di trattare. (vedi anche trattamento chimico fisico e biologico).

### **TORRE DI LAVAGGIO**

Colonna in cui i fumi di combustione vengono in contatto in controcorrente con un liquido (acqua e acqua con soda) che assorbe gli inquinanti acidi (HCl; HF, SO<sub>x</sub>).

### **TRATTAMENTO CHIMICO FISICO E BIOLOGICO / TRATTAMENTO BIOLOGICO**

Insieme dei trattamenti artificiali che permettono di eliminare totalmente o parzialmente da un'acqua le sostanze inquinanti. Esistono numerosi trattamenti di depurazione e il loro impiego dipende dalle caratteristiche dell'acqua da depurare e dal grado di depurazione che si vuole raggiungere. Gli impianti di depurazione si possono differenziare, a seconda dei processi di funzionamento su cui si basano, in fisici, chimico-fisici e biologici.

### **UREA**

É un composto organico, di formula chimica N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>CO, solubile in acqua. Costituisce uno dei normali prodotti del metabolismo biologico, dove si forma per degradazione delle proteine. Negli usi industriali viene usata come fertilizzante o come reagente in alcuni processi chimici.

### **VETRIFICAZIONE**

Processo di combustione ad alta temperatura (1300-1500 °C) in grado di fondere i residui inorganici non combustibili.