

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

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

5 Gestione dei rifiuti

(Impianti di trattamento meccanico biologico)

PREMESSA

Il presente documento riassume le proposte del Gruppo Tecnico Ristretto (GTR) sulla gestione dei rifiuti, istituito dalla Commissione Nazionale ex art. 3 comma 2 del D.Lgs 372/99, nell'ambito delle attività inerenti la redazione delle linee guida per l'individuazione delle migliori tecniche disponibili, meglio note con l'acronimo inglese di BAT (“**B**est **A**vailable **T**echniques”), ai fini del rilascio, da parte delle autorità competenti nazionali e regionali, dell'autorizzazione integrata ambientale (AIA).

Il GTR risulta così costituito:

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

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

- ing. Nadia Cipriani
- dott.ssa Francesca Lucignano

Ha collaborato ai lavori il dott. Massimo Centemero (Consorzio Italiano Compostatori)

A. SCOPI ED OBIETTIVI.....	5
B. IDENTIFICAZIONE DELLA NORMATIVA AMBIENTALE RILEVANTE DEL SETTORE.....	7
B.1 Normativa Comunitaria	7
B.2 Normativa Nazionale	9
B.3 La normativa specifica sul trattamento meccanico biologico	16
C. RICOGNIZIONE DELLA SITUAZIONE DEL SETTORE, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLE SPECIFICITA' DEL TESSUTO INDUSTRIALE NAZIONALE	18
C.1 Dati sulla quantità dei rifiuti trattati.....	18
C.2 La digestione anaerobica in Italia	18
C.3 Numero del personale impiegato	18
C. 4 Dati macroeconomici.....	19
C.5 Impatto ambientale del settore.....	19
D. DESCRIZIONE DEI PROCESSI DI PRODUZIONE, E DEGLI IMPIANTI PER I QUALI SONO ANALIZZATE LE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI.....	21
D.1. Il trattamento meccanico biologico (TMB)	21
D.1.1 Biostabilizzazione.....	21
D.1.2 Bioessiccazione	23
D.1.3 I fondamenti del processo di biotrasformazione.....	25
D.2 La digestione anaerobica	25
D.2.1. Le fasi del processo di digestione anaerobica.....	26
D.2.2 I diversi processi di digestione anaerobica	30
D.2.2.1 Processi di digestione a fase unica.....	30
D.2.2.2 Processi di digestione a due fasi	36
D.3 I sistemi tecnologici.....	37
D.3.1 . Stoccaggio	37
D.3.2 Pretrattamenti	40
D.3.3. Fase di Trattamento Biologico	45
D.3.4 . Post-Trattamenti: principali operazioni e tecnologie disponibili.....	52
D.3.5 Stoccaggio finale	62
D.4 I presidi ambientali	63
E. DESCRIZIONE DELLE ANALISI ELABORATE IN AMBITO COMUNITARIO PER LA INDIVIDUAZIONE DELLE BAT, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO, OVE DISPONIBILI ALLE CONCLUSIONI DEI BREF	72
E.1. Concetto generale di migliori tecniche e tecnologie per lo specifico settore	72
E. 2 Aspetti tecnici e tecnologici del Trattamento Meccanico – Biologico.....	73
E.2.1. Aspetti tecnici e tecnologici del Trattamento Aerobico	73
E.2.2 Aspetti tecnici e tecnologici della Digestione Anaerobica.....	78
E.2.3 Aspetti tecnici e tecnologici dei presidi ambientali.....	81
E.3 Aspetti ambientali	84
E.3.1 Impatto sull'ambiente	84
E.3.2. Bilancio di materia	85
E.3.3 Consumi negli impianti di trattamento biologico.....	90
E.3.4 Rendimenti.	93
E.3.5 Emissioni e produzione di rifiuti.....	98
E.3.6 Analisi dei rischi	110
E.4 Migliori tecniche e tecnologie degli impianti di trattamento meccanico - biologico.....	113
E.4.1 Configurazione base di un impianto	113
E.4.2 Stoccaggio.....	116
E.4.3 Movimentazioni	116
E.4.4 Modalità di realizzazione delle linee di trattamento	116
E.4.5 Manutenzione.....	118
E.4.6 Accorgimenti per limitare la diffusione di rifiuti negli ambienti di lavoro	118
E.4.7 Limitazione delle emissioni	119
E.4.8 Sicurezza e prevenzione degli infortuni	121
E.5 Migliori tecniche di gestione degli impianti di trattamento meccanico - biologico	122
E.5.1 Piano di gestione operativa	122
E.5. 2 Programma di sorveglianza e controllo (PSC).....	122
E.5.3 Strumenti di gestione ambientale	128
E.5.4 Aspetti di pianificazione e gestione	128

F. IDENTIFICAZIONE DI EVENTUALI TECNICHE ALTERNATIVE E DEFINIZIONE OVE POSSIBILE DEL RANGE DI PRESTAZIONE	130
G. 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	132
H . ANALISI DELL'APPLICABILITA' AD IMPIANTI ESISTENTI DELLE TECNICHE DI PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO ELENCALE AL PUNTO PRECEDENTE.....	134
H.1 Applicazione delle BAT	134
H.1.1 Le dimensioni dell'impianto.....	134
H.1.2 L'età dell'impianto	134
H.1.3 L'ubicazione e il contesto locale	134
H.1.4 Le caratteristiche dei rifiuti trattati.	134
H.1.5 Presenza di vincoli di carattere tecnico.....	135
H.2 Interventi per l'applicazione delle BAT	135
I FATTIBILITÀ ECONOMICA DELLE TECNICHE ELENCALE ANALIZZATA ATTRAVERSO ANALISI COSTI-BENEFICI	136
I.1 Considerazioni economiche di carattere generale sugli impianti di trattamento meccanico biologico	136
I.1.1 Costi di investimento e di gestione per impianti di trattamento aerobico.....	136
I.1.2 Costi di investimento e di gestione per impianti di trattamento anaerobico.....	137
J. DEFINIZIONE DEI CRITERI DI INDIVIDUAZIONE E UTILIZZAZIONE DELLE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI.....	138
J.1 La definizione di BAT.....	138
J.1.1 La direttiva 96/61/CE.....	138
J.1.2 Impatto ambientale e rischi	138
J.1.3 Fattibilità tecnico-economica.....	138
J.1.4 Processo decisionale per l'individuazione delle BAT.....	138
J.2 Criteri di individuazione delle BAT.....	138
J.2.1. Impiego di tecniche a scarsa produzione di rifiuti	138
J.2.2 Impiego di sostanze meno pericolose	139
J.3 Tecniche per il recupero/riciclo delle correnti in uscita al processo e dei rifiuti	139
J.4 Processi, sistemi o metodi operativi sperimentati su scala industriale.....	139
J.5 Progressi in campo tecnico e evoluzione delle conoscenze in campo scientifico	139
J.6 Natura, effetti e volume delle emissioni	139
J.7 Messa in funzione degli impianti nuovi o esistenti.....	139
J.8 Tempo richiesto per l'adozione di una migliore tecnica disponibile	139
J.9 Consumo di risorse	140
J.10 Prevenzione e riduzione dell'impatto globale sull'ambiente	140
J.11 Prevenzione degli incidenti e minimizzazione degli effetti	140
BIBLIOGRAFIA.....	141
GLOSSARIO.....	142

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" con sede presso il Centro Comunitario di Ricerche di Siviglia. L'ufficio in questione coordina una serie di gruppi tecnici cui spetta il compito di redigere dei documenti di riferimento per l'individuazione delle BAT, i cosiddetti "**B**est Available Techniques **R**eference documents", (BRefs).

Nel presente documento sono riportati i risultati del lavoro del GTR sottogruppo "Impianti di trattamento meccanico biologico".

Riguardo agli impianti trattati nel presente documento, va evidenziato che sono individuati dalla Direttiva IPPC nell'ambito delle operazioni di trattamento di rifiuti non pericolosi di cui all'allegato IIA della direttiva 75/442/CEE al punto D8.

Nel corso dei vari capitoli, delle presenti linee guida, si fa riferimento al documento Europeo "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industry" (WT BRef).

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

A tale fine si è cercato di fornire:

- un quadro quanto più esaustivo dello stato attuale e delle prospettive riguardo ai processi ed alle tecnologie del trattamento biologico dei rifiuti, includendo in tale accezione non solo i rifiuti urbani (RU), ma anche i rifiuti speciali (RS);
- una sintesi dei lavori svolti a livello europeo, le cui conclusioni (ancora parziali) sono riportate nel summenzionato BRef;
- 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 che la loro applicabilità non può risultare di carattere generale, essendo fortemente influenzata dalla tipologia di rifiuti trattati e, soprattutto, dalle condizioni locali nel quale lo specifico impianto è o dovrà essere installato.

Al 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 DEL 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

Working document 2nd Draft 12 febbraio 2001 *biological treatment of biowaste*

Working document 3nd Draft 27 aprile 2000 *on sludge*

Direttiva 75/442/CEE del 15 luglio 1975 *relativa ai rifiuti, così 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/CEE del 1° ottobre 1985 *recante sesta modifica (PCB/PCT) della direttiva 76/769/CEE concernente il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative degli Stati membri relative alle restrizioni in materia di ammissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi.*

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

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

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

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

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

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

Reg. CEE 1 febbraio 1993, n. 259 *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 28 dicembre 2001, n. 2557)*

Reg. CEE 23 marzo 1993, n. 793 *"Valutazione e controllo dei rischi presentati dalle sostanze esistenti".*

Reg. CE 28 giugno 1994, n. 1488 *"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".*

Reg CE 3 ottobre 2002 n.1774 *relativo alle norme sanitarie applicabili ai sottoprodotti di origine animale non destinati al consumo umano*

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.*

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).

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

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

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

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

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

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

Direttiva 2000/59/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 nel mercato interno 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 2002/525/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.

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

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

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

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

Direttiva 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).

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

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

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 "Modifiche alla direttiva 94/62/CE sugli imballaggi e i 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 19 ottobre 1984 n.748 e successive modificazioni Nuove norme per la disciplina dei fertilizzanti

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 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE 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 – 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 28 dicembre 1993, n. 549 “Misure a tutela dell’ozono stratosferico e dell’ambiente”, modificata dalla legge 16 giugno 1997, n. 179”.

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”

D.M. 16 gennaio 2004, n. 44 “Recepimento della direttiva 199/13/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*

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.Lgs. 4 agosto 1999, n. 372 *“Attuazione della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrata dell'inquinamento” (IPPC).*

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 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).

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 policlorotriifenili (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. 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”.

Sicurezza e igiene sul 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.M. 12 novembre 1999 “Modificazioni all’allegato 11 del D.Lgs. 242/96”.

D.Lgs. 4 agosto 1999, n. 359 “Attuazione della direttiva 95/63/CE che modifica la direttiva 89/655/CEE relativa ai requisiti minimi di sicurezza e salute per l’uso di attrezzature di lavoro da parte dei lavoratori”.

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”.

B.3 La normativa specifica sul trattamento meccanico biologico

La regolamentazione in materia di produzione e impiego dei rifiuti biodegradabili sottoposti a trattamento biologico è affidata, ad oggi, ai diversi Stati Membri, non essendo stata emanata alcuna direttiva in materia di qualità del compost atta ad armonizzare le normative nazionali. Il recupero della frazione biodegradabile dei rifiuti al fine di ridurre i quantitativi avviati a smaltimento, riveste un ruolo primario per attuare quanto previsto dalla strategia europea in materia di rifiuti. La direttiva 1999/31/CE in materia di discariche introduce, inoltre, specifici obiettivi di riduzione dei rifiuti organici da avviare allo smaltimento in discarica.

A livello di Commissione Europea tale problema è ben presente, tanto che sono stati avviati i lavori per pervenire ad uno strumento normativo comune relativo alla gestione dei rifiuti organici biodegradabili che ha comportato l’elaborazione, da parte della DG Ambiente, di un documento di lavoro portato alla discussione con gli Stati Membri (seconda bozza del 12

febbraio 2001). Tale documento introduce disposizioni atte a regolamentare in maniera completa le attività di compostaggio e digestione anaerobica individuando la lista positiva dei rifiuti biodegradabili ammessi al trattamento biologico (allegato 1), i requisiti relativi all'igienizzazione in termini di validazione del processo (allegato 2), le classi di qualità del compost digestato e dei rifiuti biostabilizzati (allegato 3), i metodi di analisi e campionamento dei rifiuti trattati biologicamente (allegato 4), i requisiti generali degli impianti di trattamento biologico (localizzazione, trattamento delle acque reflue e del percolato, controllo degli odori-allegato V) e i requisiti per l'utilizzazione del biogas.

La normativa di riferimento in materia di compost da rifiuti indifferenziati, ossia il compost ottenuto da matrici organiche ottenute per selezione meccanica all'impianto, o, comunque, da matrici le cui caratteristiche non consentono di ottenere compost con i requisiti di ammendante commerciale, sono il D. Lgs 22/97 e la Deliberazione 27 Luglio 1984.

La realizzazione e la gestione degli impianti di trattamento biologico di rifiuti indifferenziati sono, quindi, sottoposte alla disciplina autorizzativa di cui agli artt.27 e 28 del Dlgs.22/97.

La deliberazione 27 luglio 1984 pone forti limitazioni all'uso del prodotto in relazione al contenuto di metalli pesanti rapportato a quello dei terreni ricettori, alle caratteristiche agronomiche e all'accettabilità ai fini della tutela ambientale.

Per il compost da rifiuti indifferenziati un impiego di elezione può essere rappresentato, piuttosto, dalla destinazione ad attività paesistico ambientali, per le quali viene richiesta la disponibilità di sostanza organica stabilizzata al fine di migliorare le caratteristiche dei materiali inerti impiegati. Tra queste:

- la sistemazione di aree di rispetto di autostrade e ferrovie (scarpate, argini, terrapieni);
- la costituzione di aree verdi di grandi dimensioni: costituzione di parchi pubblici, campi da golf, campi da calcio;
- il recupero ambientale di cave esaurite;
- il ripristino ambientale di aree inquinate, conformemente a quanto previsto da D.lgs 22/97 (art. 22) che menziona esplicitamente l'opportunità di privilegiare l'impiego di materiali provenienti da attività di recupero di rifiuti urbani;
- capping periodico durante la coltivazione delle discariche;
- la sistemazione post chiusura di discariche esaurite.

A livello nazionale è stato predisposto uno schema di decreto ministeriale relativo al trattamento biologico dei rifiuti; in linea con gli orientamenti comunitari, esso individua una serie di disposizioni in merito ai requisiti tecnici degli impianti di trattamento biologico, alle condizioni per l'igienizzazione (che ricalcano quelle previste dal Documento di lavoro della DG Ambiente della Commissione Europea), alle caratteristiche dei rifiuti ammessi alla produzione di compost e biostabilizzato aerobico ed anaerobico, alle modalità di utilizzo dei materiali prodotti dal trattamento ed alla frequenza e metodiche di campionamento ed analisi.

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

C.1 Dati sulla quantità dei rifiuti trattati

I dati relativi al numero degli impianti e alle relative quantità trattate sono oggetto di puntuali censimenti effettuati dall'Agenzia per la Protezione dell'ambiente e per i Servizi Tecnici APAT e pubblicati nei Rapporti annuali sui rifiuti.

C.2 La digestione anaerobica in Italia

Nel corso degli ultimi dieci anni la digestione anaerobica si è diffusa in molti Paesi europei, tra cui anche l'Italia.

Questi impianti vengono realizzati non solo allo scopo di recuperare energia rinnovabile, biogas, ma anche di controllare le emissioni osmogene e di stabilizzare le biomasse prima del loro utilizzo agronomico. Da un censimento condotto nel 1999 sono risultati già operativi circa quaranta di questi impianti. Le informazioni raccolte dalle Ditte che producono questo genere di impianti hanno evidenziato che dal 1999 al 2002 sono stati realizzati altri 30 impianti.

C.3 Numero del personale impiegato

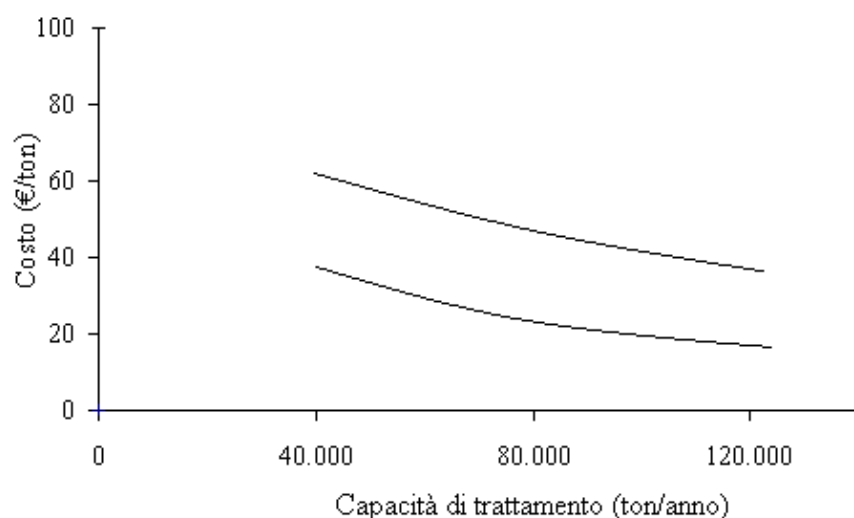
Nella **tabella 1** sono riportati i dati forniti dal Consorzio Italiano Compostatori sul fatturato annuo delle aziende che hanno impianti di Trattamento Meccanico Biologico Aerobico (2001).

Tabella 1: Fatturato annuo di aziende con impianti di TMB

Trattamento	Impianti	Fatturato (mln €)	Valore impianti (mln €)	n° addetti	Fatturato annuo per u.l. (000 €)
FO da RU da selez. meccanica	38	1.672,8	1.780,7	675	2478,5

C. 4 Dati macroeconomici

Sulla base dell'esperienza di aziende operanti nel settore dei trattamenti aerobici, sono state tratte indicazioni sui costi specifici di trattamento in rapporto alle dimensioni degli impianti. Relativamente agli impianti di trattamento di matrici ad alta putrescibilità, in **figura 1** sono rappresentati i costi relativi agli impianti di stabilizzazione/bioessiccazione e di compostaggio da rifiuti urbani.



Nota: I calcoli tengono conto dei costi di investimento (ammortamento in 12 anni al 4% di interesse) e di gestione (personale, manutenzione impianto, consumi).

Figura 1: Stabilizzazione/bioessiccazione e compostaggio da rifiuti urbani. Andamento del costo specifico di trattamento per tonnellata di rifiuti trattati al variare della taglia dell'impianto. Le due linee rappresentano i costi minimi e massimi rilevati

C.5 Impatto ambientale del settore

In linea di principio l'attività di trattamento dei rifiuti ai fini del recupero di materiali e di energia permette di diminuire l'estrazione di materie prime minerali, il consumo di prodotti finiti e di combustibili. La prevenzione della produzione e il riciclo dei rifiuti fanno, quindi, parte di una strategia di gestione dei rifiuti che la Comunità Europea intende adottare nel prossimo futuro (v. Comunicazione della Commissione: "verso una strategia tematica di prevenzione e riciclo dei rifiuti" - Bruxelles 27/5/2003 – Com (2003) 301 definitivo). Si procede, infatti, nel presupposto che il bilancio ambientale complessivo sia positivo, anche se la stessa Comunità Europea indica come necessaria la verifica con metodologie del tipo L.C.A. delle attività di recupero e riciclaggio, sottolineando la necessità di adottare tecnologie che assicurino un'elevata efficienza di recupero ed effettivo riciclaggio.

La valutazione di impatto ambientale rappresenta un valido strumento tecnico - amministrativo per valutare gli effetti sull'ambiente che la progettazione, la realizzazione e l'esercizio di tale opera determineranno e per individuare quali misure compensative devono essere adottate per ridurre al minimo i potenziali impatti negativi.

Se si analizzano gli impatti dovuti al trattamento biologico dei rifiuti si devono considerare:

- emissioni/impatti odorigeni generati soprattutto dalle fasi di ricezione delle materie prime, stoccaggio pretrattamento e delle prime fasi di bioconversione;
- le emissioni di rumori, che possono essere importanti quando si usano macchine per riduzione volumetrica (trituratori, mulini, vagli)
- produzione polveri e particolato fine (polveri dotate di reattività biologica-bioparticolato, endotossine – tossine prodotte all'interno delle cellule di alcuni microrganismi e rilasciate a seguito degli involucri cellulari)
- consumi energetici
- consumi idrici per la conduzione del processo
- inserimento territoriale e paesaggistico

D. DESCRIZIONE DEI PROCESSI DI PRODUZIONE, E DEGLI IMPIANTI PER I QUALI SONO ANALIZZATE LE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI

D.1. Il trattamento meccanico biologico (TMB)

Il trattamento meccanico biologico (TMB) consta di due fasi ben differenziate:

- il trattamento meccanico (pre e/o post trattamento del rifiuto) il rifiuto viene vagliato per separare le diverse frazioni merceologiche e/o condizionato per raggiungere gli obiettivi processistici o le performances di prodotto;
- il trattamento biologico processo biologico volto a conseguire la mineralizzazione delle componenti organiche maggiormente degradabili (stabilizzazione) e la igienizzazione per pastorizzazione del prodotto.

Gli scopi dei trattamenti biologici sono quindi:

- a) raggiungere la stabilizzazione della sostanza organica (ossia la perdita di fermentescibilità) mediante la mineralizzazione delle componenti organiche più facilmente degradabili, con produzione finale di acqua ed anidride carbonica e loro allontanamento dal sistema biochimico;
- b) conseguire la igienizzazione della massa; debellando i fitopatogeni presenti nei residui vegetali, nonché i patogeni umani veicolati presenti nei materiali di scarto (es.: fanghi civili);
- c) ridurre il volume e la massa dei materiali trattati.

Attualmente in Italia ed in Europa si possono identificare due tipologie di trattamento meccanico biologico della frazioni residue:

- trattamento a differenziazione di flussi: trattamenti meccanico-biologici in cui un pretrattamento meccanico del rifiuto in ingresso all'impianto, permette di ottenere una frazione "organica" (frazione sottovaglio; $\varnothing < 50 - 90$ mm) da destinarsi a trattamento biologico e di una frazione secca (sovvallo $\varnothing > 50 - 90$ mm) da destinarsi, alla valorizzazione energetica o in discarica;
- trattamento a flusso unico: trattamenti meccanico-biologici in cui tutto il rifiuto in ingresso all'impianto subisce un trattamento biologico, mentre il trattamento meccanico si limita ad una semplice frantumazione del rifiuto.

D.1.1 Biostabilizzazione

La biostabilizzazione è un trattamento conosciuto come trattamento meccanico-biologico, noto anche come MBE (Mechanical Biological end Composting) ed è attualmente tra i più diffusi in Europa ed in particolare in Germania.

L'obiettivo del sistema MBE è ottenere, inseguito alla biossidazione della sostanza organica putrescibile, un prodotto stabile da un punto di vista biologico, tale da potersi ritenere "inerte".

La stabilità biologica viene raggiunta, come prima evidenziato, attraverso un trattamento a "differenziazione di flussi", in cui si individuano tre tappe distinte (Figura 2):

- *pre-trattamento meccanico*: volto a separare la cosiddetta frazione "secca" (sovvallo) dalla frazione umida (sottovaglio) che concentra in sé il materiale organico;
- *stabilizzazione della frazione umida*: in seguito a processi ossidativi da parte di microrganismi, mediante il periodico rivoltamento, aerazione e bagnatura della massa,

allo scopo di ottenere un prodotto il più possibile stabile da un punto di vista biologico;

- eventuale *post-trattamento meccanico*: per la raffinazione del materiale da destinare all'attività di ripristino ambientale o alla copertura giornaliera di discariche;
- un'alternativa al trattamento a “separazione di flussi” è data da quello a “flusso unico”, dove tutto il rifiuto in ingresso all'impianto subisce un trattamento biologico, mentre il trattamento meccanico si limita ad una semplice frantumazione del rifiuto

In figura 2 è descritto il processo di biostabilizzazione ed i relativi bilanci di massa. La stabilità biologica può anche essere raggiunta con un processo “a flusso unico” descritto in figura 3.

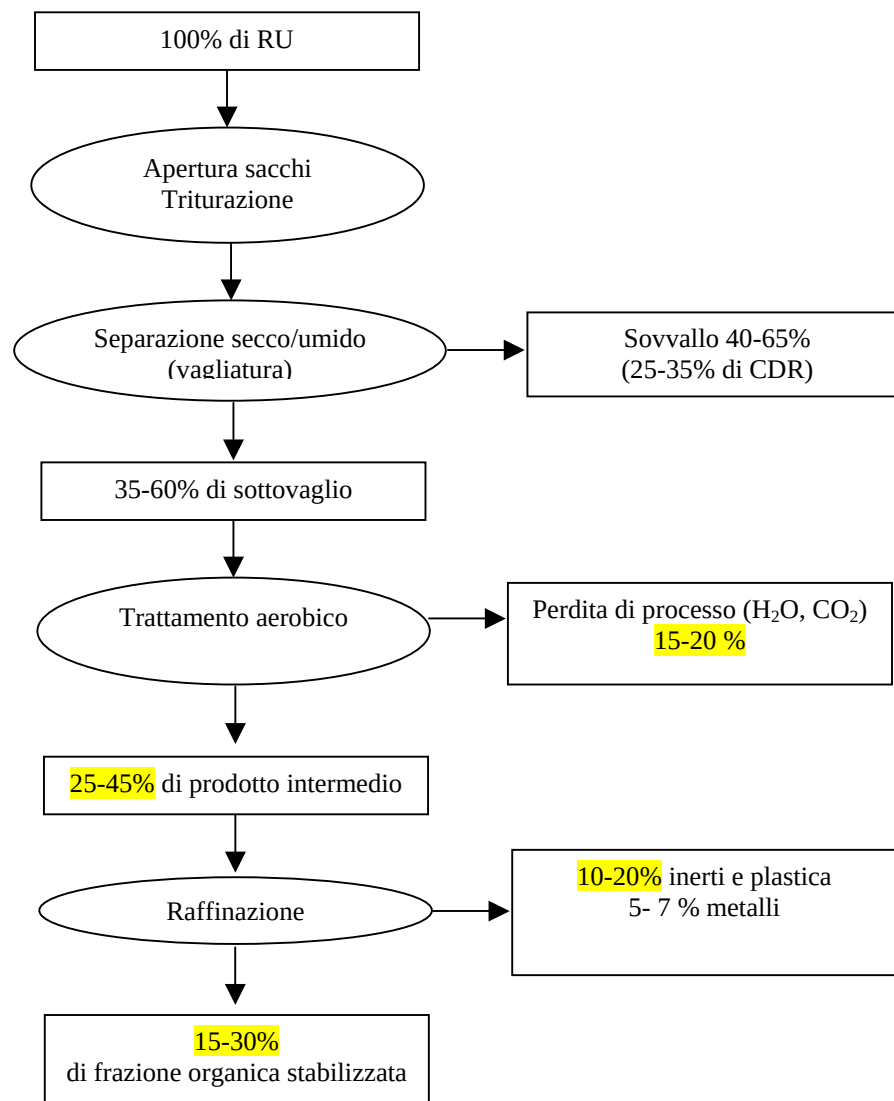


Figura 2: Biostabilizzazione (MBE): schema di processo e bilancio di massa con metodo a separazione di flusso

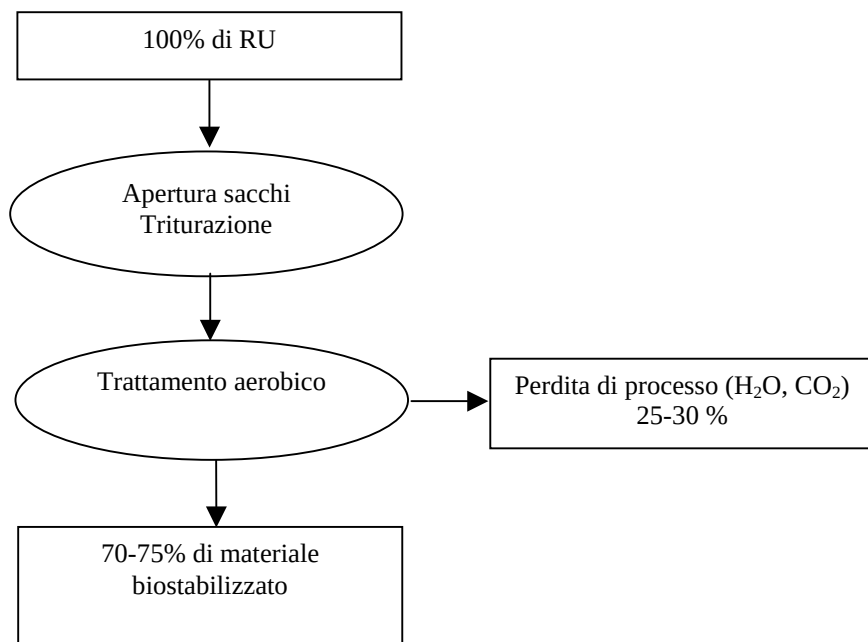


Figura 3: Biostabilizzazione (MBE): schema di processo e bilancio di massa con metodo a flusso unico

D.1.2 Bioessiccazione

Il processo di bioessiccamento per la gestione dei rifiuti è noto in letteratura con la definizione di *Mechanical-Biological and Stabilate Method* (MBS) (Wiemer e Kern, 1996), tale processo ha lo scopo primario di ridurre l'umidità del rifiuto a seguito di una fase di bioossidazione della sostanza organica.

Questo processo ha due obiettivi fondamentali:

1. assicurare la stabilità biologica dei rifiuti per lo stoccaggio a lungo termine, in modo tale da ridurre od eventualmente annullare emissioni maleodoranti di gas e polveri, ed igienizzare il rifiuto;
2. produrre un buon substrato per la termoutilizzazione (elevato potere calorifico).

Il carbonio contenuto nei rifiuti rappresenta il potenziale energetico; è quindi auspicabile ridurre al massimo la decomposizione della sostanza organica al fine di mantenere elevato il potere calorifico. La stabilizzazione del rifiuto avviene tramite la riduzione del contenuto percentuale di umidità fino a valori del 7-15 % (in funzione dell'umidità iniziale); in tali condizioni ogni attività biologica è soppressa e non si ha degradazione.

Il bioessiccamento viene raggiunto attraverso due stadi principali:

- triturazione meccanica blanda del rifiuto tal quale, per aumentarne la superficie di evaporazione e di scambio della massa, ottenendo così un'accelerazione dei processi di bioessiccamento;
- trattamento biologico della matrice precedentemente triturata. Questo stadio avviene a mezzo di aerazione forzata della biomassa, sfruttando il calore sviluppato dalle

reazioni biologiche aerobiche. Il prodotto finale bioessiccato, ottenuta a seguito di una fase di raffinazione, dotato di buon potere calorifico, può essere utilizzato, come combustibile (CDR) in impianti di termoutilizzazione, dove si sfrutta il calore prodotto dalla combustione per il riscaldamento delle abitazioni o lo si converte in altre forme di energia.

Lo schema seguente (figura 4) mostra il processo di bioessiccazione con i relativi bilanci di massa.

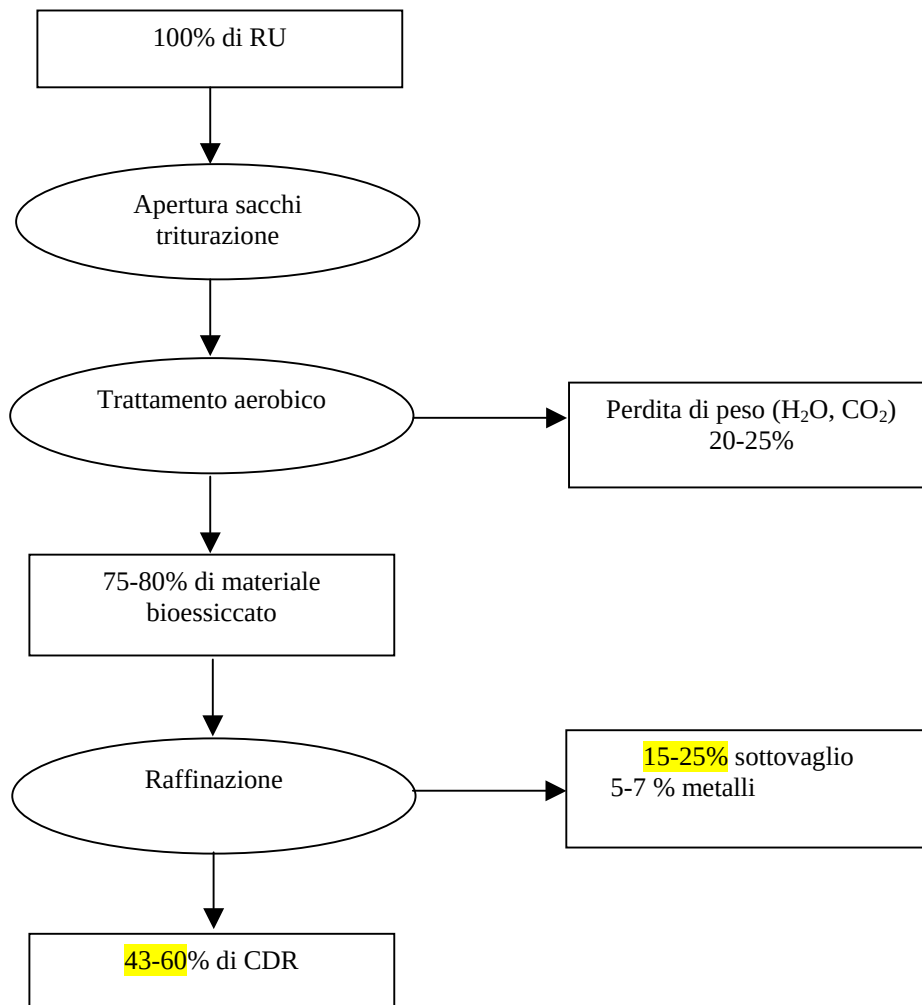


Figura 4: Bioessiccazione (MBS): schema di processo e bilancio di massa.(Linee Guida CITEC)

D.1.3 I fondamenti del processo di biotrasformazione

Una serie di fattori fisico-chimici ed edafici (cioè attinenti alle specifiche caratteristiche del substrato) condiziona l'andamento delle reazioni biologiche che caratterizzano il processo di biotrasformazione, e vanno presi in considerazione per una rigorosa gestione del processo sono:

- la concentrazione di ossigeno e l'aerazione;
- la ricerca delle condizioni termometriche ottimali nelle diverse fasi del processo, infatti se per il conseguimento della pastorizzazione il materiale va mantenuto per un tempo relativamente prolungato a temperature relativamente elevate (almeno 3 giorni a 55°C, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia), la massima velocità delle attività microbiche si consegue, in realtà, successivamente in condizioni mesofite (40-50°C) con un forte rallentamento al di sopra dei 55°C;
- l'umidità, che deve essere sufficiente alle attività microbiche, ma non eccessiva in quanto occupando gli spazi vuoti ostacolerebbe il rifornimento di ossigeno;
- gestione, controllo ed abbattimento dei potenziali impatti odorigeni delle fasi critiche, individuabili soprattutto in quelle iniziali.

Lo strumento principale di gestione del processo è rappresentato dalla areazione della biomassa, che può essere naturale (per diffusione) o forzata. L'aria fa da vettore di ossigeno, garantendo l'aerobiosi del processo; contemporaneamente assicura il drenaggio di calore (soprattutto nel caso dell'areazione forzata, le deboli correnti convettive che si hanno nel caso dell'areazione naturale danno un contributo limitato alla termoregolazione), e consente, dunque, il controllo termico delle condizioni di processo, evitando il sovrariscaldamento della biomassa; infine, diventa inevitabilmente il vettore degli effluenti aeriformi potenzialmente odorigeni. Senza una sufficiente ossigenazione, la biomassa substrato diventa anossica e la microflora microbica anaerobica prende il sopravvento, portando all'accumulo di composti ridotti caratterizzati da odore aggressivo ed elevata fitotossicità; la canalizzazione delle arie esauste ne consente il trattamento con le tecnologie specifiche di abbattimento e/o dispersione degli odori.

Il mantenimento di un ambiente ossidativo all'interno della biomassa, in corso di stabilizzazione, è quindi importante anche per impedire le reazioni di decomposizione anaerobica.

Il sistema di areazione, naturale o forzata, deve poi essere coordinato con la eventuale movimentazione/rivoltamento della biomassa a seconda delle principali caratteristiche della biomassa stessa, quali la sua altezza, porosità e fermentescibilità; il rivoltamento inteso a ricostruire nella massa il grado di strutturazione necessaria alla diffusione dell'aria, dovrà essere tanto più frequente quanto minore è la percentuale di materiale di struttura nella miscela di partenza, e quanto maggiore risulta l'altezza dello strato di biomassa.

D.2 La digestione anaerobica

Con il termine digestione anaerobica si intende il processo biologico di stabilizzazione (riduzione del contenuto di carbonio o C/N) di un substrato organico putrescibile condotto in uno o più reattori controllati in assenza di ossigeno attraverso idrolisi, metanogenesi e acidogenesi.

Lo scopo del processo è quello di ottenere una stabilizzazione del rifiuto, intesa come riduzione almeno del 50% della frazione volatile, con conseguente riduzione del rapporto C/N e contemporaneamente un recupero energetico del biogas prodotto. Infatti, la degradazione biologica della sostanza organica in condizione di anaerobiosi (in assenza, cioè, di ossigeno molecolare, come O₂, o legato ad altri elementi, come nel caso dell'azoto nitrico, NO₃⁻),

determina la formazione di diversi prodotti, i più abbondanti dei quali sono due gas: il metano ed il biossido di carbonio. Qualora si considerino substrati organici complessi, si possono ottenere ulteriori prodotti del processo degradativo anaerobico, tra quelli di maggior rilievo, troviamo l'ammoniaca derivante dalla degradazione delle proteine.

La degradazione biologica coinvolge diversi gruppi microbici interagenti tra loro: i batteri idrolitici, i batteri acidificanti (acetogeni ed omoacetogeni) ed infine, i batteri metanogeni, quelli cioè che producono metano e CO₂, con prevalenza del gas di interesse energetico, che rappresenta circa i 2/3 del biogas prodotto. I batteri metanogeni occupano, quindi, solo la posizione finale della catena trofica anaerobica. Il metano, poco solubile in acqua, passa praticamente nella fase gassosa, mentre la CO₂ si ripartisce nella fase gassosa e nella fase liquida.

I processi anaerobici controllati possono essere suddivisi secondo i criteri riportati nello schema seguente.

Tabella 2: I diversi processi anaerobici

CRITERI	CARATTERISTICHE
Regime termico	Psicrofilia (20°C), poco utilizzato
	Mesofilia(35-37°C)
	Termofilia (55°C ed oltre)
Contenuto di solidi in reattore	Processo umido (5-10% TS)
	Processo semi secco (TS reattore=10-20%)
	Processo secco (TS reattore> 20%)
Fasi biologiche	Unica (l'intera catena microbica mantenuta in singolo reattore)
	Separate (fase idrolitica e fermentativa sono separate da quella metanogenica)

D.2.1. Le fasi del processo di digestione anaerobica

La conversione di substrati organici complessi in metano avviene, come accennato, attraverso una catena trofica anaerobica. Ad essa partecipano almeno tre gruppi metabolici distinti di microrganismi che si differenziano sia per i substrati, che per i prodotti del loro metabolismo. Nel corso del processo biodegradativo si hanno in particolare tre stadi: una prima fase di idrolisi dei substrati complessi accompagnata da acidificazione con formazione di acidi grassi volatili, chetoni ed alcoli; una seconda fase acetogenica, in cui, a partire dagli acidi grassi, si ha la formazione di acido acetico, acido formico, biossido di carbonio ed idrogeno molecolare ed, infine, una terza fase in cui, a partire dai prodotti della fase precedente, si osserva la metanizzazione, cioè la formazione di metano a partire dall'acido acetico o attraverso la riduzione del biossido di carbonio utilizzando l'idrogeno come co-substrato. In minor misura si ha la formazione di metano a partire dall'acido formico.

Il processo di digestione anaerobica é schematicamente illustrato in figura 5, mentre l'insieme dei principali processi coinvolti nelle diverse fasi della digestione anaerobica e le diverse relazioni che intercorrono tra i gruppi di batteri sono riportate in figura 6. Le varie fasi del processo illustrate in figura 5 e 5 sono di seguito discusse con maggior dettaglio.

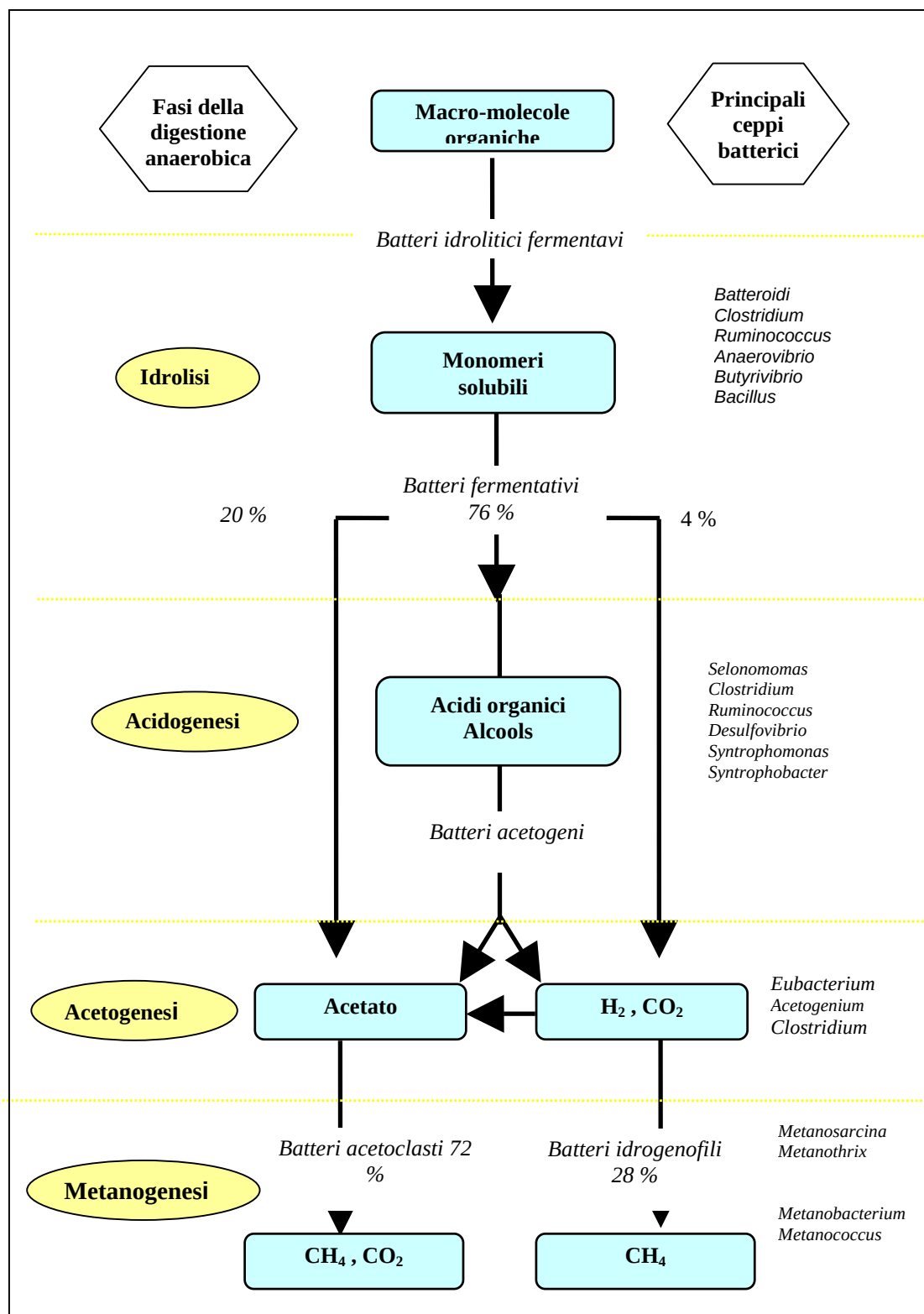


Figura 5: Schema generale del processo di digestione anaerobica

Idrolisi ed acidificazione

In questa prima fase, per intervento di diversi gruppi batterici, si ha la degradazione di substrati organici complessi particolati o solubili, quali proteine, grassi e carboidrati, con formazione di composti semplici, quali aminoacidi, acidi grassi e monosaccaridi in forma solubile (fig. 6). In particolare, i microrganismi idrolizzanti possono colonizzare il materiale particolato e degradarlo, oppure produrre enzimi extracellulari in grado di scindere le molecole organiche complesse in oligomeri e monomeri che sono quindi resi disponibili per il trasporto all'interno delle cellule di microrganismi acidogenici fermentanti. Questi operano generalmente l'ossidazione dei substrati organici semplici a piruvato che viene poi trasformato in acidi grassi volatili, alcoli e chetoni che rappresentano i substrati di partenza per la successiva fase acetogenica.

Il processo idrolitico può essere inibito dall'accumulo di aminoacidi e zuccheri a causa dell'interferenza nella produzione ed attività degli enzimi idrolitici.

Contestualmente all'idrolisi del materiale organico complesso, particolato o solubile, avviene il processo fermentativo acidogenico in cui i batteri fermentativi degradano i monomeri ed oligomeri organici, zuccheri, acidi grassi ed aminoacidi, producendo acidi grassi volatili, per lo più a catena corta quali il propionato ed il butirrato.

Dalla fermentazione degli aminoacidi viene inoltre prodotto ammonio. In generale il processo idrolitico non implica la crescita di microrganismi.

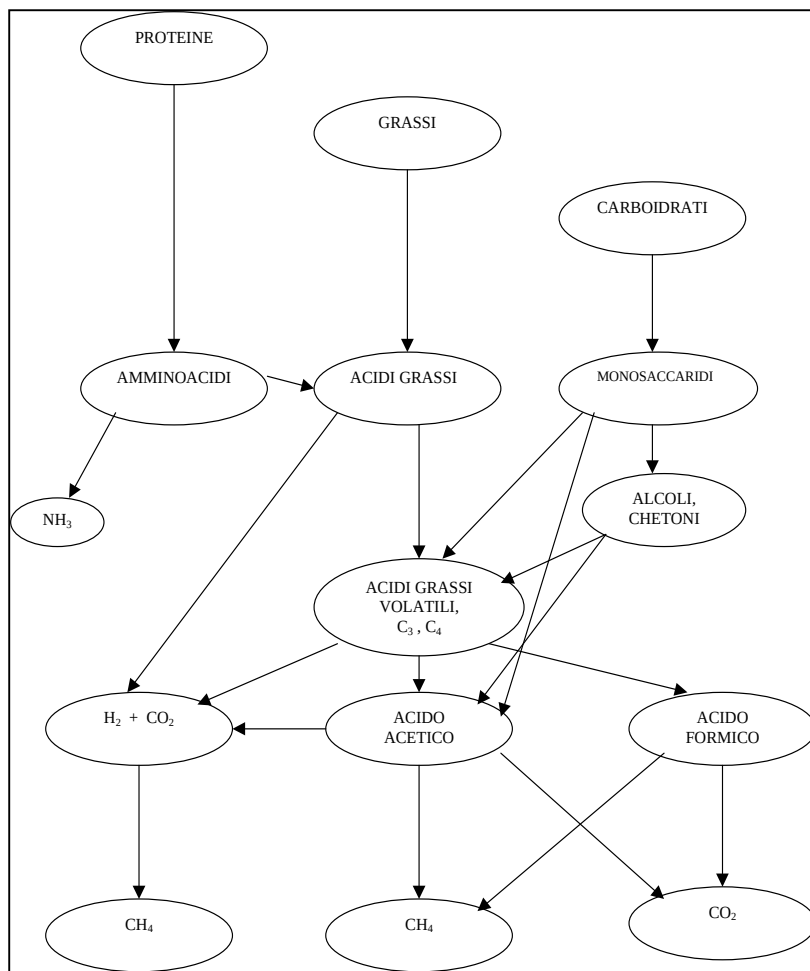


Figura 6: Diagramma complesso delle diverse fasi coinvolte nel processo di digestione anaerobica.

Acetogenesi

A partire dai substrati formati nel corso della fase di idrolisi ed acidificazione (acidi volatili, essenzialmente propionato e butirrato, ma anche alcoli) i batteri acetogeni producono acido acetico, acido formico, CO_2 ed H_2 . Angelidaki et al. (1998) hanno riportato che due differenti meccanismi devono essere considerati a seconda che la degradazione avvenga a partire da acidi grassi a catena lunga (LCFA, long chain fatty acids) o a catena corta (SCFA, short chain fatty acids, o VFA, volatile fatty acids). In generale, si definiscono acidi grassi a catena lunga quelli con più di 5 atomi di carbonio.

Durante la produzione di acido acetico la presenza di idrogeno molecolare nel mezzo può determinare problemi di inibizione. Se però H_2 viene mantenuto a basse concentrazioni, grazie all'attività dei batteri metanigeni - H_2 ossidanti (idrogenotrofi), la degradazione degli acidi grassi ad H_2 ad opera dei batteri acetogeni è resa più probabile, nonostante la formazione di H_2 sia energeticamente sfavorita.

Metanogenesi

La produzione di CH_4 rappresenta la conclusione della catena trofica anaerobica. Il metano infatti è l'unico composto non reattivo nell'intero processo di digestione anaerobica e può, pertanto, essere considerato il prodotto finale dell'intero processo. La produzione del metano può avvenire essenzialmente attraverso due differenti vie di reazioni: una via prevede la metanogenesi ad opera dei batteri idrogenotrofi, che operano l'ossidazione anaerobica dell'idrogeno, mentre la seconda via, la cosiddetta via acetoclastica, prevede la dismutazione anaerobica dell'acido acetico con formazione di metano e biossido di carbonio (figura 6). La maggior parte della produzione di metano avviene attraverso questo secondo meccanismo. La figura 7 quantifica percentualmente la distribuzione nei diversi cammini metabolici coinvolti nel processo di digestione.

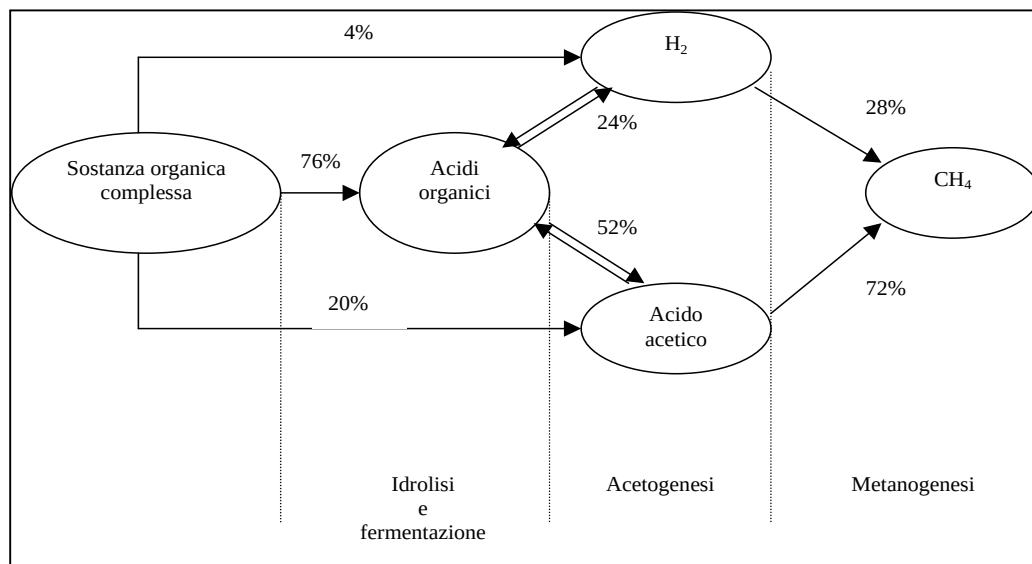


Figura 7: Schema di flusso quantitativo dei diversi cammini metabolici del processo di digestione anaerobica (Metcalf e Eddy, 1991)

Con la loro attività i due ceppi di batteri metanigeni svolgono due importanti funzioni nell'ambito della catena trofica anaerobica: da un lato degradano l'acido acetico e quello

formico a CH_4 eliminando gli acidi dal mezzo ed impedendo quindi l'inibizione dei fenomeni di degradazione di substrati organici per eccesso di acidità, e dall'altra mantengono la concentrazione di H_2 a bassi livelli così da consentire la conversione degli acidi grassi a catena lunga e degli alcoli ad acetato ed H_2 . Infatti, se la via idrogenotrofa è rallentata si osserva un accumulo di H_2 nel mezzo che inibisce la produzione del metano, mentre la via acetoclastica può subire fenomeni di inibizione da substrato in presenza di elevate concentrazioni di acido acetico.

Il più importante dei fattori che controllano la possibilità di utilizzo dell'acetato da parte dei batteri metanigeni è rappresentato dalla forma chimica con cui tale substrato è presente nel mezzo. In particolare si ha che, se presente in forma indissociata (CH_3COOH), l'acido acetico può attraversare la membrana batterica e risultare quindi utilizzabile (questo fenomeno è favorito in un intervallo di pH piuttosto ristretto, generalmente compreso tra 6 ed 8). A più elevati valori di pH nel mezzo, l'acido acetico è presente per lo più nella forma dissociata (CH_3COO^-): ne deriva che la concentrazione della forma indissociata nel mezzo non è sufficiente a garantire un gradiente di concentrazione tale da consentire il trasporto trans-membrana del metabolita. Nel caso di ambienti caratterizzati da pH relativamente bassi (inferiori a 5), si ha una elevata concentrazione di acido indissociato che attraversa la membrana cellulare e la concentrazione dell'acido acetico può risultare superiore alle capacità di metabolizzazione cellulare con conseguente inibizione da eccesso di substrato.

D.2.2 I diversi processi di digestione anaerobica

I processi anaerobici possono essere suddivisi in base al numero di fasi presenti nel processo (una o due), regime termico del reattore (mesofilia o termofilia), tipo di rifiuto trattato, tenore di solidi nel rifiuto.

Nella classificazione dei differenti processi, inizialmente si possono distinguere processi ad una o a due fasi, successivamente, nell'ambito di queste classi si sono individuati i differenti processi applicati su scala industriale distinguibili in base alla concentrazione di solidi che caratterizza il rifiuto organico trattato distinguendo:

- processi wet (concentrazione di solidi sino al 10%)
- processi semi-dry (concentrazione di solidi compresa tra 10-20%)
- processi dry (concentrazioni di solidi superiori al 20% fino al 40%).

D.2.2.1 Processi di digestione a fase unica

I diversi processi a fase unica di digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti vengono distinti in base al tenore di solidi che caratterizza il rifiuto trattato.

Digestione wet

Questo processo è stato il primo ad essere utilizzato nel trattamento della frazione organica dei rifiuti urbani dal momento che sfruttava le conoscenze acquisite in decenni di attività nel processo di digestione anaerobica dei fanghi di supero negli impianti di trattamento acque reflue. Nei processi di tipo wet il rifiuto di partenza viene opportunamente trattato e diluito al fine di raggiungere un tenore in solidi totali inferiore al 10%, attraverso il ricorso a diluizione con acqua così da poter poi utilizzare un classico reattore completamente miscelato del tipo applicato nella stabilizzazione dei fanghi biologici negli impianti di depurazione. In generale, il processo prevede, dopo la fase di pre-trattamento del rifiuto, finalizzata alla rimozione di plastiche ed inerti e di corpi grossolani che potrebbero danneggiare gli organi meccanici del reattore, uno stadio di miscelazione in cui si ottiene una miscela con caratteristiche omogenee

e un opportuno contenuto in solidi. La diluizione può avvenire tramite aggiunta di acqua di rete o dal parziale ricircolo dell'effluente del reattore.

La figura 8 riporta un tipico schema di processo ad umido.

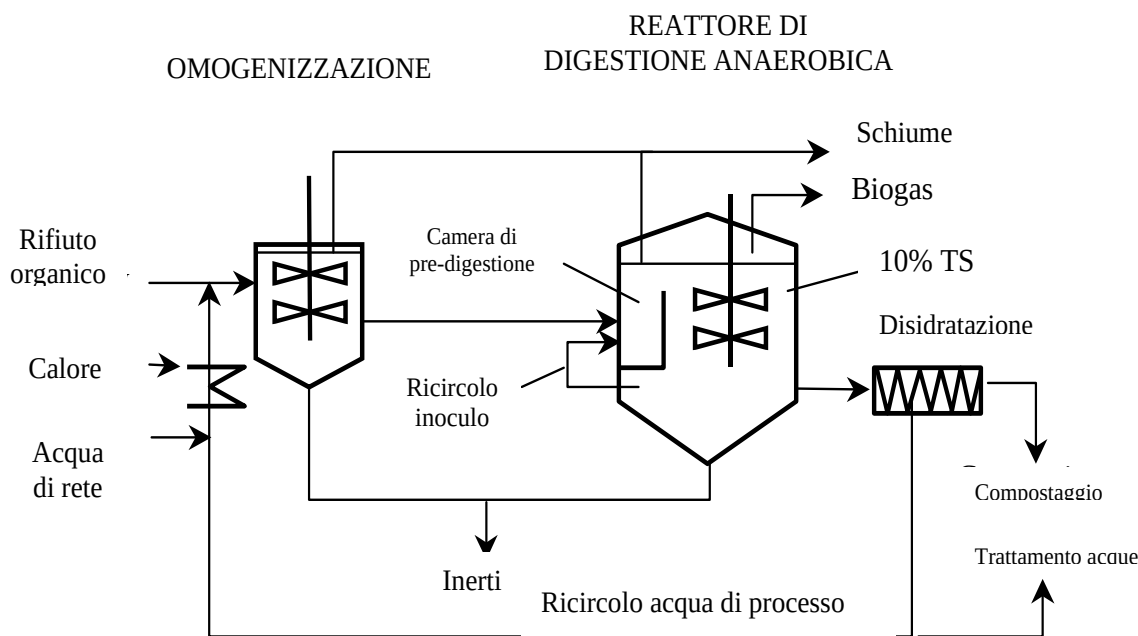


Figura 8: Schema di processo wet a fase singola

A causa delle caratteristiche fisiche dei rifiuti trattati non è solitamente possibile ottenere una miscela omogenea e pertanto si osserveranno all'interno del reattore tre fasi separate, caratterizzate da distinte densità. La frazione più pesante tenderà ad accumularsi sul fondo del reattore e può determinare danni nel sistema di miscelazione se il rifiuto trattato non è sufficientemente pulito, mentre materiali leggeri e schiume si accumulano nella parte superiore del reattore. La fase a densità intermedia è quella in cui avvengono, per lo più, le effettive reazioni di degradazione e produzione del biogas. Nella gestione dell'impianto sono generalmente previste saltuarie rimozioni sia dello strato più pesante, presente sul fondo del reattore, che di quello leggero. Uno dei problemi, che può essere connesso con la digestione anaerobica ad umido, consiste nella corto-circuitazione idraulica del reattore cioè, il flusso di materiale entrante, non perfettamente miscelato con il materiale già presente nel reattore, fuoriesce con tempi di ritenzione ridotti rispetto a quelli previsti da progetto. Ciò, oltre a determinare una minore degradazione del substrato trattato, e quindi una minor produzione di biogas, può determinare problemi di igienizzazione dei fanghi effluenti. Per questo motivo alcuni brevetti prevedono uno step di pastorizzazione dell'effluente dal reattore di digestione. I tipici vantaggi e svantaggi dei processi di digestione ad umido, evidenziati in anni di applicazione, sia dal punto di vista tecnologico, biologico che economico/ambientale, sono riportati in tabella 3.

Tabella 3: Vantaggi e svantaggi del processo wet

Criterio	Vantaggi	Svantaggi
Tecnologico	Buona conoscenza ed esperienza nel campo del processo; Applicabilità in co-digestione con rifiuti liquidi ad alto contenuto in sostanza organica.	- Corto-circuitazione idraulica; - Fasi separate di materiale galleggiante e pesante; - Abrasione delle parti meccaniche dovuta alla presenza di sabbie ed inerti; - Pre-trattamenti di preparazione del rifiuto complessi;
Biologico	Diluizione dei picchi di concentrazione di substrato e/o sostanze tossiche influenti il reattore	- Forte sensibilità ad eventuali shock per la presenza di sostanze inibitorie e carichi organici variabili che entrano in contatto intimo con la biomassa; - Perdita di sostanza volatile biodegradabile nel corso dei pre-trattamenti;
Economico ed ambientale	Spese ridotte per i sistemi di pompaggio e miscelazione, ampiamente diffusi sul mercato.	- Elevati costi di investimento a causa degli equipaggiamenti utilizzati per i: - pre-trattamenti - volumi dei reattori; - produzione di elevate quantità di acque di processo.

Digestione semi - dry

Nella digestione semi - dry il contenuto di sostanza solida che caratterizza il rifiuto trattato si pone nell'intervallo intermedio rispetto ai processi wet e dry; opera, infatti, con rifiuti con un contenuto in solidi del 10-20%. Dal punto di vista impiantistico la soluzione adottata è quella di un reattore miscelato (CSTR) che può operare tanto in regime mesofilo che termofilo. Il rifiuto organico proveniente da raccolta differenziata presenta caratteristiche che sono generalmente ottimali per l'applicazione diretta del processo, ricorrendo solamente a semplici pre-trattamenti di pulizia del rifiuto con eliminazione del materiale ferroso e di quello inerte grossolano seguito da triturazione e miscelazione. Operando, invece, con rifiuti organici derivanti da raccolta indifferenziata con un elevato contenuto di sostanza solida, e derivanti dalla separazione meccanica dei rifiuti urbani indifferenziati, è necessario procedere ad un pre-trattamento di pulizia del rifiuto piuttosto spinto e poi ad una diluizione del rifiuto con acqua, che potrà essere, di volta in volta, acqua di processo riciclata, o acqua fresca.

Nel caso in cui un impianto tratti rifiuto indifferenziato sarà necessaria, ovviamente, una filiera di pre-trattamento per la separazione della frazione organica da inviare ai digestori anaerobici. Lo schema di pre-trattamento prevede diversi passaggi e può essere anche complesso. Ciò comporta, inevitabilmente, la perdita di parte del materiale organico biodegradabile, che può arrivare al 15-25% in termini di sostanza volatile.

La linea di pre-trattamento dovrà poi provvedere ad una opportuna purificazione del rifiuto in maniera da eliminare i rifiuti inerti quali metallo, sassi, vetro e sabbie che darebbero problemi agli organi di miscelazione nel reattore.

Anche in questo processo, come nei processi di tipo wet, si osserva la formazione di tre fasi distinte all'interno del reattore, anche se, in generale, il fenomeno è meno accentuato. Sarà comunque necessario prevedere, di tanto in tanto, lo svuotamento e la pulizia del fondo del reattore.

Il sistema di miscelazione è generalmente garantito da miscelatori meccanici che possono essere inoltre coadiuvati da lance a gas che provvedono a ricircolare il biogas prodotto per incrementare l'efficienza di miscelazione. Può essere, inoltre, previsto il ricircolo del materiale presente nel digestore inviato alla caldaia e poi reimpresso nei digestori. I principali vantaggi e svantaggi del processo semi-dry sono riportati in tabella 4.

Il principale vantaggio economico di questo tipo di processo consiste nella possibilità di ricorrere a mezzi di pompaggio e miscelazione ampiamente diffusi sul mercato e quindi disponibili a basso costo. Per contro, devono essere previsti maggiori costi di investimento per la fase di pre-trattamento, specialmente se il rifiuto viene conferito tal quale all'impianto. Le volumetrie del reattore sono minori rispetto ai sistemi wet, ma comunque, superiori a quelle dei sistemi dry. Complessivamente, quindi, i costi di investimento per i sistemi semi-dry e dry risultano confrontabili. Dal punto di vista ambientale un problema può essere dovuto all'acqua, eventualmente necessaria, per diluire rifiuti organici con concentrazioni di sostanza secca superiore al 20-25% TS. La necessità di aumentare i volumi trattati con acqua determina maggiori spese per il riscaldamento del flusso entrante e per il mantenimento del reattore alla temperatura desiderata. L'energia ed il calore prodotti dalla combustione del biogas sono, comunque, più che sufficienti all'autosostentamento energetico del reattore.

Tabella 4: Vantaggi e svantaggi del processo semi dry

Criterio	Vantaggi	Svantaggi
Tecnologico	- Semplicità dei sistemi di pompaggio e miscelazione; - possibilità di trattare il rifiuto da raccolta differenziata senza particolari pre-trattamenti.	- Accumulo di materiali inerti sul fondo del reattore e necessità di scaricarli; - abrasione delle parti meccaniche; - pre-trattamenti complessi per RSU indifferenziato;
Biologico	- Diluizione dei picchi di concentrazione di substrato o sostanze tossiche;	- Sensibilità ad eventuali shock per la presenza di sostanze inibitorie e carichi organici; - perdita di sostanza volatile biodegradabile nel corso dei pre-trattamenti del rifiuto indifferenziato;
Economico ed ambientale	- Spese ridotte per sistemi di pompaggio e miscelazione.	- Elevati costi di investimento a causa degli equipaggiamenti utilizzati per i pre-trattamenti e per i volumi dei reattori; - produzione di elevate quantità di acque di processo.

Processo dry

Nel corso degli anni ottanta varie sperimentazioni dimostrarono come, oltre ai processi ed alle tecnologie di tipo wet e semi-dry, fosse possibile ricorrere a processi in cui il rifiuto organico veniva trattato nella sua forma originale, senza bisogno di diluizioni. Quindi, nell'ultimo decennio si è osservata la crescita del sistema dry, e le nuove realizzazioni sono oggi equamente ripartite tra queste due tecnologie, con prevalente crescita del processo dry.

Nei processi dry il tenore in solidi del rifiuto alimentato al digestore è generalmente nell'intervallo 25-40%, pertanto, solamente particolari rifiuti con elevato tenore di solidi (>50%) necessitano di essere diluiti con acqua per poter essere convenientemente trattati. Ciò non comporta significative variazioni dal punto di vista biochimico e microbiologico nel processo anaerobico, ma determina la necessità di una completa revisione dei metodi di trattamento per quanto concerne la tecnologia dei reattori. Sono, infatti, necessari particolari metodi di pompaggio e miscelazione. Infatti, a causa delle proprietà reologiche dei flussi trattati, il materiale organico viene trasportato con nastri e pompato con speciali pompe appositamente progettate per operare con flussi molto viscosi. Ciò incide sui costi di realizzazione di questo tipo di impianti. Questi sistemi sono in grado di operare con flussi di materiale molto concentrati e resistono ai possibili problemi causati da sassi, vetro o legno che non causano inceppamenti o danni. L'unico pre-trattamento richiesto è una preliminare vagliatura al fine di rimuovere il materiale con dimensioni superiori ai 40 mm. Ciò è ottenuto grazie a vagli a tamburo nel caso di rifiuto organico separato meccanicamente, e mediante trituratori nel caso di rifiuto organico raccolto separatamente alla fonte. Dal momento che i pre-trattamenti sono limitati non si osserva perdita di materiale organico biodegradabile, come

può invece avvenire nel corso dei pre-trattamenti per materiale da trattare con processi wet e semi-dry.

A causa della elevata densità e viscosità dei flussi trattati i reattori per il trattamento dry non sono del tipo completamente miscelato (CSTR), ma con flusso parzialmente o totalmente a pistone (plug-flow): ciò rende i reattori più semplici dal punto di vista meccanico, ma comporta problemi di miscelazione tra il rifiuto organico fresco e la biomassa fermentante. La risoluzione di questo problema è fondamentale per evitare fenomeni localizzati di sovraccarico organico ed eventuale acidificazione che porterebbe ad inibizione del processo metanigeno.

Il fatto di operare con flussi molto densi porta, inoltre, al superamento del problema della suddivisioni di tre fasi distinte all'interno del reattore, come poteva invece avvenire nei processi wet e semi-dry. Le principali tecnologie presenti sul mercato ed i processi adottati per questo tipo di rifiuti si differenziano essenzialmente per la fluidodinamica del reattore utilizzato. La figura 9 riporta alcune possibili soluzioni impiantistiche.

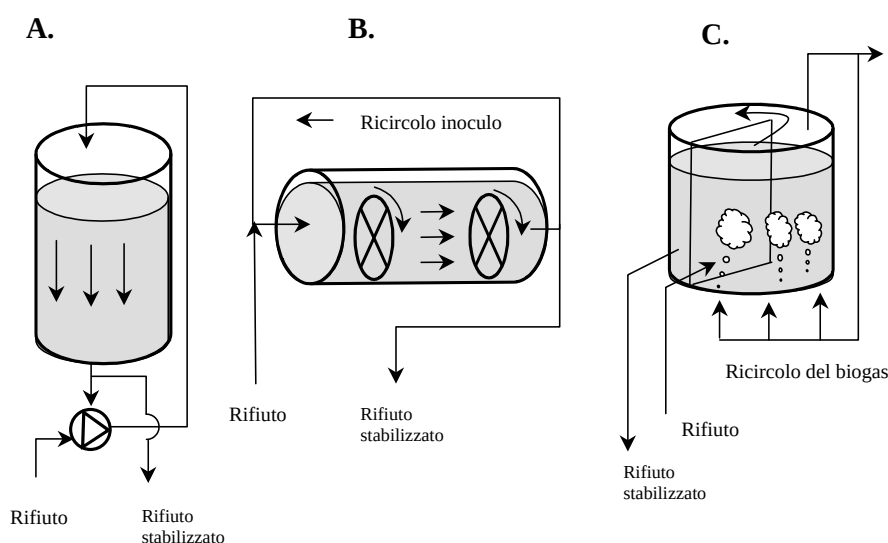


Figura 9: Differenti tipologie di reattore nei sistemi dry (A = processo Dranco; B = processo Kompogas; C = processo Valorga), in Lissens et al., 2001.

Nel processo Dranco la miscelazione tra rifiuto influente e biomassa avviene grazie al ricircolo dell'effluente estratto dal fondo dal digestore anaerobico che viene pompato nella parte superiore del reattore stesso; il tipico rapporto di ricircolo è una parte di rifiuto fresco per sei parti di effluente riciclato. Questo tipo di processo ha dimostrato di operare con efficacia con rifiuti con un tenore in solidi nell'intervallo 20-50%.

Il processo Kompogas utilizza un reattore cilindrico in cui il flusso a pistone prosegue orizzontalmente. Il moto di avanzamento del materiale trattato è assistito da miscelatori a lenta rotazione posti internamente al reattore che omogeneizzano il materiale trattato, lo degasano, e risospendono il materiale inerte grossolano. Il sistema ha dimostrato di operare con buona efficienza quando il rifiuto trattato presenta concentrazioni in solidi del 25%, per valori inferiori si è osservata la tendenza all'accumulo di materiale inerte grossolano (sabbie e vetro) sul fondo del reattore, mentre, per concentrazioni maggiori, si osserva una eccessiva resistenza al flusso orizzontale del materiale all'interno del reattore.

Un altro processo dry, diffuso in centro Europa, è il processo Valorga. Anche in questo caso si ricorre a reattori di forma cilindrica in cui il flusso a pistone del materiale trattato è di tipo circolare e la miscelazione avviene grazie all'iniezione di biogas dal fondo del reattore attraverso una serie di iniettori ogni 15 minuti circa. La miscelazione sembra avvenire con

notevole efficacia dal momento che il ricircolo di parte dell'effluente si è dimostrato non necessario. D'altra parte gli iniettori di biogas, a causa della loro posizione, possono essere soggetti a problemi di intasamento. Come nel caso del processo Kompogas c'è la necessità di ricircolare l'acqua di processo al fine di raggiungere una concentrazione di sostanza solida del 30% nel rifiuto da trattare. Per contro, concentrazioni più basse, fino al 20% TS, determinerebbero seri problemi di accumulo di materiale inerte sul fondo del reattore.

Dal punto di vista economico si evidenzia come, nel caso dei processi di tipo dry, gli elevati costi di investimento iniziale sono dovuti alla necessità di dotarsi di sistemi di trasporto e pompaggio del rifiuto organico da trattare che siano particolarmente resistenti e tecnologicamente avanzati. Per contro, operando con rifiuti ad elevata concentrazione di sostanza solida, non sono necessari pre-trattamenti particolarmente raffinati ed i volumi dei reattori necessari sono ridotti: quindi le spese di costruzione dei reattori sono minori rispetto ai processi wet e semi-dry. La ridotta dimensione del reattore si ripercuote poi favorevolmente in fase di esercizio sul bilancio energetico del reattore, dal momento che è necessario riscaldare una minor quantità di rifiuto da trattare. Una differenza fondamentale tra i processi di tipo dry e quelli di tipo wet o semi-dry consiste nel ridotto utilizzo, nel caso di processi dry, di acqua per la diluizione dei rifiuti. Ne consegue che la quantità di acqua di scarico sarà ridotta. Alcuni autori riportano, inoltre, una migliore igienizzazione del prodotto finale nel caso di processi dry operanti in regime termofilo. I principali vantaggi e svantaggi dei processi dry sono riportati in tabella 5.

Al momento attuale non è chiaro quale tecnologia tra quelle wet, semi-dry e dry sia da preferirsi. Molto dipenderà probabilmente dalla capacità di queste tecnologie di ottenere ottime rese in termini di produzione di biogas e riduzione dei volumi di fanghi da smaltire, in relazione al tipo di rifiuto trattato (meccanicamente selezionato o raccolto in maniera differenziata) con un soddisfacente recupero di energia e calore riutilizzabili.

Tabella 5. Vantaggi e svantaggi dei processi dry (Vendervivere et al., 2001).

Criterio	Vantaggi	Svantaggi
Tecnologico	- Nessun bisogno di miscelatori interni al reattore; - robustezza e resistenza ad inerti pesanti e plastiche; - nessuna corto circuitazione idraulica.	Rifiuti con basso tenore in sostanza solida (< 20%TS) non possono essere trattati da soli;
Biologico	- Bassa perdita di sostanza organica biodegradabile nei pre-trattamenti; - elevati OLR applicabili; - resistenza a picchi di concentrazione di substrato o sostanze tossiche.	Minima possibilità di diluire sostanze inibitorie e carichi organici eccessivi con acqua fresca;
Economico ed ambientale	- Pre-trattamenti minimi e più economici; - ridotti volumi dei reattori; Ridotto utilizzo di acqua fresca; Minime richieste di riscaldamento del reattore.	Elevati costi di investimento a causa degli equipaggiamenti utilizzati per il trattamento.

D.2.2.2 Processi di digestione a due fasi

Questo tipo di approccio prevede la separazione fisica della fase idrolitica e fermentativa dalla vera e propria fase metanigena. I due processi avvengono infatti in reattori separati. Dal momento che i processi vengono separati ed avvengono in condizioni ottimali le rese del processo in termini di degradazione della sostanza biodegradabile e di produzione di biogas sono ottimizzate. Nella prima fase si osserverà quindi la fase di idrolisi ed acidogenesi secondo una cinetica di primo ordine limitata dalla presenza di cellulosa, mentre la seconda fase è deputata alla acetogenesi e metanogenesi. Qui la velocità limitante è quella di crescita della biomassa metanigena.

Si è comunque osservato che, nonostante i maggiori sforzi in termini tecnologici e di investimenti, molto spesso i sistemi a due fasi non consentono incrementi delle rese in termini di produzione di biogas tali da giustificare i maggiori costi di investimento e di gestione. Il maggior vantaggio consiste, piuttosto, nella capacità di trattare alcuni tipi particolari di rifiuto organico che vengono in genere evitati nei sistemi a fase unica, quali ad esempio particolari residui agro-industriali o zootecnici che presentano rapporti $C/N < 20$.

I processi a due stadi possono essere operati con o senza ritenzione della biomassa nel secondo stadio del processo. A seconda di questa particolarità costruttiva si hanno diverse rese del processo.

D.2.2.3 I processi batch

Nei processi batch, il reattore di digestione viene riempito con materiale organico ad elevato tenore di sostanza solida (30-40% TS), in presenza o meno di inoculo, e viene quindi lasciato fermentare. Il percolato, che si produce durante il processo degradativo, viene continuamente ricircolato. La temperatura del processo risulta elevata. Attualmente i processi batch non sono diffusi sul mercato, ma data la loro economicità e semplicità potrebbero in futuro trovare applicazione.

Il processo opera di per se stesso per fasi successive. Si ha, dapprima, una fase idrolitica ed acidogenica, seguita da una fase in cui gli acidi grassi volatili vengono trasformati in metano. Le soluzioni impiantistiche possono essere tre, come evidenziato in figura 10.

Nel reattore batch con ricircolo del percolato (caso A) il percolato viene ricircolato in testa al reattore. Questo è il principio di funzionamento del processo Biocell.

Uno dei problemi in questo tipo di reattori è connesso con la possibilità che si otturino i fori posti sul fondo del reattore. Nel caso B, si ha ricircolo del percolato prodotto nel reattore che tratta rifiuto fresco nel terzo reattore, che tratta rifiuto stabilizzato, mentre il percolato qui raccolto viene rinviato al primo reattore. Nella soluzione C il percolato prodotto nel reattore di digestione viene inviato ad un reattore di tipo Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB).

Figura 10: Possibili configurazioni impiantistiche per il processo batch, (n Lissens et al., 2001).

D.3 I sistemi tecnologici

Si descrivono di seguito le principali operazioni legate al trattamento meccanico biologico con specifico riferimento a:

- 1. stoccaggio**
- 2. pre-trattamenti**
- 3. trattamento biologico**
- 4. post-trattamenti**

D.3.1 . Stoccaggio

Le fasi di conferimento/ricezione e stoccaggio comprendono le operazioni di conferimento delle diverse tipologie rifiuto, il collocamento dello stesso all'interno del fabbricato o dell'area e lo stoccaggio in luoghi adeguati.

Nelle fasi di stoccaggio e movimentazione dei rifiuti nel caso di trattamento meccanico – biologico occorre assicurare:

- a) l'utilizzo di fosse di ricezione o di serbatoi di equalizzazione;
- b) il funzionamento nell'area di stoccaggio chiusa di un impianto di estrazione aria con un tasso di ricambio di 3 – 4 volumi di aria/ora;
- c) la purificazione dell'aria esausta o il suo riutilizzo;
- d) un basso livello di inquinamento dell'aria esausta:
 - utilizzando superfici e apparecchiature di lavoro che siano semplici da pulire;
 - minimizzando i tempi di stoccaggio dei rifiuti nella zona di consegna;
 - pulendo regolarmente il pavimento dell'area di stoccaggio;
 - pulendo i nastri trasportatori e tutti gli altri macchinari almeno una volta a settimana;
- e) l'impiego combinato di porte ad azione rapida e automatica riducendo al minimo i tempi di apertura: ciò può essere facilitato dall'installazione di un sensore di controllo delle porte e dall'adeguato dimensionamento dell'area di manovra nella zona di ingresso dell'impianto;
- f) la responsabilizzazione dello staff preposto alla disciplina del flusso di veicoli nell'area di ingresso, nella consapevolezza che tale attività è importante ugualmente al fine di realizzare la breve apertura delle porte e per assicurare che essi svolgano, inoltre, una sufficiente manutenzione delle porte;
- g) l'installazione di serrande d'aria che creano uno sbarramento all'aria circostante verso la porta di apertura.

Inoltre, in aggiunta alle misure di cui sopra, si descrivono di seguito alcuni accorgimenti utili per la minimizzazione delle polveri nelle fasi di trasporto e stoccaggio dei rifiuti:

- a) facilitare il deposito delle polveri;
- b) prevedere l'aspirazione in prossimità dei punti di estrazione e nella zona di accesso, con conseguente depolverizzazione;
- c) applicare una copertura al nastro trasportatore;
- d) pulire regolarmente le zone di stoccaggio, i pavimenti e le vie di traffico.

D.3.1.1 Trattamento Aerobico

Il trattamento aerobico inizia con la raccolta ed il conferimento all'impianto della matrice organica che rappresenta il substrato principale oggetto del trattamento. Data la elevata fermentescibilità, il substrato principale non può essere di norma stoccato, se non per il tempo necessario alla sistemazione dello stesso nella sezione di compostaggio. Ciò significa che le matrici organiche putrescibili devono essere avviate al trattamento man mano che giungono all'impianto. Così facendo, si impedisce da una parte l'insorgenza di maleodoranze dovuta a fenomeni fermentativi e putrefattivi, dall'altra viene limitata la proliferazione di insetti e la presenza di roditori. Inoltre, al fine di evitare la dispersione di percolato, il substrato principale deve essere lavorato su apposito piazzale dotato di pavimentazione impermeabile e sistema di raccolta. Rappresentando la manipolazione di matrici putrescibili una fase comunque critica per la dispersione degli odori, è necessario prevedere la ricezione, l'eventuale triturazione e la miscelazione dei suddetti rifiuti organici con altri ingredienti in strutture confinate.

Gli agenti di supporto quali paglia, cippato di ramaglie, trucioli di legno, segatura ed altri substrati ligno-cellulosici, in ragione della lenta reattività all'attacco microbico, dovuta ad un elevato contenuto in carbonio ed a modesti contenuti di umidità, possono essere, invece, stoccati presso la stazione di compostaggio, anche per lunghi periodi di tempo. Poiché, una volta bagnati, questi materiali cominciano il processo di trasformazione aerobica, ancorché lentamente data la scarsità di azoto, è preferibile accumularli sotto tettoie, ovvero, se all'aperto, sotto teli impermeabili. Questi ultimi, tuttavia, rappresentano un impedimento nelle normali operazioni di impiego degli agenti ligno-cellulosici. E' inoltre importante sottolineare che la presenza presso l'impianto di matrici secche aumenta grandemente il rischio di incendi. In condizioni di distanza contenuta dai luoghi di approvvigionamento delle matrici strutturanti, la situazione ottimale potrebbe essere quella di mantenere, presso la stazione di compostaggio, una scorta di scarti ligno-cellulosici sufficiente per alcuni giorni, contando poi su rifornimenti programmati ripetuti, che evitino eccessivi accumuli.

Per l'eventuale stoccaggio dei substrati con funzione di correttivo e/o additivo, valgono le stesse considerazioni fatte per l'ingrediente primario, qualora queste matrici siano esse stesse putrescibili (es. fanghi di depurazione). Nel caso in cui gli ingredienti correttivi siano costituiti da materiali inorganici (es. concimi o scorie minerali), lo stoccaggio non costituisce un problema, sempre che si usi l'accortezza di sistemare questi materiali al riparo dell'azione dilavante della pioggia.

I rifiuti ricevuti giornalmente devono essere in quantità compatibile con le capacità di lavorazione dell'impianto e comunque non devono essere stoccati per più di 48 ore, salvo casi eccezionali.

Nella fase di stoccaggio in periodi caldi e umidi deve essere evitata la decomposizione anaerobica dei rifiuti contenenti un'alta percentuale di scarti verdi derivanti da attività urbane e/o da stazioni di trasferimento. In genere gli scarti verdi hanno un alto contenuto di umidità: se essi vengono accumulati in una stazione di trasferimento per diversi giorni, poi inseriti in un contenitore e accumulati in mucchi in atmosfera umida, si creeranno condizioni anaerobiche. Un'altra possibilità per l'ingresso di umidità è attraverso le andane non protette a seguito di prolungate condizioni atmosferiche di umidità, con conseguente interruzione della decomposizione aerobica; quindi le andane devono essere adeguatamente protette o coperte.

D. 3.1.2 Digestione anaerobica

Nella zona di ricezione di un impianto di digestione anaerobica possono essere conferiti diversi tipi di rifiuti:

- rifiuti indifferenziati e/o residuali;
- frazione organica selezionata da RU;
- fanghi da depurazione civile;
- rifiuti agro industriali;
- rifiuti zootecnici.

Il reparto di ricezione viene generalmente dimensionato in modo da accogliere un volume di rifiuti corrispondente ad una produzione di 2-3 giorni del bacino d'utenza servito. Tale aspetto è particolarmente importante per questo tipo di trattamento in quanto rende compatibile la discontinuità del servizio di raccolta, con la continuità di esercizio dell'impianto, che si rende necessaria nel caso in cui si utilizzino digestori con funzionamento continuo.

Lo stoccaggio dei rifiuti può essere realizzato tramite una fossa interrata o tramite un piazzale di scarico a raso. Quest'ultimo può essere utilizzato soltanto per rifiuti con umidità ridotta, quindi è poco adatto per l'accumulo dei fanghi, mentre la fossa di stoccaggio interrata si può adattare a tutti i tipi di rifiuto, anche ad elevato contenuto di umidità.

Nel caso dello stoccaggio in fossa, il dimensionamento può essere condotto adottando il metodo grafico che prevede la costruzione delle curve delle portate influenti ed effluenti ed adottando un opportuno coefficiente di sicurezza che consenta di assorbire eventuali punte nella portata di ingresso. Al fine di prevenire il ristagno dei rifiuti la fossa deve essere priva di spigoli vivi; inoltre le pareti ed il fondo devono essere realizzati con modalità e materiali tali da sostenere i rifiuti stoccati nelle condizioni di massimo riempimento. Il posizionamento della fossa di stoccaggio deve consentire l'avvicinamento e la manovra dei mezzi di movimentazione del rifiuto.

La soluzione dello scarico a raso prevede, invece, la realizzazione di un piazzale in cui il rifiuto scaricato viene posizionato su zone differenziate in base alla sua provenienza; il calcolo della superficie minima richiesta può essere fatto considerando che i rifiuti devono essere disposti in cumuli, la cui altezza dipende dalla tipologia di apparecchiatura scelta, per la movimentazione.

Per i rifiuti indifferenziati o per la frazione residuale della raccolta differenziata può essere scelto un angolo di riposo di circa $20\div 25^{\circ}\text{C}$. Nota la quantità di rifiuti da stoccare, definita la massima altezza raggiungibile dai cumuli ed individuato l'angolo di riposo del rifiuto, si calcola la superficie minima richiesta dai cumuli. A tale superficie dovranno poi essere aggiunti ulteriori spazi necessari per la manovra dei mezzi di movimentazione del rifiuto. La pavimentazione dovrà essere realizzata con una pendenza tale da garantire il convogliamento delle acque di lavaggio e dei percolati in appositi pozzetti di raccolta. Il vantaggio principale dello stoccaggio a raso è legato alla semplicità di gestione.

Per quanto riguarda i fanghi, le dimensioni della zona di accumulo e il sistema di ripresa e di movimentazione devono essere tali da evitare fenomeni di intasamento dovuti all'eccessiva solidificazione della miscela. In genere, vengono realizzate vasche in cemento armato attrezzate con tramogge in carpenteria metallica munite di fondo di estrazione a coclee che alimenta sistemi di pompaggio volumetrico. L'inclinazione delle falde della tramoggia deve essere tale da garantire lo scivolamento di materiali viscosi e le sue dimensioni non devono eccedere i due giorni di stoccaggio per evitare problemi di impaccamento e solidificazione della miscela. Il fondo della vasca in cemento armato di contenimento, deve essere impermeabilizzato e munito di pendenza per il recapito dei percolati prodotti ad un pozzetto collegato alla rete acque di processo dell'impianto. Per l'accumulo dei fanghi, in alternativa allo stoccaggio in fossa, possono essere utilizzati anche altri sistemi quali serbatoi fuori terra.

D 3.2 Pretrattamenti

Con il termine pre-trattamenti si intendono tutte quelle operazioni destinate alla preparazione del rifiuto per il corretto svolgimento del processo biologico.

Si descrivono di seguito le principali operazioni di pre-trattamento, sia per un impianto di trattamento aerobico dei rifiuti, sia per un impianto di digestione anaerobica.

D 3.2.1 Pretrattamenti: processo aerobico

Comportando le operazioni di pretrattamento la movimentazione di elevati quantitativi di materiale, qualora si trattino rifiuti ad elevata putrescibilità, tali trattamenti devono essere realizzati all'interno di edifici chiusi per i quali siano previsti almeno due ricambi di aria/ora da inviare direttamente al presidio ambientale ovvero all'aerazione della biomassa qualora prevista nella successiva fase di biossidazione. La pavimentazione delle superfici impegnate deve essere costruita in materiale adeguato per essere pulita facilmente e consentire il recupero dei reflui.

Un quadro riassuntivo delle principali tecnologie di pretrattamento dei rifiuti è riportato nelle tabelle seguenti.

Tabella 6 Tipologie di pretrattamento comunemente utilizzate

Trattamento	Triturazione/lacerazione/sfibratura	Miscelazione	Vagliatura	Demetallizzazione
Biostabilizzazione	Facoltativa	No	Facoltativa ¹	Si
Bioessiccazione	Facoltativa	No	Facoltativa	Facoltativa

¹ Sì, se si produce Biostabilizzato per impieghi con finalità agronomiche

Tabella 7 Pretrattamenti: tecnologie disponibili

Pretrattamento	Finalità	Tecnologie disponibili	Vantaggi	Svantaggi
Lacerazione involucri	Apertura degli involucri e blando sminuzzamento	Aprisacchi a tamburo rotante	Elevata capacità produttiva, basse usure	Scarsa affidabilità in presenza di corpi rigidi
		Aprisacchi a lame	Efficiente in presenza di materiali omogenei	Elevata usura
Triturazione	Apertura degli involucri (se presenti), sminuzzamento (aumento della superficie esposta all'attacco microbico), equalizzazione della pezzatura del materiale al fine di migliorare l'andamento del processo.	Mulini a martelli	Ottima capacità produttiva su materiali ligneo cellulosici.	Scarsa omogeneità del materiale triturato, difficoltà nel trattamento di rifiuti ad alto tenore di umidità, frammentazione spinta di corpi rigidi presenti, usura elevata
		Mulini a lame	Possibilità di trattare materiali umidi; pezzatura omogenea	Basse portate
		Cippatrici	Buona capacità produttiva per residui vegetali	Produzione di triturato a basso grado di sfibratura e pezzatura non adatta a conferire porosità ai cumuli
		Trituratori a coclee	Possibilità di trattare materiali umidi	Basse portate; pezzatura disomogenea. Fragilità in presenza di corpi rigidi.
		Trituratori ad alberi semplici e/o multipli	Elevata affidabilità, elevata capacità produttiva	Pezzatura disomogenea
		Trituratori ad alberi a cesoie	Elevata affidabilità	Elevata usura
Miscelazione	Diminuzione della densità del materiale, previa aggiunta di materiale strutturante, al fine di migliorarne l'aerazione; ottimizzazione dei parametri biochimici, quali C/N ed umidità	Pale meccaniche	Elevata produttività	Scarsa omogeneità della miscela
		Miscelatori a coclee	Buona azione triturante, ottima miscelazione	Bassa produttività
		Miscelatori a flange	Ottima azione triturante	Modesta miscelazione

Vagliatura	Separazione del materiale in ingresso in flussi di massa caratterizzati da omogeneità dimensionale e medesima attitudine al trattamento (es: nel caso dei RU separazione in frazione secca e frazione organica; nel caso di matrici selezionate alla fonte separazione in materiale compostabile e scarti)	Vagli rotanti	Buona flessibilità	Basse portate
		Vagli vibranti	Elevate portate	Scarsa flessibilità
Demetallizzazione	rimozione dei materiali ferrosi e non ferrosi	Deferizzatori a magneti permanenti	Minori costi di investimento e di gestione	Minore efficienza
		Deferizzatori a elettromagneti	Maggiore efficienza	Maggiori costi di investimento
		Cernitrici a correnti indotte per i metalli non ferrosi	Bassi consumi energetici	Maggiori costi di investimento
		Sistemi aeraulici	Elevata efficienza	Maggiori consumi energetici

D. 3.2.2 Digestione Anaerobica

Le operazioni di pretrattamento necessarie risultano differenti a seconda che vengano utilizzati processi di digestione anaerobica del tipo *a secco (dry)* oppure *ad umido (wet)*.

Nel primo caso le operazioni sono di tipo tradizionale e non prevedono la diluizione in fase di selezione, mentre nel secondo caso, già in fase di selezione si provvede alla miscelazione con acqua ed alla contemporanea separazione della frazione leggera (plastica) e pesante in particolari apparecchiature (flottatori).

La scelta delle operazioni da eseguire, la loro sequenza ed il tipo di apparecchiature da utilizzare, viene effettuata in relazione a:

- natura e caratteristiche del rifiuto in ingresso all'impianto;
- tipo di processo di digestione anaerobica adottato;
- qualità e destino dei materiali in uscita dall'impianto.

Quest'ultimo aspetto riveste un'importanza particolare, in quanto il destino dei materiali prodotti dall'impianto influenza direttamente le scelte di processo ovvero il grado di raffinazione richiesto.

Ciò vale in particolar modo per la frazione secca, che può essere termovalorizzata in impianti dedicati di trattamento rifiuti o, in alternativa, trasformata in un combustibile ad elevato grado di purezza, avente requisiti tali da poter essere utilizzato in impianti industriali.

Nel reparto di pretrattamento vengono di norma eseguite le seguenti operazioni:

Dilacerazione

Lo scopo della dilacerazione è quello di aprire i contenitori di raccolta nei quali vengono conferiti i rifiuti e di ridurre la pezzatura del materiale più voluminoso per permettere una selezione corretta. Tale operazione viene effettuata attraverso apparecchiature aprisacchi, le quali consentono di raggiungere l'obiettivo fissato senza provocare una frantumazione spinta del rifiuto, che potrebbe compromettere i successivi trattamenti per la commistione di materiali fini inerti triturati alla rimanente parte del rifiuto.

Questa operazione viene di norma eseguita con mulini ad alberi lenti, a dischi o a coltelli, oppure con mulini a coclee o con cilindri rompisacchi.

Separazione metalli

Tale operazione viene condotta con il duplice obiettivo di recuperare materie prime e di proteggere da abrasione ed eccessiva usura le apparecchiature successivamente utilizzate. La separazione dei metalli si ottiene impiegando separatori magnetici per metalli ferrosi e separatori a correnti indotte per metalli non ferrosi.

Separazione inerti e plastiche

Lo scopo della separazione degli inerti e delle materie plastiche è quello di rimuovere dalla massa di rifiuti le frazioni non biodegradabili e di ridurre il rischio di abrasione e di blocchi o intasamenti durante il processo. Tale operazione viene effettuata attraverso l'utilizzo di varie apparecchiature, singolarmente od in sequenza tra loro, quali vagli rotanti, vagli a dischi, vagli vibranti, separatori densimetrici, balistici, aeraulici o separatori ad umido (flottatori e sedimentatori).

Controllo pezzatura

Di norma è necessario sottoporre il flusso di rifiuti organici diretti al reparto di preparazione del substrato ad una riduzione delle dimensioni, allo scopo di rendere la pezzatura compatibile con il processo e con le apparecchiature utilizzate per la movimentazione della miscela. La granulometria del substrato, infatti, influenza direttamente le rese di processo, in quanto da essa dipende la superficie di contatto tra i microrganismi ed il materiale da digerire. In genere, vengono ritenute accettabili dimensioni inferiori a 50 mm per la sostanza organica da alimentare alla sezione di digestione. Il controllo della pezzatura viene effettuato tramite fasi di vagliatura e triturazione eseguite prima delle operazioni di miscelazione del substrato.

Oltre ai pre-trattamenti meccanici sopra descritti, la letteratura riporta, principalmente a livello di ricerca scientifica e di impianti dimostrativi, alcuni pre-trattamenti di tipo chimico, fisico e biologico rivolti alla frazione organica prima per poterne migliorare la conversione in biogas. In generale, il principio si basa sulla solubilizzazione delle matrici solide difficilmente o non aggredibili nello stadio di digestione anaerobica.

Tali tecniche sono sostanzialmente finalizzate ad incrementare l'efficienza della fase idrolitica del processo di digestione, riconosciuta come lo step limitante l'intero processo.

Come accennato, la loro applicazione in impianti operanti su scala reale trova oggi scarsa diffusione, mentre notevole è l'attenzione dedicata a queste problematiche da parte del mondo scientifico.

Omogeneizzazione e regolazione del contenuto di umidità

I rifiuti organici devono inoltre essere sottoposti ai trattamenti necessari all'ottenimento di una miscela avente le caratteristiche chimico-fisiche ottimali per poter essere introdotta nei digestori. Tale preparazione si rende necessaria al fine di garantire il corretto funzionamento del processo e di ottimizzare le rese di metanizzazione.

I rifiuti devono essere diluiti in modo da regolare l'umidità della miscela al valore ottimale, prima dell'invio all'unità di digestione. Tale valore dipende dal tipo di processo utilizzato (ad umido, a secco, semi-secco) e dal materiale da sottoporre al trattamento. L'obiettivo può essere raggiunto tramite l'aggiunta di fanghi oppure di acqua di ricircolo proveniente dalla sezione di disidratazione. Oltre alla regolazione del contenuto d'acqua è anche necessario provvedere all'omogeneizzazione della miscela prima dell'introduzione nel digestore.

I tipi di miscelatori maggiormente utilizzati sono:

- miscelatori a coclee per processi a secco o semi-secco;
- idropolpatori per processi ad umido o semi-secco.

I dispositivi di agitazione o miscelazione devono essere realizzati in materiale resistente all'azione abrasiva o corrosiva dei materiali costituenti i rifiuti. L'unità di miscelazione deve essere facilmente accessibile ed ispezionabile, al fine di consentire lo svolgimento delle operazioni di pulizia e di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Regolazione della temperatura

La miscela da degradare deve essere portata alla temperatura richiesta dal particolare processo utilizzato. La regolazione termica può essere realizzata sia all'esterno, che all'interno del digestore. Nel primo caso viene generalmente riscaldata l'acqua di diluizione o la miscela stessa tramite scambiatori di calore.

Nel caso di riscaldamento interno, invece, è possibile ricorrere, oltre che all'utilizzo di scambiatori di calore, anche all'iniezione diretta di vapore nel digestore. In questo caso occorre effettuare una vivace miscelazione per prevenire il surriscaldamento del fango e lo shock termico dei batteri, che può causare la loro completa inibizione.

D 3.3. Fase di Trattamento Biologico

D 3.3.1 Trattamento Aerobico

Numerosi sono i metodi di trattamento aerobico applicabili alla stabilizzazione dei rifiuti organici. La scelta del metodo dipende da una serie di fattori, tra i quali, in primo luogo, la tipologia delle matrici organiche da trattare.

Come è stato già ampiamente evidenziato, le matrici organiche destinabili alla stabilizzazione attraverso il processo di ossidazione biologica ospitano, in generale, sia microorganismi in grado di condurre reazioni di decomposizione anaerobica che specie microbiche con metabolismo ossidativo. Poiché il fine del compostaggio è la biostabilizzazione aerobica della sostanza organica, il requisito fondamentale per garantire un decorso rapido ed efficiente del processo, è quello di mantenere la presenza di ossigeno nelle matrici in trasformazione, ai livelli compatibili con il metabolismo microbico aerobico. Ne consegue che, nelle diverse situazioni operative, il metodo di compostaggio adottato, determina il modo attraverso il quale la suddetta esigenza è soddisfatta e finisce per condizionare altri aspetti del processo come il controllo della temperatura, la movimentazione del materiale in trasformazione, il controllo delle emissioni maleodoranti ed il tempo di stabilizzazione.

I sistemi di processo si suddividono in:

- sistemi intensivi ed estensivi, a seconda del grado di articolazione tecnologica, dell'importanza data ai processi naturali e a quelli indotti, e degli input energetici unitari;
- sistemi chiusi ed aperti, a seconda del grado di confinamento degli stessi rispetto all'intorno ambientale;
- sistemi statici e dinamici, a seconda della presenza e frequenza degli interventi di movimentazione per la ricostituzione periodica dello stato strutturale;
- sistemi aerati e non aerati, a seconda dell'aerazione forzata o, di converso, dell'affidamento esclusivo ai processi spontanei di diffusione e convezione.

Nel panorama tecnologico, si riconoscono essenzialmente tre tipologie generali di metodi di trattamento aerobico: *a) in cumuli periodicamente rivoltati*, *b) in cumuli statici aerati* e *c) il in bioreattori*. Ciascuna tipologia si articola in una vasta gamma di sistemi applicativi. Esiste anche il cosiddetto *trattamento aerobico passivo*, il quale non ha però rilevanza in termini tecnologici. Esso, infatti, presuppone il semplice ammasso della matrice organica putrescibile, la quale viene poi lasciata indisturbata per lunghi periodi di tempo (molti mesi), senza condizionamento alcuno delle reazioni di degradazione e trasformazione. Rientra in questa categoria il trattamento delle deiezioni animali presso la maggior parte delle aziende agricole.

D 3.3.1.1 Il trattamento aerobico in cumuli con rivoltamento della biomassa substrato

Il trattamento aerobico secondo tale metodo si attua disponendo la matrice di partenza in lunghe andane (*windrows*), normalmente a sezione triangolare o trapezoidale più o meno rastremata, le quali sono movimentate o rivoltate periodicamente.

L'altezza delle andane varia a seconda delle caratteristiche del substrato e della macchina movimentatrice. Matrici molto dense (es. alcuni tipi di deiezioni animali), che tendono a compattarsi, devono essere sistemate in cumuli di 1,2-1,5 m; d'altra parte, con materiali piuttosto soffici, come i fanghi di depurazione miscelati a scaglie di legno (*wood chips*), si possono formare cumuli di 2-3 m di altezza e talvolta anche più alti. La base dei cumuli varia, di solito, dai 3 ai 6 m. Le più comuni pale meccaniche possono lavorare tranquillamente anche su andane alte. Le macchine rivoltatrici, sia trainate che semoventi, non sono invece compatibili con cumuli alti più di 3 m.

I cumuli sono aerati principalmente grazie alle correnti d'aria e ai moti convettivi e diffusivi della stessa. Il ricambio d'aria all'interno della matrice dipende dalla porosità del cumulo. Quindi, la dimensione di un cumulo compatibile con una efficiente aerazione è determinata dalla porosità dello

stesso. Cumuli troppo grandi tendono a compattarsi, con il rischio di insorgenza di reazioni anaerobiche nella parte centrale. Di contro, andane di dimensioni modeste perdono calore troppo rapidamente; cosicché, le temperature necessarie per una progressiva evaporazione dell'acqua e per la distruzione degli eventuali organismi patogeni non sono raggiunte.

Il rivoltamento consente il rimescolamento dei materiali contribuendo anche a ridurre la pezzatura delle particelle, con conseguente aumento della superficie disponibile per l'attacco microbico. Esso ripristina anche la porosità della matrice in trasformazione, incrementando, al contempo, gli scambi passivi del vapore acqueo e degli altri gas prodottisi nell'atmosfera interna al cumulo. Sebbene le andane, in conseguenza del rivoltamento, vengano aerate, l'ossigeno apportato dalla movimentazione negli interstizi vuoti della matrice è consumato rapidamente dai microorganismi. Per questo, il risultato del rivoltamento è una variazione ciclica della concentrazione di ossigeno all'interno del cumulo. L'ossidazione biologica non può essere mantenuta, costantemente, al massimo dell'efficienza poiché, tra una movimentazione e l'altra, la concentrazione di ossigeno costituisce il fattore limitante.

Il rivoltamento permette, inoltre, la redistribuzione nell'ambito del cumulo dei differenti strati della matrice, secondo un profilo diverso. Così il materiale in superficie viene rimpiazzato da quello proveniente dalle zone interne del cumulo e viceversa. Ciò consente, nel corso del processo, una eguale esposizione di tutta la matrice ora all'atmosfera più ossigenata della superficie, ora alle alte temperature dell'interno del cumulo. In questo modo, la biomassa substrato subisce una stabilizzazione omogenea ed una sufficiente igienizzazione.

La frequenza dei rivoltamenti dipende dal tasso di decomposizione della biomassa, dal contenuto di umidità e dalla porosità del substrato. Dal momento che il tasso di degradazione è, solitamente, molto elevato negli stadi iniziali del processo, la frequenza dei rivoltamenti può diminuire con l'età del cumulo. Matrici molto putrescibili possono richiedere rivoltamenti giornalieri nelle prime fasi del processo. Al progredire della biostabilizzazione, la frequenza delle movimentazioni può essere ridotta fino ad un rivoltamento a settimana. L'insorgenza di emissioni maleodoranti, un rapido declino della temperatura ovvero l'eccessivo accumulo di calore verso i limiti che rischiano di compromettere la vitalità dei microorganismi, sono tutte situazioni che rendono ragionevole un rivoltamento. Durante la stagione riproduttiva delle mosche, i cumuli devono essere rivoltati almeno una volta alla settimana, indipendentemente dall'andamento delle temperature della matrice, in modo da interrompere il ciclo biologico di questi insetti. Con il progredire del processo di stabilizzazione, le dimensioni dei cumuli si contraggono sensibilmente sì da rendere opportuna la fusione di due o più cumuli in una nuova, unica andana che impedisca l'eccessiva dissipazione del calore. Nel trattamento aerobico effettuato all'aperto, tale espediente risulta molto importante, specialmente durante la stagione fredda.

Con il metodo dei cumuli rivoltati periodicamente, la prima fase di decomposizione dura, generalmente, da tre a nove settimane, a seconda della natura del substrato di partenza e della frequenza delle movimentazioni. Per ottenere il superamento della fase di intensa attività biologica in tre-quattro settimane, è necessario procedere a rivoltamenti una o due volte al giorno nel corso della prima settimana di processo, dopo di che, ad un rivoltamento ogni due-tre giorni.

Per quanto riguarda la scelta delle macchine operatrici destinate al rivoltamento del materiale, si dovrà tenere di conto, sia della quantità di materiale da movimentare, sia della forma e delle dimensioni dei cumuli.

In piccoli impianti di trattamento aerobico, il rivoltamento può essere assicurato da una *pala meccanica dotata di cucchiaio caricatore frontale*. Con questo tipo di macchina, la matrice trattata viene prelevata dal cumulo e lasciata poi ricadere in modo da ricostituire l'andana con materiale reso più soffice dalla movimentazione. L'azione della pala serve, non solo ad aerare il materiale, ma anche a rimescolarlo. I cumuli rivoltati con pala meccanica sono di solito allestiti in coppie ravvicinate, al fine di renderne più facile l'accorpamento man mano che, con il procedere del processo, la matrice in compostaggio si riduce in volume. A seconda della dimensione della macchina, una pala meccanica è in grado di movimentare 30-60 m³/h.

Negli ultimi 20 anni sono state messe a punto *macchine specializzate per il rivoltamento* delle andane di materiale sottoposto al trattamento aerobico. Queste macchine hanno il pregio di ridurre notevolmente i tempi di lavoro e la manodopera necessaria; esse, inoltre, consentono un più omogeneo rimescolamento del materiale. Alcune di queste macchine operatrici sono progettate per essere azionate dai comuni trattori di uso agricolo, mediante connessione con la presa di forza frontale o posteriore; altre sono semoventi. Le *macchine rivoltatrici azionate da trattore* possono essere trainate ovvero spinte. Di solito sporgono da un lato del trattore e movimentano il materiale trattato man mano che il trattore procede lungo il corridoio tra due andane. Queste macchine possono operare sia a mezzo di un albero rotante, perpendicolare allo sviluppo longitudinale delle andane, munito di palette o dischi di varia foggia che fresano, rimescolano e risistemano il cumulo, sia mediante un nastro elevatore inclinato, ad ampio fronte di carico, dotato di opportuni raschiatori. La maggior parte di queste macchine rivoltatrici azionate da trattore sono in grado di operare, ad ogni passaggio, solo sulla metà del fronte dell'andana interessata al rivoltamento. In questo caso, la movimentazione completa di un cumulo si esaurisce con due passaggi del trattore, in opposto senso di marcia, lungo l'asse longitudinale dell'andana. Esistono anche macchine rivoltatrici trainate, le quali operano su tutta la larghezza dell'andana, cavalcando la stessa con gli organi fresanti. Al trattore, per poter muovere una macchina rivoltatrice, è richiesta una potenza minima non inferiore ad 80 hp.

Le *macchine rivoltatrici semoventi* consistono, invece, sia in poderosi telai cavalca-cumulo, montati su ruote gommate o cingoli e dotati di asse rotante frontale, con palette o dischi fresanti, sia in convogliatori cingolati a nastro trasportatore mobile su piano inclinato. Rispetto alle operatrici azionate da trattore, le macchine rivoltatrici semoventi possono operare su cumuli sistemati in parallelo, con corridoi intercalari più stretti; ciò significa un notevole risparmio di spazio altrimenti improduttivo ai fini del processo. Considerato l'elevato costo di acquisto, le macchine semoventi trovano tuttavia adeguato sfruttamento soltanto in impianti di grandi dimensioni

D.3.3.1.2 Il trattamento aerobico in cumuli statici aerati

Il trattamento aerobico effettuato in cumuli statici aerati elimina la necessità di movimentare il materiale, rendendo, di contro, possibile l'ossigenazione grazie alla circolazione di aria in appositi sistemi di tubi diffusori. Una prima importante distinzione, nell'ambito del metodo, è tra i sistemi nei quali si applica l'*aerazione passiva* dei cumuli e sistemi nei quali, invece, si ricorre all'*aerazione forzata*.

Cumuli statici aerati passivamente. Il processo condotto in cumuli aerati passivamente prevede il trasporto dell'aria all'interno del substrato in trasformazione attraverso un apparato di tubi bucherellati, immersi nel cumulo. Le estremità aperte dei tubi terminano all'esterno del cumulo. L'aria fluisce nei tubi e, per il tramite dei forellini aperti per tutta la lunghezza della porzione immersa nella matrice organica, si diffonde attraverso il profilo del cumulo, grazie all'effetto ciminiera creato dai gas caldi, che si portano verso gli strati esterni per poi fuoriuscire alla superficie del substrato.

I cumuli devono essere non più alti di 1-1,2 m e ricoperti, in superficie, con uno strato di circa 10 cm costituito da compost maturo, paglia o torba di sfagno. Questo strato esterno ha funzioni coibenti e di adsorbimento delle emissioni maleodoranti. Una volta formato, il cumulo non è più movimentato, se non a fine processo, è necessario quindi miscelare bene il substrato di partenza per renderlo quanto più omogeneo e dotato di un'adeguata tessitura, magari ricorrendo all'uso di agenti di supporto ligno-cellulosici (es. paglia triturrata, trucioli di legno, etc.). I tubi per l'aerazione sono piazzati sul basamento che ospiterà il cumulo, sopra uno strato di compost maturo, paglia o torba, simile a quello con cui verrà coibentata la matrice sottoposta a trattamento. Di solito, i tubi vengono posizionati con i fori rivolti verso il basso in modo da evitare rischi di ostruzione ed il drenaggio della condensa. Quando il processo di compostaggio è completato, i tubi vengono semplicemente sfilati dalla matrice ed il materiale impiegato come coibente viene miscelato al compost.

Tale metodo si è rivelato particolarmente interessante per il trattamento dei residui di alcune industrie conserviere, caratterizzati dalla presenza di sostanze a forte impatto olfattivo o da elevate concentrazioni di composti azotati (es. rifiuti della lavorazione di molluschi e crostacei, liquami suinicoli, scarti della macellazione e dell'industria ittica, etc.).

Cumuli statici con aerazione forzata. Il metodo dei cumuli statici aerati si basa sull'uso di apparati che costringono l'aria a fluire forzatamente attraverso la matrice sottoposta a trattamento aerobico. Questi apparati consentono, in generale, un maggiore controllo del processo. Il rifornimento di aria nella matrice organica in trasformazione può essere attuato in due modi: attraverso *aspirazione di aria* dalla superficie del cumulo (*suction* o *vacuum induced ventilation*) ovvero per *insufflazione forzata di aria* nel substrato (*blowing* o *forced pressure ventilation*).

Con la tecnica dei cumuli statici con aerazione forzata, i substrati di partenza, eventualmente miscelati ad appropriati agenti di supporto che ne incrementino la porosità, sono sistemati in cumulo su una platea di solito ricoperta da uno strato di scaglie di legno, paglia triturrata od altro materiale poroso. Questo strato di materiale poroso ospita i tubi per l'aerazione, opportunamente bucherellati. Nelle soluzioni impiantistiche più recenti, si evita il posizionamento dei tubi di aerazione sulla superficie della platea di compostaggio, ricavando, nella stessa, canalette grigliate che ospitano i tubi ovvero funzionano esse stesse da conduttura di aerazione. Il sistema di tubi è connesso ad un ventilatore che può aspirare aria ovvero spingerla attraverso la matrice sottoposta al trattamento. Affinché sia garantita una uniforme diffusione dell'aria nella matrice in trasformazione, i cumuli non devono superare i 2,5 m in altezza.

Nei cumuli "aspirati", viene creata una depressione per mezzo del sistema di tubi posizionati nella matrice, sulla platea di trattamento, e connessi con il ventilatore che, in questo caso, agisce da aspiratore. L'aria viene richiamata nel substrato dalla superficie esterna, passa attraverso il profilo del cumulo e viene drenata, al fondo, dal sistema di tubi dotati di fori. L'aria esausta è veicolata all'esterno del cumulo dal tubo di raccordo principale, il quale si immette in un sistema filtrante, prima di connettersi con l'aspiratore. Ciò permette l'abbattimento delle eventuali emissioni maleodoranti ed evita che il vapor acqueo, drenato via dal cumulo assieme all'aria esausta, raggiunga, con il suo carico di sostanze corrosive (acidi organici), l'aspiratore. Il sistema di trattamento aerobico basato sull'aspirazione dell'aria, detto anche *processo Beltsville*, presenta alcuni inconvenienti rispetto al controllo dei parametri di processo. Il richiamo di aria fredda dall'atmosfera esterna all'interno del substrato, fa sì che, nella regione centrale dei cumuli, si condensi il vapor acqueo. Ciò porta, in primo luogo, alla formazione di ristagni d'acqua che possono provocare l'insorgenza di condizioni anaerobiche in vaste porzioni della matrice. La ridotta evaporazione determina, inoltre, una minore dissipazione del calore e, di conseguenza, un cattivo controllo della temperatura.

Nel sistema di aerazione forzata per insufflazione invece, il ventilatore funziona come soffiante, inducendo una pressione positiva all'interno della matrice. In questo modo, l'aria esausta viene spinta verso la superficie esterna del substrato e rimpiazzata da quella fresca diffusa dal sistema di tubi alla base del cumulo. Con questo sistema, il controllo delle eventuali emissioni maleodoranti può essere conseguito mediante la stesura di uno strato (circa 10 cm) di compost maturo alla superficie del cumulo.

Il sistema di biostabilizzazione con aerazione forzata per insufflazione rappresenta, fra tutte le alternative in cumuli statici, la procedura più razionale per la gestione del processo. L'insufflazione rende possibile, infatti, un miglior controllo della temperatura, che è poi il parametro che maggiormente condiziona il metabolismo microbico durante la prima fase di decomposizione.

Le soffianti, e quindi l'adduzione forzata di aria nella matrice trattata, possono essere governate secondo strategie diverse. I ventilatori possono, infatti, operare sia in continuo, che ad intermittenza. In quest'ultimo caso, il meccanismo di controllo dei periodi di lavoro e di pausa può dipendere da un programma impostato su apposito temporizzatore (*timer*) ovvero da un sensore di temperatura collocato all'interno del cumulo.

L'insufflazione in continuo, per quanto garantisca una costante ossigenazione e dissipazione del calore in eccesso dal substrato, presenta alcuni inconvenienti. Le zone del cumulo più vicine ai tubi diffusori tendono a raffreddarsi troppo ed a disidratarsi. Ciò determina l'arresto di una significativa evoluzione biologica di cospicue porzioni della matrice, nelle quali anche la disattivazione degli eventuali patogeni viene compromessa.

D'altra parte, con le soffianti operanti ad intermittenza, le temperature nelle diverse sezioni del cumulo tendono invece, tra un turno di insufflazione e l'altro, ad equalizzarsi.

Quando i periodi di aerazione forzata sono governati da un *timer*, le soffianti si attivano o si disattivano sulla base di tempi fissati. Il programma dei periodi di lavoro e di pausa dipende dalle caratteristiche del cumulo (dimensioni) e, soprattutto, da quelle della biomassa substrato (degradabilità, porosità, *etc.*). Di solito si ricorre a cicli durante i quali la soffiante lavora da 1/3 a 1/2 del tempo disponibile (*e.g.* 10 min di lavoro ogni 20 min di pausa). I periodi di pausa non dovrebbero mai superare i 30 min.

La gestione dell'insufflazione per mezzo di programmi impostati su *timer*, per quanto consenta una buona aerazione del substrato ed un sufficiente controllo della temperatura, non necessariamente riesce a mantenere le temperature del cumulo entro limiti ottimali per l'attività microbica.

Un più stretto controllo della deriva termica nei cumuli statici "insufflati" è stato raggiunto assoggettando il funzionamento delle soffianti all'andamento della temperatura all'interno del substrato. Il sistema di insufflazione forzata dei cumuli governato dalla temperatura (*temperature feed-back control*) viene indicato anche come *processo Rutgers*. Poiché la temperatura è un indice indiretto dell'attività metabolica della biomassa microbica, un sensore termico (termocoppia) è collocato nel cumulo sottoposto a trattamento. Questo sensore invia un segnale ad un termostato sul quale viene impostata, a discrezione dell'operatore, una certa temperatura (normalmente 55 °C). Il termostato è collegato, a sua volta, con la centralina di controllo delle soffianti. Quando la temperatura alla termocoppia raggiunge il valore fissato sul termostato, questo attiva le soffianti, le quali lavorano in continuo, fin tanto che la dissipazione del calore dovuta alla ventilazione forzata non riporta la temperatura del substrato sotto al limite impostato sul termostato. Alle temperature inferiori rispetto al limite fissato sul termostato, le soffianti agiscono secondo un programma di tempi di lavoro e pause governato da un *timer*. In questa maniera, si garantiscono i massimi apporti di aria in coincidenza con le punte più intense di attività microbica. Siccome elevata attività dei microrganismi significa maggiore utilizzazione di ossigeno e produzione di calore, l'aria fornita dalle soffianti "su richiesta" soddisfa, da una parte, le accresciute esigenze di ossigeno, mentre dissipa, dall'altra, il calore in eccesso. Il valore di 55 °C, di solito impostato sul termostato, garantisce il raggiungimento di temperature sufficienti alla disattivazione dei patogeni. Con il *processo Rutgers*, la prima fase di decomposizione si conclude nell'arco di tre-quattro settimane.

D.3.3.1.3 Il trattamento aerobico in bioreattori

Il trattamento in bioreattore (*in-vessel composting*) prevede la stabilizzazione della biomassa substrato in particolari strutture di contenimento, dove tecniche di movimentazione e di aerazione forzata della matrice sono variamente combinate. Questi "bioreattori" possono essere contenitori chiusi o semplici vasche aperte. La maggior parte di questi apparati assolve solo ad una prima parziale omogenizzazione e trasformazione delle matrici organiche. La biostabilizzazione aerobica vera e propria del materiale in uscita dai reattori avviene, di solito, attraverso uno dei numerosi sistemi in cumulo.

Da un punto di vista delle applicazioni tecnologiche, le più diffuse tipologie di bioreattori sono: i *cilindri rotanti*, i *silos*, le *biocelle* e le *trincee dinamiche aerate*. Cilindri rotanti, silos e biocelle rientrano nella categoria dei reattori chiusi, mentre le trincee dinamiche aerate sono un esempio di reattori aperti. A loro volta, cilindri rotanti, silos e trincee dinamiche aerate, contrariamente alle biocelle, prevedono la movimentazione della biomassa substrato all'interno del reattore.

I cilindri rotanti. Si tratta di grandi cilindri disposti orizzontalmente e sistemati su speciali ingranaggi che ne consentono un lento movimento rotatorio. Il substrato viene alimentato attraverso una

tramoggia sistemata ad una estremità del cilindro. La matrice organica, a seguito del movimento rotatorio, viene miscelata e spinta attraverso tutta la lunghezza del cilindro, per poi venir scaricata all'estremità opposta a quella di carico. Le dimensioni più frequenti per questi tipidi cilindri sono 3 m di diametro, per 35 m circa di lunghezza. Considerando un utilizzo massimo del volume interno intorno al 70%, le suddette misure consentono una capacità giornaliera dell'ordine di 50 t, con tempi di residenza del substrato di tre giorni. Nel cilindro, i processi di decomposizione iniziano rapidamente, preparando il substrato alla stabilizzazione successiva, fuori del reattore.

L'aria è alimentata dalla estremità di scarico della matrice e si muove, nel cilindro, in direzione opposta rispetto all'avanzamento del substrato. La velocità di rotazione e il grado di inclinazione dell'asse del cilindro determinano il tempo di ritenzione del materiale caricato. All'interno, il cilindro può essere completamente aperto oppure diviso in due o tre compartimenti, separati da porte di trasferimento manovrabili. In quest'ultimo caso, alla fine di ogni giorno di attività, viene aperta la porta di trasferimento dell'estremità di scarico e l'ultimo compartimento è così svuotato. Successivamente gli altri compartimenti sono aperti ed il materiale in essi contenuto è trasferito in sequenza, liberando così il primo compartimento che riceve un nuovo carico. All'interno del cilindro si raggiungono temperature $> 55^{\circ}\text{C}$ che contribuiscono ad una drastica disattivazione degli eventuali microorganismi patogeni.

Questi cilindri rotanti sono costosi e, non apportano alcun giovamento significativo al processo complessivo di stabilizzazione della matrice di partenza. La quasi totalità del processo avviene infatti all'esterno del bioreattore, con i soliti problemi di controllo del processo stesso. Preparazione e igienizzazione del substrato possono essere raggiunti secondo procedure molto più semplici e meno onerose.

I silos. Sono reattori cilindrici, verticali, di solito completamente chiusi. In quelli a configurazione più recente, ogni giorno uno speciale apparato estrattore rimuove dal fondo del reattore la porzione di substrato parzialmente stabilizzata, mentre nuova matrice fresca viene alimentata dall'alto. L'aerazione è attuata per mezzo di un sistema di diffusori posti al fondo del silo. L'aria passa così attraverso tutto il profilo del materiale sottoposto a trattamento. Una volta arrivata al culmine del reattore, l'aria esausta viene convogliata in un filtro per l'abbattimento degli odori. Il tempo di ritenzione del substrato all'interno del silo è normalmente dell'ordine delle due settimane. Dopo la rimozione dal silo, la matrice viene avviata alla fase di completa stabilizzazione in cumulo ovvero in un secondo silo, anch'esso aerato.

Inconvenienti principali legati al trattamento in silos sono: la tendenza ad un eccessivo compattamento della biomassa substrato; la difficoltà di aerare in maniera omogenea, con rischio di eccessiva ventilazione e raffreddamento della matrice a contatto dei diffusori a fronte della scarsa ossigenazione delle parti alte del silo; la condensa del vapore lungo le pareti fredde del reattore, con conseguente ostacolo della progressiva perdita di umidità ed eccessivo ristagno d'acqua nella matrice. Tutto ciò può limitare il decorso delle reazioni aerobiche e rendere difficile il controllo della temperatura.

I silos si prestano al trattamento di matrici organiche particolarmente soffici e ben strutturate.

Le biocelle. L'utilizzo, invece, di biocelle prevede un preliminare trattamento della biomassa substrato all'interno di veri e propri *containers* scarrabili, da sistemarsi in apposita platea cementata, dotati di un impianto di aerazione che consente l'adduzione di aria all'interno del reattore attraverso il pavimento ad intercapedine, perforato. Ogni biocella può contenere da 30 a 60 m^3 di materiale, il quale viene caricato attraverso un portellone, successivamente chiuso in maniera ermetica. Il metodo è, a tutti gli effetti, un sistema statico e, perciò, richiede una accurata preparazione della miscela iniziale, sia in termini di bilanciamento dei nutrienti, sia, soprattutto, in termini di adeguata porosità e resistenza meccanica al compattamento. Dopo uno stazionamento di 7-12 giorni all'interno del *container*, la matrice in trasformazione, dopo aver perso buona parte della putrescibilità e della tendenza a rilasciare percolato, viene sistemata in cumuli, all'esterno, dove raggiunge la completa maturazione in ulteriori 8 settimane. In conclusione, l'intero ciclo di trattamento con il sistema a biocelle richiede un arco temporale di 9-10 settimane. Le biocelle,

come tutti i sistemi di trattamento in reattori chiusi, offrono la possibilità sia di controllare le emissioni di odori, mediante il trattamento dell'aria esausta in uscita per mezzo di biofiltri, sia di gestire razionalmente il percolato. Questi bioreattori possono essere impiegati singolarmente ovvero in batteria di due o più unità.

Le trincee dinamiche aerate. Sono definite anche *letti agitati (agitated beds)*. Questi sistemi combinano l'aerazione controllata del substrato con il periodico rivoltamento dello stesso. Non sono reattori chiusi ed il trattamento delle matrici alimentate avviene in strette corsie o vasche (trincee), delimitate da pareti che corrono soltanto lungo l'asse longitudinale. Più corsie possono essere sistemate, in batteria, una adiacente all'altra. Sul culmine di ogni parete è sistemata una rotaia. Una macchina rivoltatrice si muove a cavallo di ogni corsia, seguendo il binario formato dalle due pareti di contenimento adiacenti. Negli impianti a corsie multiple, la macchina rivoltatrice può essere spostata da una trincea all'altra per mezzo di un telaio traslatore su ruote, posto in testa alle vasche.

In un tipico schema operativo, la biomassa substrato è alimentata all'estremità di carico della corsia. Come la macchina rivoltatrice avanza sulle rotaie, la matrice viene rivoltata e quindi scaricata alle spalle della macchina stessa. Così, ad ogni passaggio, la macchina movimentata il materiale sottoposto a trattamento verso l'estremità di scarico della corsia. La macchina rivoltatrice ha la funzione di miscelare la matrice in trasformazione, favorendone così la omogeneizzazione, mediante la disaggregazione di eventuali agglomerati, e incrementando il rilascio di vapore acqueo e di calore. Il rivoltatore opera in maniera completamente automatizzata.

Sul pavimento delle vasche, corrono, in senso longitudinale, delle canalette che ospitano il sistema di diffusione dell'aria, connesso con una serie di soffianti. In questo modo la matrice trattata può essere aerata anche in fase di stazionamento. Siccome, lungo la corsia, il substrato si trova in stadi di maturazione diversi, la corsia stessa è suddivisa in sezioni, a ciascuna delle quali può essere addotta una quantità d'aria diversa da quella contemporaneamente immessa nelle altre. Di solito, ogni sezione è alimentata da una soffiante, governata da un sensore di temperatura collocato nel settore di riferimento e funzionante secondo il sistema a *feed-back*.

La capacità del sistema dipende, ovviamente, dal numero e dalle dimensioni delle corsie. Nelle applicazioni più diffuse, le trincee hanno una lunghezza di 25-30 m, sono larghe 3-4 m e sono delimitate da pareti alte 1,5-3 m. La lunghezza delle corsie e la frequenza dei rivoltamenti determina i periodi di residenza della biomassa all'interno del reattore. A seconda delle caratteristiche del substrato, i tempi di ritenzione variano da tre a cinque settimane. Dopo di che, il materiale in uscita dalle trincee viene avviato alla fase di finissaggio.

Questo tipo di bioreattori si è rivelato particolarmente efficace nel trattamento di biomasse ad elevato contenuto di umidità, come i rifiuti dei mercati ortofrutticoli per la produzione di compost di elevate specifiche qualitative.

D 3.3.2 Digestione anaerobica

Le tipologie degli schemi di processo sono state descritte nel Paragrafo D 2.

D 3.4 . Post-Trattamenti: principali operazioni e tecnologie disponibili

Si intendono le operazioni destinate a condizionare le caratteristiche del prodotto derivante dalla fase di biossidazione e/o trasformazione, in funzione degli utilizzi finali.

D 3.4.1 Post-trattamenti: trattamento aerobico

Raffinazione del prodotto stabilizzato

I post- trattamenti si pongono gli obiettivi di:

- separare i corpi estranei o indecomposti eventualmente presenti:
 - a) raffinazione dimensionale;
 - b) vagliatura densimetrica;
 - c) vagliatura aeraulica;
- qualificare merceologicamente il prodotto:
 - a) essiccazione;
 - b) pellettizzazione;
 - c) granulazione.

Tabella 8: Principali operazioni di post – trattamento nei trattamenti biologici

Post trattamento	Finalità	Tecnologie disponibili
Vagliatura	Separazione del materiale trattato in flussi di massa caratterizzati da omogeneità dimensionale al fine di separare i prodotti dagli scarti di processo; es: RU- separazione in frazione secca e frazione organica	- Vagli rotanti - Vagli vibranti
Classificazione densimetrica	Separazione del materiale trattato in due flussi di massa omogenei per densità al fine di separare i prodotti del processo dalle impurezze contenute	- Classificatore aeraulico - Tavola densimetrica
Demetallizzazione	Rimozione dei materiali ferrosi e non ferrosi	- Magneti permanenti o elettromagneti per il ferro - Cernitrici a correnti indotte per i metalli non ferrosi

Come mostrato nella tabella 8, la raffinazione finale può essere dimensionale e/o densimetrica (quest'ultima viene generalmente adottata in combinazione con l'altra).

La separazione densimetrico-aeraulica (tavola densimetrica, ciclone) consente la separazione di corpi di piccole dimensioni plastici o vetrosi e di sassi dal prodotto finale.

Tenendo conto della eventuale presenza di materiali plastici da *shoppers* o sacchi, soprattutto nel flusso di residui alimentari, può essere comunque valutata opportuna l'adozione di un sistema dedicato di separazione aeraulica degli inerti plastici stessi, eventualmente solo per "pulire"

sistematicamente o periodicamente i sovralli della raffinazione dimensionale, che altrimenti concentrerebbero progressivamente (se riciclati in testa al processo) i materiali non decomponibili; il separatore divide tali materiali dagli scarti legnosi incomposti, riutilizzabili come agente di struttura o pacciamante.

L'operazione di vagliatura, nel caso in cui la matrice di partenza sia stata approntata con il ricorso ad agenti strutturanti con dimensione delle particelle grossolana, consente, da una parte, di ottenere un prodotto finito più omogeneo e di granulometria idonea alle applicazioni più specialistiche (es. floricoltura, orticoltura, vivaismo), dall'altra, di recuperare il substrato ligno-cellulosico solo parzialmente decomposto per nuove miscele con l'ingrediente primario. La vagliatura ha infine il compito di eliminare dal prodotto finito eventuali frazioni contaminanti (es. frammenti di materiale plastico, inerti di varia natura), nei casi in cui queste siano presenti nel substrato umido di partenza.

L'efficacia di un vaglio è, invece, correlata alla sua capacità di separare le particelle della matrice nelle frazioni granulometriche desiderate. Quindi essa diminuisce quando particelle più grandi di quelle desiderate passano attraverso il vaglio ovvero quando particelle con dimensioni corrispondenti alla frazione voluta rimangono al di sopra della superficie di vagliatura.

Sia la capacità che l'efficacia dipendono dal tasso di alimentazione del vaglio rispetto alla superficie vagliante utile ($m^3/m^2/h$) e dalla dimensione dei fori. Le condizioni ottimali si raggiungono nel giusto compromesso tra qualità del materiale affinato e quantità dello stesso ottenuta nell'unità di tempo.

È da notare inoltre che i vagli funzionano meglio se alimentati con materiale più secco e pertanto, è preferibile condurre l'operazione di vagliatura dopo la fase di finissaggio.

Per evitare problemi ricorrenti di impaccamento della matrice trattata e di ostruzione delle aperture dei vagli, il biostabilizzato sottoposto a vagliatura dovrebbe avere un'umidità non superiore al 45 %. Al fine di ovviare ai fenomeni di impaccamento, alcune tipologie di vaglio presentano apparati per la preventiva rottura e miscelazione dei grumi del materiale prima che questo passi alla vagliatura vera e propria.

In questa fase possono essere utilizzate le seguenti tipologie di apparecchiature:

- Vagli a tamburo cilindrico inclinato rotante: hanno una superficie curva dotata di fori, possono essere aperti o racchiusi in una scocca di protezione. In quest'ultimo caso, un'apertura longitudinale è presente nella parte inferiore per la raccolta del materiale fine in uscita dai fori. I vagli a cilindro rotante sono solitamente dotati di un dispositivo di carico all'estremità più elevata e presentano alette interne per consentire l'avanzamento della matrice lungo l'asse longitudinale, fino all'estremità posta più in basso, dalla quale fuoriesce il materiale grossolano. Essi, talvolta, presentano anche sistemi di spazzole che, ruotando a contatto della porzione d'arco superiore del vaglio, ad ogni giro del tamburo, consentono di liberare i fori da eventuali occlusioni.
- Vagli vibranti: il passaggio della frazione fine avviene attraverso una griglia forata inclinata vibrante (o in movimento sussultorio nella variante "a pannelli elastici").. La macchina opera solitamente a punto fisso, ma è disponibile, comunque, la versione mobile montata su rimorchio.
- Vagli "a letto di stelle": una serie di tubi metallici rotanti portano elementi circolari in gomma a forma di stella distanziati sull'asse di una distanza pari a quella della larghezza di un elemento. La rotazione sincronizzata di un letto composto da una serie di questi tubi apre delle luci passanti di uguale grandezza nella quale passa la frazione fine. Contemporaneamente la rotazione dei tubi spinge il sovrallio verso la fine del vaglio.
- Separatori balistici: si basano sulle diverse traiettorie percorse da particelle proiettate da un rotore ad alta velocità. Il materiale viene fatto cadere su un rotore rivestito in gomma (circa 500mm di diametro) che deposita le particelle più leggere (es. compost o materiale organico

in generale) in una tramoggia posta a breve distanza, mentre quelle più pesanti (pietre, vetro, ecc) vengono scagliate più lontane e raccolte in una seconda tramoggia. Questo tipo di separazione è indicato in impianti di trattamento di RU indifferenziati, ovvero in impianti che trattano scarti alimentari selezionati, ma merceologicamente impuri.

- **Separatori aeraulici:** collocato in una zona di carico che può presentare una tavola vibrante per la sua distribuzione in strato sottile, il materiale scorre lungo un nastro trasportatore fino ad una serie di ventilatori che, per aspirazione o insufflazione, separano le frazioni più leggere (plastiche, carta, ecc...) che vengono convogliate in apposite tubazioni. I modelli disponibili sul mercato non sono molti, e presentano capacità di lavoro massima in ingresso non superiori a 40-50 m³/h, con potenze installate di 15-35 kW. L'efficienza di separazione dichiarata è del 70-90%.

D 3.4.2 Post trattamenti: digestione anaerobica

A) Produzione, depurazione ed utilizzo del biogas

Produzione di biogas

La produzione di biogas costituisce uno dei principali vantaggi della digestione anaerobica dei rifiuti, grazie al consistente recupero energetico che si riesce a conseguire tramite il suo utilizzo. Pertanto, l'intero processo deve essere condotto in maniera tale da massimizzare le rese di metanizzazione.

La portata all'uscita dal digestore può presentare però delle variazioni importanti, dal 60 al 140% della portata media. A ciò corrisponde anche una variazione della qualità del biogas prodotto, il cui tenore in metano può oscillare dal 45 al 65 %.

Queste variazioni sono dovute alla differente velocità di degradazione dei diversi componenti della materia organica degradabile. Infatti, poco dopo l'introduzione del substrato nel digestore, i primi componenti si degradano, producendo un biogas molto ricco di anidride carbonica, mentre gli altri componenti si degradano più tardi, con produzione di un biogas più ricco in metano.

I due parametri, portata e concentrazione di CH₄, variano in senso opposto: durante il caricamento del digestore si ha una grande portata di biogas a basso contenuto di metano, mentre lontano dal caricamento, si ha una portata ridotta, ma ricca di metano.

Il rendimento in biogas del processo, espresso in termini di m³/kgTVS alimentati, è molto variabile e dipende dalla frazione biodegradabile del substrato. Infatti, non tutta la sostanza organica presente nel digestore viene convertita in biogas, ma solo una sua frazione, come rappresentato nella figura 11, che illustra la trasformazione del substrato durante il processo di digestione anaerobica.

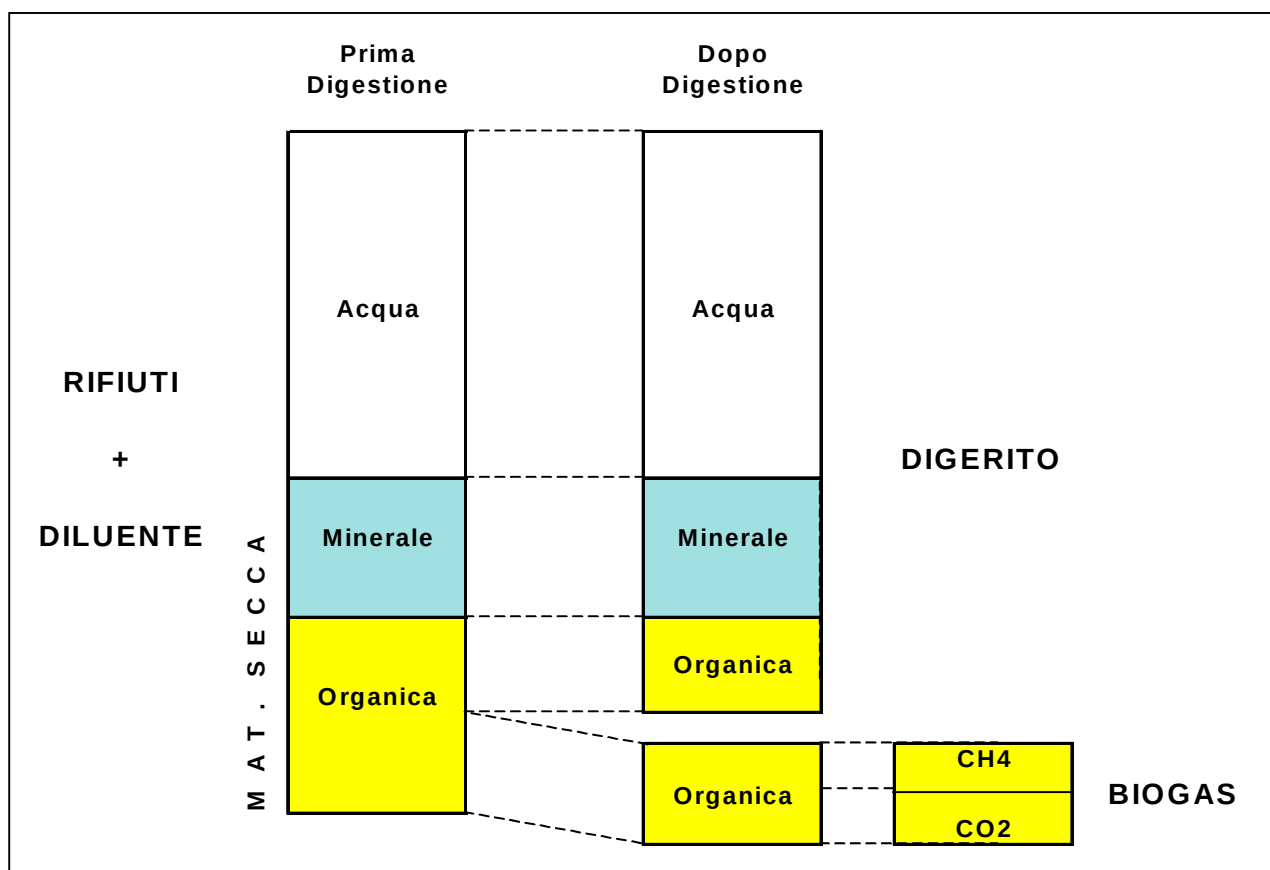


Figura 11: Trasformazione del substrato nel digestore

Nella tabella 9 sono riportati i dati di rendimento in biogas disponibili in letteratura relativi ai diversi substrati ed ai differenti tipi di processo, distinti in base al contenuto in solidi nel reattore ed al diverso regime termico.

Tabella 9: Valori del rendimento in biogas [$\text{m}^3/\text{kgTVS al.}$] nei vari processi

Substrato	Mesofilia			Termofilia		
	Processo umido	Processo semi-secco	Processo secco	Processo umido	Processo semi-secco	Processo secco
Frazione organica selezionata meccanicamente	0,17-0,23	0,23-0,30	0,35-0,45	0,20-0,30	0,30-0,41	0,35-0,45
Frazione organica da raccolta differenziata	0,65-0,85	0,60-0,80	0,50-0,70	0,60-0,85	0,60-0,80	0,50-0,70

Nella tabella 10 sono, invece, riportate le principali caratteristiche del biogas.

Tabella 10: Composizione del biogas (concentrazioni su gas secco)

Componenti	Percentuale
Metano (CH ₄)	55 – 65 %
Anidride carbonica (CO ₂)	35 – 45 %
Idrogeno solforato (H ₂ S)	0,02 – 0,2 %
Vapore d'acqua	saturazione
Idrogeno, ammoniaca	tracce
Ossigeno, azoto	tracce

Tutte le tubazioni e le apparecchiature devono essere realizzate con opportuni materiali che tengano conto del carattere corrosivo di alcuni componenti, in particolar modo dell'idrogeno solforato.

All'uscita del digestore deve essere prevista una filtrazione (<10µm) per eliminare le particelle liquide o solide che potrebbero essere trascinate dal biogas. Questo semplice sistema permette di proteggere le soffianti o i compressori che verranno utilizzati per l'alimentazione del gas ai successivi utilizzi.

Depurazione del biogas

Prima dell'utilizzo a fini energetici il biogas deve essere sottoposto ad opportuni trattamenti di depurazione.

Infatti, la presenza di anidride carbonica, azoto ed acqua provoca l'abbassamento del potere calorifico della miscela, mentre sostanze come l'idrogeno solforato ed i composti organici alogenati, che possono essere presenti nel biogas, si comportano da agenti corrosivi, causando sensibili danni agli impianti di utilizzazione.

La scelta del trattamento o dei trattamenti più opportuni dipende, sia dalle caratteristiche del biogas, che dalle modalità di utilizzo previste.

In questa sede non si intende entrare nel merito dei criteri di dimensionamento delle apparecchiature per la depurazione del biogas, ampiamente descritti nella letteratura specializzata, ma si vogliono solo richiamare i principali trattamenti a cui è necessario sottoporre il fluido prima dell'alimentazione ai gruppi di produzione di energia. Tali trattamenti sono finalizzati ad ottenere un sensibile abbassamento dei costi di conduzione e manutenzione delle macchine, un funzionamento ottimale ed una maggior affidabilità, oltre alla garanzia di rispetto dei limiti di emissione imposti dalla legge.

Deumidificazione

Il trattamento di deumidificazione è necessario in quanto l'umidità, di cui il biogas è saturo, può condensare all'interno delle tubazioni, in seguito a variazioni di temperatura e/o pressione, provocando malfunzionamenti.

Il sistema di deumidificazione è costituito generalmente da un gruppo frigorifero in grado di raffreddare il gas da inviare ai motori. In tal modo si separa dalla miscela gassosa l'umidità che, condensando, viene allontanata precipitando al contempo sostanze nocive e corrosive presenti nel flusso gassoso stesso.

Desolforazione

Quando i livelli di idrogeno solforato sono elevati è necessario prevedere dei sistemi di abbattimento integrativi, ad umido o a secco, della sola deumidificazione.

Per quanto riguarda i *sistemi ad umido*, questi possono essere assimilati alle torri di lavaggio (scrubber) normalmente utilizzate per la depurazione delle emissioni gassose. Tali sistemi devono essere installati prima della sezione di deumidificazione.

Un primo sistema utilizza una reazione chimica, generalmente in condizioni di pressione e temperatura ambiente. Il trattamento consiste nel lavaggio con una soluzione basica, che neutralizza l' H_2SO_4 , composto altamente corrosivo e quindi pericoloso per gli impianti di utilizzazione, formato dall' H_2S . Una successiva fase di lavaggio acido permette di neutralizzare l'eccesso di base prima dello scarico della soluzione. Il principale vantaggio di questo sistema è la semplicità, ma il costo dei reattivi e del trattamento dell'acqua scaricata ne riduce l'impiego industriale.

Un altro sistema, poco diffuso, consiste nel lavaggio con acqua sotto pressione che mette in soluzione l' H_2S insieme alla CO_2 . Tale miscela viene poi rilasciata in una successiva fase di stripping.

Il *sistema* di desolforazione *a secco* prevede un processo di trattamento di tipo chimico e consiste nel far passare il biogas attraverso una sostanza adsorbente.

Una prima opzione consiste in un sistema che utilizza un adsorbente contenente ossidi di ferro in grado di interagire con l'acido solfidrico e captarlo in modo da separarlo dal biogas.

Un'altra opzione prevede l'utilizzo del carbone attivo.

Il volume della massa desolforante dipende dai seguenti parametri:

- concentrazione dell' H_2S nei gas da trattare
- pressione e temperatura (normalmente condizioni ambiente)
- velocità di attraversamento del gas nella massa adsorbente
- tempo di contatto massa – gas
- ciclo di sostituzione dell'adsorbente.

I due sistemi si differenziano in quanto la rigenerazione dell'ossido di ferro è più facile rispetto a quella del carbone attivo. Infatti, l'ossido di ferro si riforma dalla reazione con l'aria e con l'acqua in cui si libera lo zolfo solido che viene trascinato via. Una semplice filtrazione permette la sua eliminazione. La sostituzione della massa di ossido di ferro si deve effettuare solo dopo molti cicli di rigenerazione.

Nel caso del carbone attivo, invece, la rigenerazione richiede l'utilizzo di solventi e, anche se viene condotta a regola d'arte, il carbone rigenerato perde parte della sua efficacia rispetto a quello di partenza, pertanto il costo della rigenerazione e la sostituzione frequente del carbone attivo rendono questa soluzione applicabile solo nei casi in cui si ha una concentrazione molto ridotta in H_2S .

Un terzo sistema consiste nell'utilizzo di un biofiltro nel quale risiedono numerose specie di microrganismi in grado di degradare i composti solforati, in questo caso, la depurazione del gas dipende principalmente da porosità, temperatura, pH, umidità e dalla concentrazione di H_2S nella fase gassosa.

Nonostante i costi di gestione siano contenuti, questo sistema non è ancora molto utilizzato industrialmente.

Processi di rimozione della CO_2

In alcuni casi può essere utile effettuare anche dei trattamenti per la rimozione o riduzione del contenuto di CO_2 , finalizzati ad aumentare il tenore in metano del biogas.

I processi più utilizzati, che devono essere installati solo dopo la rimozione dell' H_2S , sono:

- assorbimento della CO_2 in acqua con successivo strippaggio ed emissione in atmosfera (il più semplice e meno costoso a parte il costo di compressione);
- impiego di membrane semipermeabili, in grado di lasciare passare la CO_2 e di trattenere il CH_4 .

Utilizzo del biogas

Essendo la produzione di biogas continua, tutti i sistemi di raccolta ed utilizzo devono essere automatici.

La produzione di biogas avviene alla pressione del digestore, generalmente vicina alla pressione atmosferica. Dal momento che lo stoccaggio ed il trasporto richiedono una compressione importante e quindi costi non trascurabili, si cerca in genere di utilizzarlo per la produzione di una forma di energia direttamente utilizzabile sul sito di produzione o con costi di trasporto ridotti.

Parte del biogas prodotto viene utilizzato per gli autoconsumi dell'impianto, mentre la restante parte può essere utilizzata per la produzione di energia da cedere all'esterno.

In particolare, per quanto riguarda gli usi interni, una parte (dal 15 al 25% dell'energia prodotta), può essere utilizzata per il riscaldamento dei digestori ed, eventualmente, per coprire il fabbisogno di energia elettrica dell'impianto (cogenerazione di calore ed elettricità). L'utilizzo del biogas per il riscaldamento è variabile in funzione della stagione e del momento nella giornata; il riscaldamento è in genere attivo quando è in corso il caricamento del digestore.

Il biogas in eccesso può essere valorizzato con diverse modalità, alcune delle quali particolarmente sviluppate. Di seguito vengono riportate le principali possibilità di utilizzo:

- produzione di calore sotto forma d'acqua calda, di vapore o d'aria calda, per il riscaldamento, l'essiccazione e processi industriali (disidratazione di percolati di discariche). Rendimento medio: 80-85%. Questa scelta comporta l'esistenza di un impiego locale (condomini per abitazione collettiva o terziaria, rete di teleriscaldamento, industrie).
- produzione di elettricità, generalmente con motori a gas, eventualmente con turbine a vapore o turbine a gas per gli impianti di più ampia capacità. Rendimento medio: 30-35%.
- produzione combinata di calore e di elettricità (cogenerazione). Rendimento medio: 80-85%, 50% per calore e 35% per elettricità.

Esistono anche altre filiere emergenti, quali:

- produzione di carburante per veicoli;
- produzione di gas naturale per iniezione nella rete pubblica di trasporto e distribuzione;
- produzione di freddo, per esempio con macchine ad assorbimento (industrie agro-alimentari);
- utilizzo in forni industriali come combustibile primario o ausiliario.

La soluzione più comunemente adottata è rappresentata dalla produzione combinata di calore e di elettricità.

Tra i vari sistemi utilizzabili per la cogenerazione, che si differenziano tra loro per il tipo di motore termico impiegato per la generazione di potenza meccanica e quindi elettrica, si ricordano:

- turbina a vapore;
- turbina a gas;
- motori alternativi a ciclo Diesel;
- motori alternativi a ciclo Otto.

Per quanto riguarda la scelta tecnica del sistema di cogenerazione possono valere le seguenti considerazioni.

Le taglie degli impianti più frequentemente adottate, in termini di portata di trattamento dei rifiuti e di conseguenza per quanto riguarda le potenze, portano ad escludere l'utilizzo di impianti con turbine a vapore.

Anche le turbine a gas, per quanto riguarda i loro rendimenti elettrici, inferiori nella media di circa 10 punti percentuali rispetto ai motori alternativi, non sembrano costituire la soluzione ottimale. Inoltre il loro utilizzo è stato fino ad oggi limitato dal fatto che non esistono sul mercato turbine di piccola capacità, in grado di accettare ampie variazioni di quantità e qualità del combustibile.

La soluzione più conveniente consiste nella scelta di motori alternativi a ciclo Diesel ed a ciclo Otto.

Il biogas prodotto dal digestore deve essere utilizzato in continuo, pertanto il dimensionamento di tutte le apparecchiature deve essere fatto tenendo conto dei periodi di fermata necessari per l'esecuzione delle operazioni di manutenzione programmata.

Il gruppo di produzione di energia deve essere dimensionato sulla portata totale di produzione, incluse le punte, detratte le quantità di gas destinate all'utilizzo interno dell'impianto.

Una volta definito il dimensionamento teorico dell'impianto di produzione di energia, il numero di gruppi sarà scelto in funzione della flessibilità richiesta e della taglia dei gruppi disponibili sul mercato.

Le apparecchiature in commercio garantiscono rendimenti di conversione dal 30 fino al 45% a seconda della taglia del motore e del gas di alimentazione.

Al fine di ottenere una certa flessibilità, è consigliabile prevedere almeno due gruppi, pertanto la taglia unitaria dei motori scende a livelli in cui il rendimento prevedibile è compreso tra il 32 e il 36%. Per l'alternatore, un rendimento elettrico usuale è del 95%. Il rendimento complessivo dei gruppi può essere considerato normale tra il 30 e il 34% ed è tanto maggiore quanto più grande è la taglia.

Sistemi di accumulo del biogas

Per rendere compatibili le cinetiche di produzione di biogas con quelle di utilizzo è necessario installare un sistema di accumulo.

Il volume e la pressione devono essere determinati in funzione di una valutazione costi-benefici, cercando una soluzione di compromesso tra il costo d'investimento e di gestione, principalmente dovuto alla compressione del biogas, ed il beneficio derivante dalla vendita dell'energia prodotta.

Per non arrivare a volumi e a costi troppo sostenuti, lo stoccaggio deve essere limitato alla quantità necessaria per ammortizzare le punte di produzione (per esempio volume uguale ad un'ora di produzione), e deve essere realizzato a bassa pressione.

Tutte le tubazioni ed i serbatoi di stoccaggio del biogas devono essere realizzati a perfetta tenuta, in modo da evitare possibili infiltrazioni d'aria che potrebbero dar luogo ad esplosioni dovute al suo carattere altamente infiammabile.

Torcia di sicurezza

In tutti gli impianti con produzione di biogas è necessario prevedere la presenza di una torcia di emergenza che garantisca la combustione del biogas prodotto.

Il dimensionamento della torcia deve essere fatto in modo tale da consentire non solo la combustione della portata normale del biogas, ma anche dei quantitativi provenienti dall'eventuale svuotamento rapido di tutti gli stoccaggi.

La torcia di sicurezza deve consentire la combustione del biogas in condizioni di emergenza assicurando:

- il mantenimento di valori di temperatura adeguati a limitare l'emissione di inquinanti e la produzione di fuliggine;
- l'omogeneità della temperatura all'interno della camera di combustione;
- un adeguato tempo di residenza del biogas all'interno della camera di combustione;
- un sufficiente grado di miscelazione tra biogas ed aria di combustione;
- un valore sufficientemente elevato della concentrazione di ossigeno libero nei fumi effluenti.

Al fine di conferire al sistema una maggiore affidabilità la torcia deve essere dotata di sistemi automatici di accensione e controllo della fiamma.

Il tempo di funzionamento deve essere calcolato tenendo conto dei tempi di manutenzione dei gruppi.

B) Disidratazione dei fanghi

Durante la fase di digestione anaerobica la materia secca volatile si trasforma in biogas e quindi fuoriesce dal digestore, mentre nella massa rimane un fango, più liquido che all'ingresso, con valori di sostanza secca dell'ordine del 20-25% per i processi a secco e del 5-10% per i processi liquidi, costituito dalla materia non digerita e dalla maggior parte dell'acqua.

Tale fango deve essere sottoposto ad un trattamento di disidratazione, al fine di ottenere un prodotto più concentrato (circa 45% di materia secca), avente caratteristiche fisiche compatibili con la successiva fase di stabilizzazione aerobica.

A seconda della qualità dei rifiuti trattati, del tipo di processo (secco, semi-secco o liquido) e del destino della materia stabilizzata, il sistema di disidratazione dei fanghi digeriti può essere realizzato mediante pressa a vite, centrifuga o nastropressa, oppure mediante una opportuna combinazione di queste apparecchiature.

La scelta deve essere fatta in funzione della granulometria delle particelle dure, del tenore in materia secca del materiale da inviare alla stabilizzazione aerobica e del tenore in materia secca dell'acqua di processo in relazione con il suo destino.

In tabella 13 sono riportate le caratteristiche delle apparecchiature citate in termini di percentuale di materia secca ottenuta nelle due frazioni separate.

Tabella 11: Caratteristiche delle apparecchiature di disidratazione

Tipo di macchina	% MS frazione secca	% MS frazione liquida
Pressa a vite	40-55%	10-20%
Centrifuga	25-35%	3-8%
Nastro-pressa	30-40%	1-3%

Pressa a vite

E' generalmente utilizzata per la disidratazione di fanghi provenienti da processi di digestione a secco. Infatti è l'unica macchina in grado di disidratare un fango derivante dal trattamento di rifiuti urbani con particelle solide aventi dimensioni superiori ai 20-30 mm.

La vite, che gira all'interno di un tubo filtro, deve produrre uno sforzo importante per vincere la resistenza del tappo idraulico che ritiene la materia in uscita. E' proprio questa pressione generata sulla materia tra la vite ed il tappo che spinge l'acqua attraverso i fori del tubo filtro. La robustezza di questi elementi e la loro resistenza all'abrasione sono determinanti nella scelta dell'apparecchiatura.

Nonostante le precauzioni per il rivestimento anti-abrasione, la manutenzione gioca un ruolo molto importante nel funzionamento regolare della pressa.

Le presse a vite devono essere sempre installate almeno in due esemplari con un fattore di sovradimensionamento almeno del 50%.

Il diametro dei fori e la portata richiesta definiscono la lunghezza della zona di pressatura e quindi la potenza richiesta mentre il diametro dei fori e la pressione di servizio definiscono il tenore in materia secca del sugo.

Centrifuga

Questa macchina, più comunemente utilizzata nel trattamento dei fanghi, può essere utilizzata sia direttamente per la disidratazione del materiale in uscita dal digestore, sia come trattamento complementare del sugo proveniente da una pressa a vite.

La potenza installata sarà funzione della portata e della quantità di materia secca da estrarre.

Nastro-pressa

Questo filtro, diffuso anche nel settore del trattamento dei fanghi, può essere utilizzato sia direttamente per la disidratazione del materiale in uscita da un digestore funzionante con un processo di tipo liquido, sia per il trattamento complementare del sugo dopo una pressa a vite o dopo una centrifuga, al fine di ottenere un refluo con caratteristiche migliori.

La potenza installata sarà funzione della portata e della quantità di materia secca da estrarre.

Il flusso liquido separato con le varie apparecchiature contiene ancora particelle fini di materia secca e/o organica e deve essere opportunamente trattato per raggiungere i parametri compatibili con il suo impiego.

Una parte del liquido può essere utilizzata come diluente per preparare la miscela in ingresso ai digestori, importante soprattutto nel caso di trattamento di rifiuti urbani. Per l'utilizzo come diluente, la frazione liquida deve avere un tenore in materia secca generalmente inferiore al 5% per evitare l'aumento continuo del tenore in particelle fini nella massa in fermentazione che sbilancerebbe il processo. La restante parte deve essere opportunamente convogliata ad un impianto di depurazione.

C) Stabilizzazione e raffinazione del fango digerito

Il fango digerito prodotto dalla fase di metanizzazione risulta in genere non completamente stabilizzato, a causa del ridotto tempo di residenza dei rifiuti all'interno del reattore. A tale scopo deve essere prevista una successiva fase di stabilizzazione aerobica, finalizzata al completamento della degradazione della materia organica, più difficilmente degradabile, ed all'ottenimento dell'igienizzazione del materiale. Il grado di maturazione richiesto dipende dall'utilizzo finale del prodotto stabilizzato.

Generalmente il fango digerito viene sottoposto ad un trattamento di stabilizzazione che si sviluppa in due fasi:

- biossidazione accelerata;
- post-maturazione.

Poiché il materiale organico ha già subito una parziale degradazione, i tempi di permanenza nel reparto di stabilizzazione aerobica potranno essere contenuti entro i 30-45 giorni.

A seconda del destino finale del biostabilizzato può essere richiesta una raffinazione del materiale, da realizzare dopo la fase di biossidazione accelerata o, in alternativa, dopo la postmaturazione.

D 3.5 Stoccaggio finale

D 3.5.1 Stoccaggio del prodotto stabilizzato con trattamento aerobico

Consiste nella conservazione del prodotto finito in cumuli all'aperto, sotto tettoia o in silos.

Nel caso del biostabilizzato, una volta giunto a completa maturazione, a seguito della fase di finissaggio, il prodotto è pronto per essere avviato all'utilizzazione finale. Tuttavia l'uso e, quindi, la vendita del prodotto finito avvengono solitamente su base stagionale, e pertanto la stazione di trattamento dovrà dotarsi di aree e strutture sufficienti per stoccaggi del prodotto finito derivante da almeno sei mesi di produzione.

Lo stoccaggio del prodotto finito può essere realizzato sia all'aperto, che in strutture coperte, ed anche in questo caso le condizioni climatiche del sito influenzeranno la scelta. La dimensione dei cumuli di stoccaggio del biostabilizzato non risente più dei limiti imposti sia in fase di biossidazione accelerata, sia in fase di post maturazione. Tuttavia, tenendo conto dei rischi derivanti dai fenomeni di autocombustione, specialmente durante i mesi estivi, i cumuli non dovrebbero mai superare l'altezza di 3-4 m.

Dal punto di vista impiantistico occorre prevedere:

- nel caso di silos a torre, adozione di presidi ambientali costituiti da depolveratori con mezzi filtranti a secco;
- pavimentazione idonea alla pulizia e al recupero dei reflui;
- sistemi di gestione atti ad evitare la dispersione eolica del materiale.

D 3.5.2 Digestione anaerobica: utilizzo e stoccaggio del biogas

Tali aspetti sono stati descritti nel paragrafo D.3.4.2

D.4 I presidi ambientali

I metodi scelti per il controllo delle emissioni odorigene dipendono dalla sorgente degli odori, dal grado di abbattimento degli odori richiesto e dalle caratteristiche dei composti responsabili delle emissioni maleodoranti stesse. Gli interventi per la riduzione degli odori devono comprendere sia misure di prevenzione, che sistemi di trattamento delle emissioni. In aggiunta agli accorgimenti, di seguito riportati, esplicitamente mirati alla captazione degli odori a livello delle diverse sorgenti od al trattamento delle emissioni, il rigoroso monitoraggio ed il controllo del processo aiuteranno ad evitare l'instaurarsi di condizioni anaerobiche e, di conseguenza, a limitare il rilascio di odori. Anche se il trattamento biologico in bioreattori pone tendenzialmente minori problemi di emissioni maleodoranti, nondimeno, in questi casi, il processo dovrà essere governato correttamente. Infine, una accurata scelta della localizzazione della stazione dell'impianto ed il coinvolgimento attivo delle popolazioni interessate, sia nelle fasi di progettazione, che durante la gestione dell'impianto, possono contribuire a minimizzare i problemi derivanti dal rilascio di odori.

In linea generale i sistemi di controllo degli odori possono essere distinti in sistemi di dispersione dell'odore residuo (alti camini di emissione, elevate velocità di emissione e pre diluizione delle arie esauste con portate d'aria aggiuntive) o di abbattimento del potenziale odorigeno. La strategia dell'abbattimento è quella prevalentemente utilizzata nel contesto europeo.

Tale strategia prevede l'adozione di presidi per la canalizzazione e il trattamento delle arie odorigene nelle prime fasi del processo, ma nel caso di impianti che trattino ingenti quantità di matrici fortemente fermentescibili e/o siano collocati in vicinanza di insediamenti abitativi è bene che siano adottate ulteriori misure contro la potenziale diffusione di odori quali ad esempio:

- chiusura delle aree operative destinate alle prime fasi di processo
- canalizzazione delle arie esauste provenienti da tali aree verso una linea di trattamento odori;
- dimensionamento adeguato dei biofiltri e/o degli scrubber
- la corretta gestione dei sistemi di deodorizzazione.

Le tecnologie industrialmente disponibili per il trattamento delle arie esauste si basano su principi adottati nella depurazione degli inquinanti contenuti nelle emissioni gassose di impianti industriali. Tali tecnologie si suddividono principalmente in: abbattimento *chimico-fisico* (combustione termica/catalitica, adsorbimento, ossidazione chimica, assorbimento chimico) e abbattimento *biologico* (ossidazione biologica).

Abbattimento chimico- fisico

Tra i processi di abbattimento chimico-fisico la **combustione** può rappresentare un sistema efficace per l'abbattimento di sostanze odorose di natura organica. Tra le diverse tecnologie evolute in campo industriale per far fronte alle esigenze delle varie attività produttive, le principali, attualmente in uso, sono la combustione termica rigenerativa e la combustione rigenerativa catalitica.

In un impianto di combustione termica l'aria inquinata, opportunamente preriscaldata, viene immessa in un bruciatore che, operando a temperature prossime a 800°C, ossida completamente la sostanza organica a CO₂ e H₂O. I fumi caldi attraversano una camera di recupero di calore la quale, a cicli alterni e grazie al calore immagazzinato, diviene camera di preriscaldamento.

Nella combustione **senza fiamma**, più adatta al trattamento di reflui ad elevata concentrazione di composti organici volatili (COV), l'abbattimento avviene per ossidazione degli inquinanti su un letto di materiale refrattario eventualmente completato da una superficie catalitica, riscaldato a temperature comprese tra 260 e 450°C. Anche in questo caso esistono due camere per il preriscaldamento ed il recupero del calore dai fumi in uscita, che si scambiano periodicamente le funzioni per inversione della direzione dei flussi d'aria. In condizioni ottimali di funzionamento, il

calore fornito dallo scambiatore è sufficiente a raggiungere la temperatura di innesco del catalizzatore, limitando in questo modo i consumi energetici.

Le soluzioni più recenti, delle tecnologie descritte, consentono elevati livelli di sicurezza, una riduzione del rischio di emissione di composti, quali gli NO_x, legati alle elevate temperature di processo ed il raggiungimento dell'ossidazione completa a costi sempre più competitivi. Quali che siano le metodologie, esse tuttavia sono sempre caratterizzate da una notevole dotazione di apparati per il controllo e regolazione della combustione, e di sistemi di sicurezza che elevano i costi di investimento e le complessità di gestione. Per questa ragione, nelle condizioni tipiche degli effluenti da impianti di trattamento biologico, risultano essere ancora troppo onerose se confrontate con altri sistemi in grado offrire efficienze di abbattimento analoghe.

I processi di **adsorbimento**, su carbone attivo o altri substrati, possono dare, se opportunamente dimensionati, rendimenti di abbattimento delle sostanze odorose molto elevati (>95%). In questo processo fisico il reflu gassoso attraversa uno strato di granuli di sostanze porose ad alta superficie per unità di peso (carbone attivo, silicagel, zeoliti, ecc) che trattengono i diversi composti chimici odorigeni. Il materiale ha una capacità di adsorbimento limitata, all'esaurimento della quale deve essere smaltito o rigenerato. La rigenerazione, basata sul deadsorbimento termico, avviene generalmente a distanza dall'impianto di depurazione, esistendo, ad esempio nel caso dei carboni attivi, un pericolo di esplosività legato all'instabilità del sistema. La tecnologia non è pertanto adatta, a causa degli elevati costi di gestione, laddove sussista la necessità di frequenti rigenerazioni del materiale, ovvero nei casi di reflu ad elevate portate o ad alta concentrazione di inquinanti.

Recenti sviluppi hanno portato alla realizzazione di impianti particolarmente adatti per solventi presenti a basse concentrazioni che, avvalendosi di prodotti adsorbenti di nuova concezione ad alta stabilità, sia chimica che meccanica, permettono di adsorbire a freddo e di deadsorbire a temperatura programmata i solventi che, concentrati, possono essere poi bruciati in condizioni di autosostentamento direttamente in loco, senza cioè bisogno della movimentazione del materiale.

Generalmente, le tecniche di abbattimento di odori molesti attraverso **ossidazione chimica e assorbimento in soluzioni chimiche**, sono accomunate dall'apparato tecnologico che più diffusamente ne consente l'applicazione, detto torre di lavaggio o **scrubber**. Il principio generale di questi abbattitori si basa su leggi aerodinamiche e più precisamente sul raggiungimento di un intimo contatto e miscelazione tra la corrente di aria inquinata e un liquido in controcorrente. Questo comporta il trasferimento dalla fase gas alla fase liquida delle componenti inquinanti presenti nella miscela, mediante dissoluzione in opportuno solvente. Il liquido assorbente base è l'acqua. L'impiego di sola acqua, però, pone dei limiti all'efficienza dei sistemi perché diversi composti, fonte di odore, sono scarsamente idrosolubili.

Il lavaggio ad acqua ha una elevata efficacia solo per i composti spiccatamente idrosolubili quali ammoniaca, alcoli, acidi grassi volatili; altri composti come i composti clorurati, le ammine, l'acido solfidrico, i chetoni e le aldeidi sono scarsamente solubili in acqua. Composti solforati fortemente odorigeni come il dimetildisolfuro oltre ai terpeni e idrocarburi aromatici sono insolubili.

Per tali composti insolubili in acqua si rende necessario l'utilizzo di reagenti chimici, che possono operare una neutralizzazione o una idrolisi acida o basica, oppure una ossidazione in fase gassosa o liquida. L'ossidazione chimica è una delle tecniche più utilizzate per l'abbattimento degli odori, poiché la maggior parte dei composti che causano odori molesti hanno origine dalla decomposizione solo parziale di materiale organico e possono essere ossidati in modo relativamente facile a composti innocui o comunque meno fastidiosi.

Il processo di assorbimento avviene ponendo a contatto il flusso gassoso da trattare con lo specifico liquido assorbente; gli scrubber devono essere dimensionati in modo da garantire tempi di permanenza e superfici di contatto adeguate per la rimozione richiesta. E' necessario, inoltre, migliorare l'assorbimento mediante la nebulizzazione del liquido o la creazione di film sottili con grande superficie di contatto riempiendo le torri di lavaggio con corpi di riempimento di varie forme e dimensioni.

Perché avvenga lo scambio tra le due fasi, devono essere soddisfatte due condizioni, la prima è che ci sia un sufficiente tempo di contatto tra di esse, e la seconda che la concentrazione di inquinanti della fase liquida, sia maggiore della concentrazione di equilibrio tra le due fasi.

Quanto maggiore è la superficie di scambio e la differenza di concentrazione tra le due fasi, e tanto più efficiente sarà il funzionamento dell'impianto di lavaggio.

Per quanto attiene la *superficie di contatto* tra fase liquida e fase solida i fattori più rilevanti sono i seguenti:

- volume della torre di lavaggio
- dimensione delle gocce di liquido
- presenza di corpi di riempimento, loro forma e dimensione
- volume di acqua ricircolata nell'unità di tempo
- presenza di turbolenze all'interno della torre

La dimensione delle gocce di liquido viene determinata dal tipo di spruzzatori adoperati che possono essere, in ordine decrescente di dimensioni delle gocce, semplici spruzzatori simili a quelli utilizzati nell'irrigazione, nebulizzatori a media pressione, o atomizzatori. Gocce più piccole hanno una maggiore superficie di scambio a parità di volume di liquido, tuttavia a questo vantaggio si contrappone una crescente complessità tecnica e costi gestionali più elevati. Infatti, se con gli spruzzatori è sufficiente la pressione di rete per l'alimentazione dell'acqua, con i nebulizzatori occorre una apposita pompa di mandata, e per gli atomizzatori è indispensabile addolcire l'acqua ed utilizzare aria ad elevatissima pressione per il corretto funzionamento.

I corpi di riempimento hanno il vantaggio di non richiedere alcuna tecnologia, tuttavia necessitano di periodici svuotamenti e lavaggi pena l'intasamento dello scrubber ad opera dei microrganismi che si formano su di essi fino a formare un unico ammasso impenetrabile all'aria. Tale operazione è in generale piuttosto disagiata e necessita comunque di un fermo dell'impianto.

Infine, è importante anche il volume d'acqua ricircolata, in quanto a parità degli altri fattori, il fatto di avere un maggior numero di gocce in circolazione migliora indubbiamente lo scambio.

La presenza di turbolenze nella torre rende più omogenea la distribuzione dei flussi di aria e acqua, a tutto vantaggio dell'efficienza di scambio.

Dal punto di vista delle *concentrazioni relative tra le due fasi*, necessarie al funzionamento, entrano in gioco altri fattori. Queste, infatti, non devono avere dei valori assoluti, ma dipendenti dalle caratteristiche chimico fisiche delle due fasi. Possiamo elencare i seguenti parametri che entrano in gioco:

- temperatura dell'aria da purificare
- temperatura del bagno di lavaggio
- presenza o meno del ricircolo
- presenza di reagenti nei bagni di lavaggio
- presenza di tensioattivi.

Senza entrare nel dettaglio, si può comprendere facilmente che la percentuale di abbattimento di inquinanti dipende da diversi parametri, molti dei quali non controllabili dall'operatore quali ad esempio temperatura dell'aria da trattare e gli effetti di volano termico esercitati dai bagni di lavaggio tra il giorno e la notte. La temperatura dei bagni occorre che sia al di sotto di alcune soglie limite, superate le quali non si riesce più a trattenere in fase liquida le sostanze da abbattere.

Il trattamento mediante ossidazione chimica prevede che nella torre venga fatta circolare una soluzione acquosa di un ossidante chimico; tra i più utilizzati sono i composti del cloro, l'ozono e l'acqua ossigenata.

Nei casi in cui la concentrazione dell'inquinante da abbattere sia molto elevata, la sola ossidazione chimica richiederebbe una notevole quantità di ossidante, elevando in tal modo il costo di gestione. In questo caso è necessario un lavaggio per assorbire e quindi trasferire alcuni componenti dalla fase gassosa a quella liquida. L'assorbimento può essere puramente fisico, se si è in presenza di una semplice dissoluzione nell'assorbente, o chimico se il soluto reagisce con l'assorbente o con reagenti in esso disciolti.

I reagenti vengono adoperati per aumentare l'efficienza di abbattimento e così pure i tensioattivi in presenza di sostanze idrofobe. Essi, infatti, permettono di fissare alla fase liquida sostanze che altrimenti sfuggirebbero completamente alla azione dello scrubber.

Nel caso degli odori generalmente la natura e la complessità delle molecole richiedono impianti di abbattimento multi-stadio, con diverse soluzioni di lavaggio.

Ovviamente uno scrubber ha anche un'ottima efficacia nei confronti delle polveri presenti nell'aria, che vengono abbattute completamente. Spesso la funzione di depolverazione ed umidificazione dell'aria sono il motivo principale per cui si inserisce uno scrubber nel sistema di abbattimento.

I risultati possono essere soddisfacenti, tuttavia l'abbattimento ottenuto con questo metodo presenta una serie di necessità tecnologiche per il corretto funzionamento che portano ad elevare il costo di investimento e di gestione fino a livelli non competitivi con altri metodi. A corredo di tali sistemi, infatti, è necessario disporre di serbatoi contenenti i vari reagenti, di dosatori dei prodotti, di pompe di ricircolo con propri circuiti completi di tubazioni e di tutti gli strumenti di controllo delle varie reazioni. Va ricordato, inoltre, che le acque di lavaggio sature sono generalmente smaltite con difficoltà e a costi elevati.

Gli scrubber vengono raramente adottati da soli, dal momento che la diversa natura delle arie esauste (elevati volumi, basse concentrazioni, ampia variabilità di composizione) da sottoporre al trattamento comporta un limite all'efficacia di un sistema di natura chimico fisica. Più spesso, sono adottati in combinazione con i biofiltri e, generalmente, a monte degli stessi, allo scopo di "limare" i picchi di concentrazione odorosa che si registrano in occasioni, ad esempio, dei riavvolgimenti. In tal caso al biofiltro è assegnato il ruolo di "finissaggio" delle arie pretrattate dallo scrubber onde conseguire le basse concentrazioni di odore prescritte dalle norme.

Ossidazione biologica

Biofiltri

L'applicazione **dell'ossidazione biologica** per l'abbattimento delle emissioni gassose, nell'ultimo decennio ha trovato ampia diffusione nel settore del trattamento dei rifiuti contenenti materia organica.

I biofiltri sono stati originariamente concepiti per il trattamento di composti odorigeni e di sostanze volatili tossiche, (es. solventi organici) presso un'ampia varietà di impianti industriali. Con l'espansione del trattamento aerobico, quale metodo di trattamento e recupero di rifiuti organici, il campo di impiego di questi sistemi si è grandemente dilatato, stimolando la messa a punto di nuove soluzioni tecnologiche oggi disponibili sul mercato.

Le condizioni di miglior funzionamento dei sistemi biologici si hanno ad una concentrazione medio bassa di sostanze organiche nell'effluente da depurare. Tali condizioni sono tipiche degli effluenti originati da processi di trattamento biologico di rifiuti organici.

Lo schema generale di un apparato per biofiltrazione consiste, di un sistema di adduzione dell'aria contenente i composti odorigeni ad una unità riempita con un substrato particolato filtrante costituito da materiali quali corteccie, legno triturato, compost maturo, terreno od anche da materiale inerte, che consenta la formazione di uno strato di biomassa microbica attiva (biofilm) in grado di degradare i composti da trattare presenti nelle emissioni. È importante sottolineare che, la colonizzazione e le attività metaboliche avvengono all'interno del biofilm, ossia la pellicola d'acqua che si crea attorno alle particelle della matrice solida di cui il biofiltro è costituito. In particolare, i microrganismi di un biofiltro non fanno altro che completare la degradazione della sostanza organica di partenza di cui i composti odorosi sono composti intermedi di degradazione.

Il flusso da trattare viene finemente distribuito attraverso il mezzo filtrante mediante una rete di tubi dotati di piccoli fori di diffusione posta al fondo del biofiltro. Per evitare l'occlusione dei fori da parte della sovrastante colonna di matrice filtrante, la rete di tubi diffusori è, di solito, immersa in uno strato di ghiaia od altro materiale poroso, dotato di resistenza meccanica allo schiacciamento. L'aria, carica di odori in entrata al biofiltro, viene, generalmente, umidificata in modo da evitare la disidratazione del substrato biologicamente attivo.

Come il flusso odorigeno si diffonde attraverso il mezzo filtrante, i composti gassosi responsabili degli odori vengono adsorbiti alla superficie delle particelle dove vengono degradate dai microrganismi che ne colonizzano la superficie. Le matrici filtranti contengono un'elevata carica microbica, di norma nell'ordine, rispettivamente, di 10^9 batteri ed attinomiceti e di 10^5 funghi per grammo di materiale. Questi microrganismi ossidano i composti odorigeni in anidride carbonica, acqua e forme minerali inodori di azoto e zolfo, prima che il flusso d'aria fuoriesca dal biofiltro. Le matrici di riempimento dei biofiltri costituiscono il supporto fisico per le cellule microbiche e, nel caso di substrati organici quali il compost, anche come fonte di nutrienti per i microrganismi che degradano i composti odorigeni. D'altra parte, quando i biofiltri sono riempiti con matrici particolate inerti, il substrato di crescita per i microrganismi è costituito dalle stesse molecole odorogene che devono essere abbattute. In questi casi è però necessaria una fase preliminare di attivazione del biofiltro, il quale viene alimentato con un flusso gassoso umido contenente sostanze organiche e minerali in grado di sostenere la colonizzazione delle particelle da parte di un abbondante flora microbica, a questo punto in grado di mineralizzare i composti odorigeni nel flusso gassoso oggetto di trattamento. Oltre alla necessaria presenza dei catalizzatori biologici (i microrganismi), la biofiltrazione si avvale di due importanti fenomeni che sono, l'adsorbimento e l'assorbimento. L'adsorbimento è il processo per cui le molecole volatili odorogene, gli aerosol ed, eventualmente, il particolato in sospensione nel flusso gassoso sono trattenuti e si concentrano sulla superficie delle particelle della matrice filtrante a seguito di attrazioni molecolari. L'assorbimento è, invece, il processo per cui i composti gassosi odorigeni si dissolvono nel sottile film acquoso che contorna la superficie delle particelle del materiale filtrante. Come i microrganismi ossidano le sostanze responsabili degli odori, i siti di adsorbimento all'interno della matrice di riempimento del biofiltro tornano ad essere disponibili per catturare nuove molecole di composti odorigeni trasportati dal flusso d'aria. Ciò determina l'auto-sostentamento del processo, prolungando la capacità filtrante del biofiltro.

In sintesi, è possibile operare una generale distinzione tra sistemi di biofiltrazione aperti e sistemi chiusi.

In un biofiltro aperto, la matrice filtrante viene normalmente posta in apposito contenitore collocato sulla superficie del suolo o in una vasca scavata nel terreno. In entrambi i casi, al fondo della struttura aperta di contenimento è sistemato il sistema di tubazioni per l'adduzione del flusso gassoso da trattare, ospitato in un letto di gaia. In entrata al biofiltro, può essere collocata, se necessaria, la sezione di umidificazione dell'aria in ingresso. La vasca viene poi riempita con la matrice filtrante.

Un sistema di biofiltrazione chiuso è, invece, simile ad un vero e proprio bioreattore, completamente isolato dall'ambiente esterno, solitamente fuori terra, nel quale viene fatta passare l'aria oggetto di trattamento. Al fondo del biofiltro, i tubi di adduzione del flusso gassoso sono collocati in un intercapedine sovrastata da un setto metallico dotato di fori, sul quale è sistemato il mezzo filtrante. Quest'ultimo può essere arrangiato come un unico letto continuo ovvero disposto lungo l'altezza del reattore su ripiani, anch'essi dotati di fori, in modo da ottenere, all'interno del biofiltro, più strati di letto filtrante intercalati da settori vuoti. Finalmente, il flusso gassoso trattato fuoriesce dalla testa del reattore, nella quale viene mantenuto uno spazio in cui può essere eventualmente presente un sistema di nebulizzatori per l'umidificazione dell'aria e la possibile distribuzione di soluzione nutriente sulla matrice filtrante.

La tipologia di biofiltro da adottare dipenderà dalla disponibilità di spazio presso la stazione di trattamento, dalle condizioni climatiche del sito di insediamento dell'impianto e dalle risorse finanziarie. I biofiltri aperti richiedono, ovviamente, maggiori superfici e non sono indicati per situazioni di elevata piovosità. I biofiltri chiusi, ancorché più efficienti e controllabili, sono però decisamente più costosi.

Per un efficace controllo degli odori mediante l'impiego di biofiltri, è fondamentale considerare alcuni aspetti gestionali che possono prevedere anche sistemi di pretrattamento quali:

- rimozione del particolato;

- regolazione della temperatura che potrebbe essere necessaria per raggiungere il range ottimale per l'attività batterica compreso tra i 20-40°C;
- umidificazione, parametro che condiziona maggiormente l'efficienza del biofiltro, infatti i microrganismi richiedono adeguate condizioni di umidità per il loro metabolismo; condizioni di scarsa umidità possono portare alla cessazione dell'attività biologica, nonché, al formarsi di zone secche e fessurate in cui l'aria scorre, in vie preferenziali, non trattata. Un biofiltro troppo umido provoca, invece, problemi di trasferimento di ossigeno al biofilm, creazione di zone anaerobiche lavaggio di nutrienti dal mezzo filtrante, formazione di percolato, il contenuto di umidità ottimale del mezzo filtrante è nell'ordine del 40-60%. Va considerato, inoltre, che il metabolismo microbico genera esso stesso calore, che tende a determinare una essiccazione del materiale filtrante determinando congiuntamente una situazione di elevata capacità evaporativa da parte del flusso d'aria da trattare, per questo, in alcuni casi, il flusso in ingresso viene pretrattato per mantenerlo saturo di umidità;
- assicurare una omogenea distribuzione del flusso, sia attraverso la predisposizione di un sistema di distribuzione efficace al di sotto del letto di biofiltrazione, che mediante la prevenzione del compattamento della biomassa filtrante;
- mantenere un'adeguata capacità tampone del mezzo filtrante nei confronti del pH in modo da prevenire fenomeni di acidificazione, dovuta, per esempio, ad un eccessivo accumulo di solfati.

In sede di progettazione è, inoltre, fondamentale garantire il dimensionamento efficace dei letti di biofiltrazione. I parametri da considerare per il corretto dimensionamento sono il tempo di ritenzione e il carico specifico inteso come il quantitativo di aria da trattare nell'unità di tempo per unità di superficie, o meglio di volume. E' inoltre importante definire le altezze massime e minime del letto di biofiltrazione: spessori troppo contenuti sono maggiormente esposti al disseccamento ed alla formazione di canalizzazioni differenziali; altezze eccessive espongono invece maggiormente al rischio di compattamento.

In Tabella 12 sono presentati i valori della capacità massima di rimozione relativa a differenti matrici filtranti, nei confronti di alcuni composti odorigeni trattati in biofiltro.

Nella tabella 13 sono riportate le efficienze dei biofiltri presenti nel BREF corrispondenti a particolari intervalli di concentrazione.

Tabella 12: Tassi di rimozione relativi ad alcuni composti odorigeni, passati attraverso biofiltri contenenti matrici filtranti differenti (da Williams & Miller 1992b).

COMPOSTO	Tasso massimo di rimozione
Metilformiato	35 g/kg p.s. di mezzo ⁽¹⁾ /die
Idrogeno solforato	5 g S/ kg p.s. di mezzo ⁽¹⁾ /die
Butilacetato	2,14 g/ kg p.s. di torba/die
Butanolo	2,41 g/ kg p.s. di torba/die
n-butanolo	2,40 g/ kg p.s. di compost/die
Etilacetato	2,03 g/ kg p.s. di torba/die
Toluene	1,58 g/ kg p.s. di torba/die
Metanolo	1,35 g/ kg p.s. di mezzo ⁽¹⁾ /die
Metantiolo	0,9 g S/ kg p.s. di torba/die
Dimetil disolfuro	0,68 g S/ kg p.s. di torba/die
Dimetil solfuro	0,38 g S/ kg p.s. di torba/die
Ammoniaca	0,16 g N/ kg p.s. di torba/die

Note:

⁽¹⁾ non altrimenti specificato, con densità apparente di 200 kg/m³ p.s., peso secco.

Tabella 13: Efficienza di ritenzione dei biofiltri per alcuni intervalli di concentrazione dei principali composti dei trattamenti meccanico – biologici.

	Concentrazione ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) min – max	Efficienza (%) min – max	Concentrazione ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) min – max	Efficienza (%) min – max	Concentrazione ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) min – max	Efficienza (%) min – max
Acetaldeide	2100 - 2500	78 - 89	46 – 740	89 – 96	4.900 – 6.100	99
n -Butilacetato	150 – 425	97 – 99	30 – 120	83 - 96	170 - 980	73 - 99
Etilbenzene	250 – 310	12 - 42	60 – 190	27 – 61	250 – 740	16 – 43
2 – Etiltoluene	180 – 220	33 - 41	25 – 105	14 - 89	80 – 270	25 – 55
3,4 - Etiltoluene	480 – 640	23 - 45	70 – 260	38 – 96	230 – 1.000	48 – 77
Limonene	1.700 – 4.300	29 - 40	810 – 2.200	94 – 98	1.300 – 3.700	30 - 63
Toluene	490 – 550	16 – 39	130 – 280		460 – 1.000	7 – 36
m/p – Xylene	850 – 1.400	9 – 42	280 - 620	30 – 71	720 – 2.000	19 - 45
o – Xylene	260 – 290	23 - 41	60 – 150	7 - 63	160 – 650	20 - 45
Acetone	2.450 – 2.900	99 - 100	1.200 – 2.800	99 – 100	4.700 – 8.200	93 - 97
2 – Butanone	960 – 2.800	99 – 100	80 – 770	94 – 99	370 – 11.000	95 – 100
Etanolo	5.200 – 5.300	100	88 – 750	94 – 99	14.000 – 18.000	100
α - Pinene	370 – 700	8 – 44	280 – 790	53 – 83	560 – 930	5 - 39
β - Pinene	330 - 800	12 - 44	120 - 300	53 - 81	230 - 490	38 - 49

Fonte: “Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries” [132 UBA, 2003]

Bioscrubber

I bioscrubber, ancora poco diffusi rispetto ai biofiltri, sono costituiti generalmente da una struttura di lavaggio dotata di un letto di corpi di riempimento ad elevato rapporto superficie/volume, attraverso la quale passa l’effluente gassoso da trattare, solitamente in controcorrente rispetto al flusso di acqua che viene fatta circolare, in modo da assicurare il massimo contatto fra fase gassosa e fase liquida. Sui corpi di riempimento, così come nell’acqua, si sviluppa un fango attivo (composto da biomassa microbica) che degrada e ossida sostanze odorose.

I bioscrubber sono preferiti ai biofiltri in presenza di concentrazioni medio-alte di composti inquinanti, in quanto presentano un più rapido adattamento a variazioni di composizione del gas inquinato e consentono inoltre un più agevole controllo del processo, dal momento che, attraverso l’emissione convogliata, è possibile un più semplice monitoraggio delle caratteristiche dell’aria trattata e l’aggiunta di correttivi (regolatori di pH) e nutrienti (N, P, K) alla soluzione di lavaggio. Non da ultimo, a parità di volumi d’aria trattati, le superfici occupate sono sensibilmente inferiori a quelle richieste dalla tradizionale biofiltrazione.

La gestione richiede una esperienza e professionalità maggiori di quelle previste per i più semplici sistemi di biofiltrazione; la tecnologia trova pertanto una scarsa applicabilità in impianti medio-piccoli.

Analogamente ai biofiltri, anche per i bioscrubber è necessario mantenere un habitat ottimale per i microrganismi, soprattutto attraverso il controllo del pH e della temperatura, cercando di evitare di avviare al bioscrubber composti tossici, effettuando un corretto dimensionamento della torre di lavaggio e del sistema di irrorazione del materiale di riempimento, riducendo al minimo le perdite di carico, effettuando periodici controlli di processo per evitare malfunzionamenti.

Al fine di evitare il formarsi di zone asciutte e di intasamenti, particolarmente importante è l’uniformità di distribuzione della soluzione di lavaggio sui corpi di riempimento. Deve essere previsto un adeguato scarico della soluzione assorbente satura e reintegro con acqua pulita per evitare la formazione di eccessi di sali e di depositi biologici, che possono portare a malfunzionamenti.

Analogamente alle torri di lavaggio chimico, il processo richiede un particolare impegno tecnico nella gestione; un ulteriore svantaggio è costituito dagli elevati volumi di acque di risulta, che

possono di norma essere riciclate insieme alle acque di processo, ma in certe fasi dell'anno richiedono uno smaltimento in specifici impianti.

Efficacia ed applicazioni dei sistemi biologici di abbattimento degli odori

Gli studi riportati fino ad ora nella letteratura tecnica e scientifica sull'impiego dei biofiltri, assommano a più di un migliaio. I principali contributi sono stati forniti da autori tedeschi, olandesi ed in minore misura anche da altri paesi quali la Svizzera, il Giappone e l'Austria. Nell'ultimo decennio sono comparse anche esperienze italiane.

Molte applicazioni hanno riguardato anche il controllo di singoli inquinanti o di miscele di composti presenti nelle emissioni di impianti chimici, fonderie, industrie alimentari, allevamenti zootecnici, impianti di trattamento delle acque reflue e dei rifiuti. Tutte queste attività emettono grandi quantità di reflui gassosi che contengono basse concentrazioni (tipicamente meno di 1000 ppm espresse come metano) di specifici inquinanti organici.

Lo studio di recenti applicazioni in campo industriale nel nostro Paese confermano quanto riportato dalla letteratura evidenziando le notevoli potenzialità applicative della biofiltrazione nell'ambito del risanamento ambientale.

La valutazione dell'efficacia dei sistemi di abbattimento e/o contenimento delle emissioni odorose viene effettuata con il calcolo del rapporto percentuale della differenza delle Unità Odorimetriche prima e dopo il trattamento di biofiltrazione.

Dall'analisi della letteratura emerge che i composti degradabili, tramite i processi di biofiltrazione, possono essere funzionalmente e schematicamente suddivisi in:

- a) composti inorganici, prevalentemente rappresentati da ammoniaca ed idrogeno solforato;
- b) composti maleodoranti, costituiti da miscele in bassa concentrazione di composti dello zolfo (metil ed etilmercaptani), ammine (metil, etilammine), composti carbonilici (aldeidi, chetoni) ed acidi grassi a catena corta (propionico, butirrico, ecc.);
- c) composti organici di diversa natura chimica (idrocarburi alifatici, aromatici, eterociclici, ecc.);
- d) composti alifatici alogeno-sostituiti quali idrocarburi alifatici clorurati.

Secondo numerosi studi a livello internazionale (tabella 14), l'efficienza nell'abbattimento di questi inquinanti varia a seconda del carico totale di sostanza per unità di volume di letto filtrante ed in funzione del tempo di contatto dell'effluente con il materiale filtrante; in ogni caso, i valori medi stimati possono essere compresi nell'intervallo 50 – 90%, con punte per alcune sostanze facilmente biodegradabili, quali alcoli, eteri, aldeidi, chetoni, esteri ed idrocarburi aromatici monociclici, intorno al 99%.

Tabella 14: Efficienza di rimozione per diversi composti odorosi in un biofiltro ("ODOR CONTROL - Completing the Compostitzg Process", INTERNATIONAL PROCESS SYSTEMS, INC.)

Composto odoroso	Tasso di rimozione %
Aldeidi	92-99,9
Ammine, ammidi	92-99,9
Ammoniaca	92-95
Benzene	>92
Limonane	96
Monossido di carbonio	90
Dimetilsulfide	91
Etanolo, diacetile, metilacetilcarbinolo	96
Acido solfidrico	98-100
Isobutano, n-butano	95-98
Mercaptani	92-95
Acidi organici	99,9
Solfuri e disolfuri organici	90-99,9
Idrocarburi poliaromatici	95-100
Propano	92-98
Diossido di zolfo	97-99
Terpeni	>98

Va anche rilevato che il grado di rimozione dei singoli composti per mezzo di biofiltri negli impianti di trattamento meccanico – biologico non è molto elevato in alcuni casi.

Per NMTOC (Non Methane TOC) essi raggiungono una efficienza del 40 – 70%.

Per il metano l'efficienza è pressoché nulla.

L'efficienza dei biofiltri nella rimozione dei singoli composti presenti nelle arie esauste degli impianti di trattamento meccanico - biologico è quindi: buona per gli NMTOC (es. acetone, acetaldeide, etanolo), moderata per BTEX e nulla per CFC.

Le efficienze per la parziale degradazione dell' NH_3 possono essere migliorate tramite l'utilizzo di scrubbers con impiego di acidi (es. Acido solforico per l'assorbimento dell'ammoniaca).

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

Nel presente capitolo vengono riportate in forma sintetica, le tecniche e i processi che, ad oggi, minimizzano le emissioni e gli impatti sull'ambiente e rappresentano l'utilizzo migliore e più sostenibile delle risorse economiche e ambientali e che possono essere ritenute le più idonee per la definizione delle BAT (Best Available Techniques) relative al trattamento biologico dei rifiuti, riportando ove esistenti i risultati dei lavori a livello europeo (**"Best Available Techniques for Waste Treatments Industries- Agosto 2005**)

E1. Concetto generale di migliori tecniche e tecnologie per lo specifico settore

I vantaggi del riciclo dei materiali vanno valutati attraverso un'analisi ambientale costi benefici che tiene conto degli impatti totali evitati e di quelli aggiuntivi dovuti all'operazione di riciclo.

L'impatto ambientale generato a causa delle emissioni prodotte nella fase di raccolta e di trasporto e nella fase di esecuzione delle operazioni di trattamento per il riciclo dei materiali, deve essere minore di quello che si avrebbe se si fabbricassero i prodotti a partire da materie prime vergini.

I criteri che orientano la scelta delle BAT consistono nel senso di ricercare:

- il massimo rendimento degli impianti riferito all'uso dell'energia e alla quantità di materiali recuperati ai fini del riciclo;
- le minime emissioni con particolare riguardo alla produzione di rifiuti.

La scelta delle tecnologie impiegate negli impianti di trattamento biologico dei rifiuti, deve essere finalizzata ad una destinazione definita e certa di recupero o smaltimento per i flussi di materiali e per gli scarti in uscita.

I processi realizzati dagli impianti devono garantire i livelli di qualità del materiale come richiesto dalle filiere di recupero a valle del trattamento e devono realizzarle con il minimo impatto complessivo. Le prestazioni delle singole macchine componenti l'impianto devono essere definite in relazione alla qualità del materiale in ingresso e alla capacità di trattamento delle singole apparecchiature. Ogni macchina deve essere impiegata per una specifica funzione dichiaratamente espressa nelle specifiche di fornitura: la semplificazione degli schemi di processo determina sempre un aumento di affidabilità complessiva e una maggiore costanza della produzione e quindi della qualità del prodotto.

La stabilizzazione biologica è un processo che può essere coadiuvato da una molteplicità di opzioni tecnologiche (fattori di scelta). Nella molteplicità degli approcci possibili, è importante, comunque, che le scelte progettuali e gestionali tengano conto delle condizioni poste al quadro operativo al contorno (localizzazione, capacità operative, tipologia di materiali trattati, etc) al fine di massimizzare l'efficacia di processo e minimizzare i disturbi ambientali.

Va ,dunque, ricercata la coerenza tra:

- a) tipologia della matrici da trattare;
- b) situazione territoriale;
- c) sistema di processo (connotati tecnologici del progetto);
- d) criteri gestionali.

E' importante in ogni modo sottolineare che le condizioni di scelta tra le diverse tecnologie *devono comunque tenere conto di tutti gli altri fattori legati alla specificità locale*, quali (a titolo esemplificativo e non esclusivo): il grado di meccanizzazione desiderato; la prevista disponibilità (in percentuale sulla miscela in ingresso) di materiale strutturale; le sinergie con iniziative operative di altro tipo (aziende zootecniche, piattaforme ecologiche, ecc.); il grado di presidio ambientale necessario, ecc.

E. 2 Aspetti tecnici e tecnologici del Trattamento Meccanico – Biologico

Per quanto riguarda gli aspetti tecnici e tecnologici delle fasi di stoccaggio, pre-trattamenti e post – trattamenti, essi sono stati già descritti nel Paragrafo D 3.

Di seguito vengono approfonditi quelli relativi alle operazioni di trattamento aerobico e anaerobico dei rifiuti, nonché alle principali operazioni e tecnologie utilizzate nei presidi ambientali.

E2.1. Aspetti tecnici e tecnologici del Trattamento Aerobico

In linea generale, le tecnologie adottate devono prevedere:

- sistemi di filtrazione dell'aria in uscita per minimizzare le emissioni di particolato;
- la riduzione delle emissioni di azoto, ottimizzando il rapporto C:N;
- il controllo della portata di aria mediante un circuito stabilito; la concentrazione di CO₂ deve essere controllata nei vari segmenti (per es. ogni 2,5 m);
- il ricircolo dell'aria per incrementare la concentrazione nell'aria di composti del carbonio; ciò rende possibile la combustione termica come fattibile alternativa ad un biofiltro; in queste condizioni solo 3000 Nm³ di aria/t di rifiuto devono essere trattati;
- le specifiche dei flussi in ingresso;
- il posizionamento delle andane in modo tale da facilitare le operazioni di movimentazione;
- l'uso dell'acqua in modo efficiente; un attento bilancio è utile per valutare la saturazione delle andane e la formazione del percolato;
- la costruzione di superfici pavimentate impermeabili nelle zone di movimentazione dei macchinari e prevedere anche spazio sufficiente per la raccolta dei reflui;
- sistemi di raccolta dei reflui con sistemi di ricircolo del percolato nelle andane per mantenere il corretto contenuto di umidità e per facilitare il trattamento dei reflui;
- il trattamento dell'acqua di condensazione tramite bioreattori e sistemi di filtrazione: l'acqua così depurata può essere usata come acqua di processo nel sistema di refrigerazione e viene poi evaporata in una torre di raffreddamento;
- il riutilizzo delle acque di processo o dei residui fangosi all'interno del processo;
- utilizzo come combustibile solido del deposito solido accumulatosi sui filtri del sistema di trattamento dell'aria;
- isolamento dal punto di vista termico del soffitto dell'area di decomposizione attiva nei processi di tipo aerobico in modo da minimizzare la formazione di condensato.

Ad influenzare l'adozione di un sistema di trattamento aerobico, piuttosto che un altro sono però anche la quantità di rifiuto da stabilizzare, la disponibilità di spazio per il trattamento, l'entità dell'investimento stanziato per le strutture impiantistiche, l'incidenza della manodopera sull'operatività del sistema, la dislocazione topografica del sito destinato alla stazione di trattamento ed una molteplicità di considerazioni di carattere ambientale, infrastrutturale e sociale. Sulla base di queste necessità, non è possibile stabilire *a priori* quale filiera di trattamento biologico sia più confacente alle esigenze di un determinato contesto. Tuttavia, anche se l'obiettivo di una corretta stabilizzazione aerobica dei rifiuti organici può essere raggiunto attraverso strategie impiantistiche diverse, è opportuno tenere ben presenti i limiti associati alle specifiche soluzioni, evitando

l'adozione di sistemi non appropriati di trattamento, sulla base della mera economicità dell'intervento.

La fase di biossidazione si caratterizza per la degradazione spinta delle frazioni organiche putrescibili. Il processo deve essere condotto con l'ausilio di sistemi di aerazione forzata e/o di metodi di rivoltamento della biomassa, finalizzati ad incrementare lo scambio d'ossigeno tra la matrice organica e l'atmosfera.

Per il corretto svolgimento di tale fase, i principali parametri di processo devono essere mantenuti su valori ottimali, adottando soluzioni impiantistiche idonee.

Un quadro riassuntivo delle principali tecnologie utilizzabili e dei parametri di processo è riportato nelle tabelle seguenti.

Tabella 15: Fase di biossidazione: parametri di processo

Parametri di processo	Biostabilizzazione	Bioessiccazione
Temp. massime (°C)	70	70
Temp minime (°C)	55 per almeno 3 giorni	55 per almeno 3 giorni
Umidità (% tal quale)	> 50 %*	Non significativa
Ossigeno (% v/v)	> 10 %	> 10 %
Densità apparente (t m ⁻³)	< 0.7	< 0.7

Note:* per il trattamento di rifiuti tal quali, i valori di umidità ottimali possono assumere valori inferiori al 45%.

Tabella 16: Fase di biossidazione: parametri impiantistici

Parametri impiantistici	Biostabilizzazione	Bioessiccazione
Recupero reflui	Si	Si
Irrorazione della biomassa	Si	No
Aerazione della biomassa	Generalmente Forzata*	Forzata
Aerazione della biomassa nella fase di trasformazione	Naturale/Forzata	/
Localizzazione	Al chiuso	Al chiuso
Captazione e trattamento dell'aria	Si	Si
Igienizzazione	Biomassa a 55°C per almeno 3 gg	Biomassa a 55°C per almeno 3 gg
Strumentazione per controllo processo	Si	Si

Note:* se presente

Tabella 17: Fase di bioossidazione: principali sistemi tecnologici adottabili

Sistema	Vantaggi	Indicato per
Chiuso	Maggiore efficacia dei presidi ambientali Controllo delle condizioni di processo	Matrici ad elevata putrescibilità
Aperto	Minori costi di costruzione e gestione	Matrici a bassa putrescibilità
Dinamico	Rimescolamento della biomassa con riproduzione delle condizioni ottimali di porosità e struttura della matrice	Matrici a bassa percentuale di strutturante (tendenti all'autocompattamento)
Statico	Ridotta e più graduale dissipazione dell'umidità; mantenimento dell'integrità dei miceti fungini coinvolti nella degradazione delle componenti lignocellulosiche	Matrici con buon grado di strutturazione e non eccessivamente umide
Ad aerazione Naturale	Economicità	Matrici a bassa fermentescibilità ed a elevata porosità
Ad aerazione forzata	Aerazione ottimale della biomassa	Matrici ad elevata fermentescibilità e scarsa porosità

Tabella 18: Fase di bioossidazione: tecnologie più diffuse per le singole tipologie di processi biologici

Processo biologico	Tecnologie più diffuse
Biostabilizzazione	in cumuli o corsie, al chiuso, con aerazione forzata
	in bioreattori o biocontainer a funzionamento continuo o discontinuo
Bioessiccazione	in cumuli o corsie, al chiuso, con aerazione forzata
	in bioreattori o biocontainer a funzionamento continuo o discontinuo

Nella fase di **bioossidazione accelerata** le caratteristiche impiantistiche minime da garantire sono:

- mantenimento in depressione degli edifici preposti alla bioossidazione (la depressione si intende garantita con un minimo di 3 ricambi/ora. Per le strutture dedicate alla bioossidazione, laddove si prevedano sistemi di processo dinamico e la presenza non episodica di addetti, vanno previsti quattro ricambi/ora);
- invio al presidio ambientale dell'effluente gassoso;
- dotazione della strumentazione idonea al controllo dell'andamento del processo e comunque della temperatura, misurata e registrata con frequenza giornaliera;
- presenza di sistemi di raccolta dei reflui liquidi;
- utilizzo di un gruppo di continuità per la fornitura di energia elettrica per il funzionamento dei sistemi di monitoraggio e controllo.

Il trattamento meccanico biologico con produzione di biostabilizzato con finalità agronomiche, come abbiamo visto, comprende, rispetto al Trattamento Meccanico Biologico tradizionale, altre operazioni aggiuntive quali la maturazione (eventuale) e la raffinazione per l'ottenimento di granulometrie di biostabilizzato idonee all'impiego in operazioni di ripristino. Nella fase di maturazione è auspicabile l'adozione dei seguenti accorgimenti impiantistici.

Tabella 19: Fase di maturazione: accorgimenti impiantistici consigliati

Parametri impiantistici	biostabilizzazione
Recupero dei reflui	Si
Irrorazione della biomasse	si
Aerazione della biomasse	naturale/forzata/rivoltamenti
Struttura al chiuso	eventuale
Captazione e trattamento dell'aria	facoltativa
Strumentazione per controllo processo	si

Nella fase di **maturazione** si deve prevedere:

- il dimensionamento della sezione in modo da garantire, congiuntamente alla fase di Biossificazione Accelerata, un tempo totale di processo pari ad almeno 80 giorni;
- pavimentazione idonea alla pulizia e al recupero dei reflui (impermeabile e canalizzata);
- sistemi di gestione atti a evitare la dispersione eolica del materiale.

Una ulteriore classificazione, menzionata nel paragrafo D.3.3, rilevante ai fini della individuazione della tecnologia da adottare è quella tra i sistemi che propongono meccanismi periodici o continui di movimentazione della biomassa (“**dinamici**”) e quelli che ne prevedono l’immobilità (“**statici**”). Occorre precisare che, essendo la movimentazione intesa, ai fini della valutazione processistica, come rimescolamento della massa e ricreazione delle condizioni di porosità e strutturazione, vanno considerati tendenzialmente statici quei sistemi che, pur traslando la massa, non ne provocano rimescolamento né ristrutturazione (per es. traslazione a pistone).

A titolo indicativo e tenuto conto anche delle condizioni medie di stagionalità della natura stessa dei materiali lignocellulosici si possono fornire i seguenti riferimenti operativi:

- impianti con tecnologia di tipo statico richiedono una miscela con almeno il 40% in peso di bulking lignocellulosico;
- impianti con tecnologia di tipo dinamico richiedono una miscela con almeno il 25 – 30% in peso di bulking lignocellulosici.

Particolari criteri gestionali, ad esempio una ottimizzazione del ricircolo degli scarti lignocellulosici (con una triturazione grossolana onde comportare un basso grado di mineralizzazione di tali minerali) possono giustificare percentuali più basse di materiali lignocellulosici in ingresso all’impianto (da dimostrare comunque in base ad una valutazione dei flussi di massa).

Altra importante distinzione è quella tra sistemi **aperti** e sistemi **chiusi**. In questi ultimi il processo viene condotto in spazi confinati o in aree coperte e tamponate, con il duplice scopo di un migliore controllo delle condizioni processistiche e, soprattutto, di una migliore efficacia dei presidi ambientali.

L’affidabilità ed efficacia dei sistemi aperti per la conduzione del processo ed il contenimento degli impatti dipende da alcune condizioni di fondo:

- bassa fermentiscibilità delle matrici;
- elevata percentuale (> 60 - 70% p/p) di strutturante lignocellulosico, che consente l’adozione di sistemi statici di trattamento – come già sopra specificato – evitando rilasci massicci di effluenti odorigeni collegati alle movimentazioni;
- inserimento delle iniziative in situazioni tipicamente rurali o semi – rurali.

L’adozione di sistemi aperti deve dunque, in linea generale, essere ipotizzata e prevista:

- negli impianti di trattamento di soli scarti verdi;
- negli impianti che per tipologie di rifiuti trattati risultano idonei per sistemi statici di trattamento;

- nei casi di impianti a capacità operative limitate ed in situazioni territorialmente favorevoli;
- nelle fasi del processo successive alla ricezione, pretrattamento e stabilizzazione accelerata in cui si verifica:
 - una diminuzione del potenziale odorigeno;
 - un minore consumo d'ossigeno;
 - minore sviluppo di calore.

Altra distinzione tecnologica è tra sistemi **aerati** e **non aerati**. L'aerazione forzata della biomassa è un importante fattore di ottimizzazione delle condizioni di processo nei sistemi intesi al trattamento di materiali a bassa consistenza e elevata fermentiscibilità. L'aerazione forzata consente di intervenire, oltre che sulla ossigenazione della biomassa, anche sui valori di temperatura e umidità. L'ottimizzazione della aerazione forzata dipende dal controllo di alcune grandezze fondamentali:

- la **portata di aria specifica** (p.a.s.) generalmente espressa in Normal Metri cubi per ora e per unità di peso della biomassa (Nmc/h ton).
- La **proporzione tra tempi di accensione e spegnimento**. E' una abitudine operativa diffusa negli impianti quella della ventilazione intermittente della biomassa, allo scopo di consentire, durante i periodi di spegnimento, l'equalizzazione di umidità e temperatura nelle diverse zone della biomasse (l'aerazione in continuo può comportare invece stratificazioni più o meno estese).
- La **durata assoluta dei tempi di spegnimento delle soffianti**. Spesso si rilevano durate eccessive dei tempi di spegnimento, con abbassamento temporaneo delle concentrazioni di O_2 al di sotto dei limiti di massima velocizzazione del processo (15 – 17%) e di quelli di sostenibilità del processo aerobico stesso (10 – 12%). Tale effetto si può produrre per biomasse ancora “giovani” e metabolicamente attive, in un tempo relativamente breve, dell'ordine dei 20'-30'.

E 2.2 Aspetti tecnici e tecnologici della Digestione Anaerobica

I vantaggi e gli svantaggi delle varie tipologie di processi di digestione anaerobica nonché i principali parametri di esercizio sono stati dettagliatamente descritti nel Paragrafo D 2.2.

Di seguito si riportano le tabelle che indicano le rese dei vari processi di digestione anaerobica.

Tab.20: Intervalli tipici per i valori dei parametri di processo e le rese dei processi wet

Parametro di processo	Intervallo
Solidi nel rifiuto trattato, % TS	10 fino al 15
Carico organico, kgVS/m ³ d	2 – 4 fino a 6
Tempo di ritenzione idraulica, d	10 – 15 fino a 30
Rese del processo	
Produzione biogas, m ³ /t di rifiuto	100 - 150
Produzione specifica di biogas, m ³ /kgSV	0,4 – 0,5
Velocità di produzione del biogas, m ³ / m ³ d	5 –6
Conenuto di Metano, % CH ₄	50 - 70
Riduzione della sostanza volatile, %	50 – 60, fino a 75

Tab. 21: Intervalli tipici per i valori dei parametri di processo e le rese dei processi semi - dry

Parametro di processo	Intervallo
Solidi nel rifiuto trattato, % TS	15 - 20 fino al 25
Carico organico, kgVS/m ³ d	8 - 12 fino a 18 in termofilia
Tempo di ritenzione idraulica, d	10 – 15
Rese del processo	
Produzione biogas, m ³ /t di rifiuto	100 - 150
Produzione specifica di biogas, m ³ /kgSV	0,3 – 0,5
Velocità di produzione del biogas, m ³ / m ³ d	3-6
Conenuto di Metano, % CH ₄	55 - 60
Riduzione della sostanza volatile, %	40 – 50, fino a 60

Tab.22: Intervalli tipici per i valori dei parametri di processo e le rese dei processi dry

Parametro di processo	Intervallo
Solidi nel rifiuto trattato, % TS	25 - 40
Carico organico, kgVS/m ³ d	8 - 10
Tempo di ritenzione idraulica, d	25 –30
Rese del processo	
Produzione biogas, m ³ /t di rifiuto	90 - 150
Produzione specifica di biogas, m ³ /kgSV	0,2 – 0,3
Velocità di produzione del biogas, m ³ / m ³ d	2 – 3
Conenuto di Metano, % CH ₄	50 - 60
Riduzione della sostanza volatile, %	50 - 70

Il criterio più adeguato per il dimensionamento del reattore è, ancora oggi, quello che considera il carico organico ed il tempo di residenza idraulico e dei solidi (ciò, per la difficoltà di modellazione del processo ed acquisizione delle costanti cinetiche, che permetterebbero un criterio più rigoroso). Il dimensionamento effettuato solo sulla base del tempo di ritenzione non è sufficiente a garantire il rispetto delle specifiche di esercizio.

Un digestore dimensionato con un carico organico basso sarà caratterizzato da flessibilità di esercizio. Il sovradimensionamento del digestore incide in misura limitata sui costi d'impianto.

Il dimensionamento effettuato sulla base del tempo di residenza volumetrica (HRT [d]) non è sufficiente a garantire il rispetto delle specifiche di esercizio, ma può essere eseguito solo in prima approssimazione e deve servire come verifica della compatibilità tra la geometria del digestore ed il tipo di materia da trattare.

Un digestore, dimensionato con un carico organico basso, a cui corrisponde un volume del reattore elevato, è caratterizzato da una buona flessibilità di esercizio, in quanto permette di affrontare diverse capacità di trattamento. Inoltre, il sovradimensionamento incide in misura limitata sui costi d'impianto. Per contro le rese di processo (m^3 di biogas prodotto/ m^3 di reattore-giorno) sono minori rispetto ai reattori ad alto carico.

Nella progettazione delle unità di digestione anaerobica è necessario anche prestare particolare attenzione agli aspetti costruttivi legati al sistema di miscelazione, al sistema di caricamento e scaricamento della miscela dal digestore ed alla movimentazione dei fanghi.

La miscelazione ha il compito di:

- favorire il contatto tra batteri e substrato;
- omogeneizzare le temperature;
- ottimizzare il rilascio di biogas;
- evitare la decantazione delle frazioni più pesanti.

L'omogeneizzazione del fango all'interno del digestore può essere condotta secondo due logiche:

a) miscelazione interna al reattore;

b) miscelazione esterna al reattore tramite ricircolo dei fanghi.

La tabella 23 indica i vantaggi e svantaggi dei sistemi di agitazione più utilizzati per digestori anaerobici. Le considerazioni condotte possono essere ritenute valide sia per il processo ad umido, che per il semi-secco.

Nel caso dei processi a secco, esistono in commercio diversi brevetti basati su diversi principi di funzionamento (iniezione di biogas in pressione, ricircolo esterno del digerito, fogge particolari del digestore, ecc.).

Il sistema di caricamento/scaricamento deve essere realizzato in modo tale che, durante le fasi di introduzione e di estrazione del materiale dal digestore, non si verifichi ingresso d'aria nella massa in fermentazione e fughe di materia o di biogas dal reattore.

Il sistema di scaricamento, nel caso si utilizzi il volume del digestore come polmone, deve permettere il dosaggio del materiale digerito alla fase successiva del processo.

Deve essere previsto inoltre un sistema di controllo allo scarico che impedisca accidentali svuotamenti del digestore.

Per quanto riguarda la movimentazione dei fanghi è necessario utilizzare particolari accorgimenti, tanto più importanti, quanto maggiore è il contenuto di solidi nella massa in alimentazione.

In particolare si possono fornire le seguenti indicazioni:

- il diametro delle tubazioni deve essere sempre superiore ai 3 pollici, anche nelle movimentazioni di portate ridotte;
- devono esser evitati gomiti stretti e restringimenti di sezioni;
- le pompe utilizzate devono essere di tipo volumetrico e senza restringimenti di diametro rispetto alle tubazioni;
- per il ricircolo dei fanghi possono essere utilizzate anche pompe dilaceratrici;

- devono essere previsti sistemi per il disintasamento, soprattutto in prossimità di pompe ed organi di intercettazione e controllo;
- devono essere previste valvole di sicurezza sulle linee principali.

Qualunque sia il sistema di caricamento/svuotamento e di movimentazione dei fanghi, il digestore deve essere dotato di un sistema di protezione alla pressione ed al vuoto.

Tabella 23: Tipi di agitatori per i digestori anaerobici

Tipo di mixer	Vantaggi	Svantaggi
Tutti i sistemi	Aumento della velocità di stabilizzazione	Corrosione e logorio dei materiali ferrosi Intasamento dovuto a stracci e materiali fibrosi
Iniezione di gas – Lance montate sulla parte superiore del digestore	Minor manutenzione e minori ostacoli alla pulizia rispetto alle lance montate sul fondo Efficacia nel controllo delle schiume	Corrosione delle tubazioni. Alti costi di manutenzione per i compressori Problemi di intasamento. Problemi con i compressori nel caso di risalita delle schiume. Deposito di solidi
Diffusori di fondo	Miglior movimentazione degli strati bassi del digestore	Corrosione delle tubazioni. Alti costi di manutenzione dei compressori. Problemi di schiume. Possibilità di intasamento. Miscelazione non completa del digestore. Formazione di schiume. Depositi di fondo possono variare il profilo di miscelazione. Rottura dei tubi di fondo. Necessario lo svuotamento per la manutenzione.
Gas lifter	Migliore miscelazione e produzione di gas rispetto alle lance montate sulla parte superiore. Minor potenza assorbita	Corrosione delle tubazioni. Alti costi per la manutenzione dei compressori Corrosione del gas-lifter. Formazione di schiume. Miscelazione di superficie poco efficiente. Necessario lo svuotamento per la manutenzione. Intasamento delle lance
Agitatori meccanici Turbine a bassa velocità	Buona efficienza di miscelazione	Logorio delle pale. Intasamento a causa di stracci. Possibilità di perdite di gas nel sistema di tenuta dell'albero. Possibilità di lunghi periodi di sovraccarico Richiedono installazioni di potenza maggiori
Miscelatori a bassa velocità	Rottura delle croste	Non adatto per la miscelazione di tutto il digestore. Possibilità di perdite dalla tenuta dell'albero. Logorio delle pale Intasamento da stracci
Pompaggio meccanico (interno)	Buona miscelazione in senso verticale Bassa formazione di schiume	Sensibile al livello del liquame Corrosione delle parti in movimento delle pompe. Richiedono installazioni di potenza maggiori. Intasamento da stracci
Pompaggio meccanico (esterno)	Buona miscelazione in senso verticale Bassa formazione di schiume grazie al continuo pompaggio dello strato superficiale. Minori costi di manutenzione rispetto ai compressori	La pulizia completa richiede lo svuotamento. Possibilità di intasamento da stracci. Logorio delle parti in movimento
Insufflazione di biogas dal fondo	Valida anche nei sistemi ad alto contenuto di solidi	Maggiori costi energetici dovuti alla compressione del biogas

E.2.3 Aspetti tecnici e tecnologici dei presidi ambientali

Le emissioni di composti volatili sono intrinseche nei diversi processi di trattamento biologico.

Le fasi potenzialmente più odorigene sono ovviamente quelle iniziali del processo di bioconversione, durante le quali il materiale presenta ancora una putrescibilità elevata, ovvero i pre-trattamenti e gli stoccaggi iniziali delle matrici altamente fermentescibili.

Gli interventi di minimizzazione degli odori devono comprendere, sia misure di prevenzione, che l'adozione di sistemi di trattamento delle emissioni.

I sistemi di prevenzione sono basati sulla gestione della filiera di trasformazione.

Infatti, presso le stazioni di compostaggio, dove vengono trattati rifiuti organici da raccolta differenziata, è importante ridurre quanto più possibile i tempi di stazionamento delle matrici in questione sui piazzali di scarico e di stoccaggio transitorio. I responsabili della raccolta devono, perciò, provvedere affinché il materiale sia conferito all'impianto senza creare accumuli di matrice fresca che non sia immediatamente preparata per la fase di compostaggio attivo. A meno che l'impianto non funzioni anche su turni festivi, è quindi buona norma sospendere la ricezione dei rifiuti durante la pausa di fine settimana. Per il resto, gli altri accorgimenti che consentono di prevenire la possibile formazione di odori sono:

- un pronto allestimento dei cumuli, ovvero il rapido trasferimento della biomassa substrato nell'eventuale bioreattore;
- la verifica che la matrice in fase di biossidazione attiva sia nelle condizioni ottimali di aerazione, tali da evitare il formarsi di zone anaerobiche;
- l'attuazione degli eventuali turni di rivoltamento della biomassa substrato in coincidenza con venti favorevoli la rapida diluizione e dispersione delle emissioni odorigene in direzione opposta a quella degli insediamenti civili;
- assicurare, laddove il trattamento aerobico avvenga in cumuli statici, la copertura degli stessi con uno strato superficiale (5-10 cm) di compost maturo;
- evitare la formazione di ristagni di percolato alla base dei cumuli o al fondo del bioreattore;
- il confinamento della fase attiva di trattamento in strutture chiuse, la cui aria possa essere captata e convogliata in speciali apparati di trattamento dei composti odorigeni

La minimizzazione degli effluenti odorigeni si ottiene anche se si contengono fortemente le capacità operative (fino a 1000 ton/anno) degli impianti e privilegiando i sistemi operativi che consentono una gestione poco odorigena dei processi anche a dimensioni superiori.

Nel secondo caso vanno dunque rispettate contestualmente le seguenti condizioni:

- la preferenza per sistemi *statici* o *semi-statici* di trattamento, in ragione della loro attitudine a liberare odori in misura sensibilmente inferiore rispetto ai sistemi con movimentazione frequente della biomassa;
- la predilezione per sistemi – ancorché decentrabili - “chiusi” o “semi-coibentati” mediante strutture o materiali di contenimento (es. container, teli semi-traspiranti), in ragione delle loro capacità di consentire un migliore controllo delle arie esauste e degli odori da essi veicolati;
- la necessità di predisporre iniziative *modulari* e facilmente *amovibili*, onde consentire una possibile evoluzione operativa del sito (od una sua dismissione una volta attrezzato un sito per la gestione centralizzata del flusso di scarto da trattare a servizio di un distretto allargato).

Laddove, in condizioni di corretta gestione del processo, le misure di prevenzione non risultino ancora adeguate ad un sufficiente controllo delle emissioni è possibile ricorrere a sistemi tecnologici più o meno sofisticati. Presupposto, affinché questi sistemi possano essere applicati, è che le emissioni siano intercettate. Ciò significa che le operazioni potenzialmente a rischio per la

formazione di odori dovranno essere condotte in ambiente confinato, dal quale sia possibile evacuare l'aria arricchitasi di composti maleodoranti.

Al fine di garantire l'annullamento delle molestie olfattive connesse all'immissione nell'ambiente delle arie aspirate dalle diverse sezioni, laddove viene previsto l'allestimento di edifici od ambienti chiusi, devono essere previsti:

- Aspirazione e canalizzazione delle arie esauste per l'invio al sistema di abbattimento degli odori.
- Numero di ricambi d'aria/ora uguale o superiore rispettivamente a 3 sia per le zone di stoccaggio e pretrattamento, capannoni di contenimento di reattori chiusi (fonte BREF), sia nei capannoni per la biostabilizzazione accelerata in cumulo/andana liberi. Per gli edifici deputati a processi dinamici e con presenza non episodica di addetti devono essere previsti almeno 4 ricambi/ora. Per le sezioni di maturazione finale, laddove allestite al chiuso, il numero minimo di ricambi/ora è pari a 2.

Le principali tipologie di apparati per l'abbattimento delle emissioni, oggi adottate presso gli impianti di trattamento meccanico-biologico a più elevato contenuto tecnologico, sono rappresentate essenzialmente dai *biofiltri* e dalle *torri di lavaggio (scrubbers ad umido)*. Per il trattamento delle emissioni maleodoranti sono stati proposti anche l'*assorbimento* su carbone attivo od altri materiali ad elevata capacità di trattenimento o la *combustione* dei composti odorigeni. Questi ultimi sistemi, benché risultati molto efficaci, con rese di abbattimento intorno al 99%, non hanno tuttavia trovato pratica applicazione a causa degli eccessivi costi complessivi di trattamento.

Nel caso di utilizzo di *biofiltri*, un parametro fondamentale è la portata oraria specifica, ovvero la portata oraria che grava sull'unità di volume biofiltrante ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3$); un altro parametro importante è il tempo di contatto tra aria e letto filtrante, correlato all'altezza di quest'ultimo. Allo stato attuale non esistono valori imposti da normative nazionali e/o regionali, ma raccomandazioni e/o valori guida a cui gli organismi di controllo si attengono in sede di valutazione e approvazione dei progetti.

I valori di portata specifica che ricorrono sono compresi tra i 100 e i 500 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3$, a seconda dell'ambito regionale in cui si opera. Per quanto concerne il tempo di contatto, sono ritenuti valori accettabili quelli pari o superiori a 30 secondi (valore ottimale 45 secondi).

Nel dimensionamento e nella progettazione dei biofiltri, occorre prevedere:

- Costituzione del letto di biofiltrazione in modo da evitare fenomeni di canalizzazione dell'aria dovuti ad effetto bordo.
- Adeguato dimensionamento in modo da consentire l'abbattimento del carico odorigeno delle arie da recapitare all'esterno; allo scopo di garantire un tempo di contatto adeguato, il biofiltro va dimensionato sulla base di un rapporto con il flusso orario di effluenti gassosi da trattare pari ad almeno 1 mc (di letto di biofiltrazione) : 100 Nmc/h di effluenti gassosi da trattare (meglio ancora 1 mc : 80 Nmc/h).
- Altezza del letto di biofiltrazione compreso tra 100 e 200 cm. (situazioni diverse saranno soggette a specifiche valutazioni)
- Il dimensionamento del sistema di convogliamento degli effluenti aeriformi all'impianto di abbattimento dovrà tener conto delle perdite di carico dovute all'eventuale impaccamento delle torri ad umido e/o alla porosità del mezzo biofiltrante.
- Costituzione modulare del biofiltro, con almeno 3 moduli singolarmente disattivabili per le manutenzioni ordinarie e straordinarie.
- L'eventuale copertura/chiusura dei biofiltri fissa o mobile nei seguenti casi: nel centro urbano (anche se l'impianto è dislocato in zona industriale); nelle immediate vicinanze del centro urbano (anche se l'impianto è dislocato in zona agricola); in zone ad elevata piovosità media (acqua meteorica > 2000 mm/anno).

- L'efficienza di abbattimento minima del 99% in modo da assicurare un valore teorico in uscita dal biofiltro inferiore alle 300 U.O./mc.²
- Non la registrazione, ma solo la rilevazione nel controllo della misura di umidità relativa dell'aria in uscita dal biofiltro;
- Il controllo delle emissioni dai biofiltri che possono essere valutate attraverso l'analisi delle componenti inorganiche ed organiche. (Per quanto riguarda le prime, i marker comunemente utilizzati sono ammoniaca ed acido solfidrico; le analisi chimiche di tali composti vengono comunemente svolte seguendo metodi UNICHIM. Per quanto riguarda i composti organici, di scarsa rilevanza sotto il profilo tossicologico, i criteri che trovano sempre più diffusione a livello internazionale sono orientati ad una loro valutazione indiretta in base ai principi dell'olfattometria. A scopo di indirizzo si rimanda allo standard europeo EN 13725 al quale vanno conformati i principi ispiratori delle diverse determinazioni in merito alle emissioni.)

Nel caso di *scrubber* (torre d'assorbimento), si deve invece garantire:

- velocità di attraversamento ≤ 1 m/sec;
- tempo di contatto (rapporto tra volume del riempimento e portata specifica) non inferiore a 2 secondi;
- altezza minima del riempimento non inferiore a 70 cm;
- rapporto tra fluido abbattente ed effluente inquinante pari a 2: 1000 espresso in mc/Nmc.

² Come valore in uscita dal biofiltro è stato indicato il valore di 300 UO/mc in seguito all'analisi della normativa regionale esistente in materia di seguito riportata.

- **Regione Basilicata:** Linee guida per la progettazione, la costruzione e la gestione degli impianti di compostaggio e di stabilizzazione 2002

- **Regione Lombardia** Linee Guida relative alla costruzione e all'esercizio degli impianti di produzione di compost - Revoca della d.g.r. 16 luglio 1999, n.44263

- **Regione Sicilia Bollettino Ufficiale Regione Sicilia** – n.27 Parte I del 14/6/02 Linee guida per la progettazione, la costruzione e la gestione degli impianti di compostaggio

E.3 Aspetti ambientali

E.3.1 Impatto sull'ambiente

In linea di principio l'attività di recupero di materiali e di energia dai rifiuti permette di diminuire l'estrazione di materie prime minerali, il consumo di prodotti realizzati a partire da materie vergini e di combustibili convenzionali. La prevenzione della produzione dei rifiuti ed il loro riciclo sono da considerarsi prioritari secondo quanto disposto dalla Strategia Europea sulla gestione dei rifiuti e da tutti gli atti regolamentari e di indirizzo dell'Unione Europea.

Tali principi sono ripresi e meglio sviluppati nella recente Comunicazione della Commissione Europea del 27 maggio 2003: "Verso una strategia tematica di prevenzione e riciclo dei rifiuti" – (Com (2003) 301 definitivo) che ha lo scopo di individuare gli strumenti necessari ad imprimere un ulteriore sviluppo della prevenzione e del riciclo, anche attraverso la fissazione di obiettivi quantificati da raggiungere entro il 2010. A tal fine vengono analizzati i sistemi per promuovere una gestione più sostenibile, a basso impatto sull'ambiente, prendendo in considerazione anche le implicazioni di carattere economico e sociale.

Obiettivo principale della Comunicazione è quello di aprire un ciclo di consultazioni, da concludersi entro il 2003, tra le istituzioni comunitarie e gli attori della gestione dei rifiuti per contribuire allo sviluppo di politiche di prevenzione e riciclaggio concrete ed affidabili.

Secondo la Commissione Europea il bilancio ambientale complessivo delle attività finalizzate al riciclo dei rifiuti risulta positivo, anche se va verificato ulteriormente con metodologie del tipo L.C.A., è, comunque, necessario adottare tecnologie e tecniche in grado di assicurare un'elevata efficienza in termini di recupero effettivo dei rifiuti trattati.

La valutazione di impatto ambientale rappresenta un valido strumento tecnico amministrativo per valutare gli effetti sull'ambiente che la progettazione, la realizzazione e l'esercizio di tale tipologia di impianti determineranno e per individuare quali misure compensative devono essere adottate per ridurre al minimo i potenziali impatti negativi.

Se si analizzano gli impatti dovuti al trattamento biologico dei rifiuti si debbono considerare:

- emissioni/impatti odorigeni generati dalle fasi di ricezione delle materie prime, stoccaggio, pretrattamento e delle prime fasi di bioconversione;
- le emissioni di rumori, che possono essere importanti quando si usano macchine per riduzione volumetrica (tritatori, mulini, vagli);
- produzione polveri e particolato fine (polveri dotate di reattività biologica-bioparticolato, endotossine – tossine prodotte all'interno delle cellule di alcuni microrganismi e rilasciate a seguito degli involucri cellulari);
- il consumo di acqua e gli scarichi liquidi, normalmente limitati;
- consumo energetico;
- la produzione di rifiuti connessa a tali attività, che consiste piuttosto in una produzione di scarti delle materie recuperate;
- inserimento territoriale e paesaggistico.

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

E.3.2. Bilancio di materia

La valutazione del **bilancio di materia**, inteso come definizione delle quantità dei vari flussi di materiali in ingresso ed uscita dall'impianto, è indispensabile per:

- dimensionare correttamente le varie sezioni di impianto;
- individuare una corretta logistica dei rifiuti in ingresso e dei materiali in uscita;
- valutare correttamente i rendimenti del processo e la produzione di scarti non recuperabili
- predisporre un bilancio economico dell'iniziativa.

Il bilancio di massa di un impianto/processo è inteso come rapporto tra masse in ingresso e le masse in uscita considerando le seguenti voci: prodotto, scarti, sottoprodotti.

I fattori che influenzano il bilancio di massa possono essere distinti in fattori progettuali e gestionali, infatti il bilancio varia a seconda del tipo di processo, è strettamente correlato alla natura dei rifiuti e alla conduzione dell'impianto. (tabella 24).

Nelle figure successive sono riportati degli esempi indicativi di bilanci di materia per impianti, sia di trattamento meccanico biologico, che di impianti di digestione anaerobica con processo a secco ed ad umido.

Tabella 24 Fattori che influenzano il bilancio di massa – trattamento aerobico dei rifiuti

Fase del processo	Operazione	Fattore progettuale	Fattore gestionale
Pre-trattamenti	Rompisacchi	Portata massima e % di apertura dei sacchetti	Controllo della quantità e della qualità dei materiali introdotti
	Triturazione	Portata massima e pezzatura del materiale in uscita	Controllo della quantità e della qualità dei materiali introdotti
	Vagliatura	Dimensione dei fori Frequenza vibrazionale (se vibrante)	Inclinazione e velocità di rotazione del vaglio
Biossidazione	/	Tempo di residenza del materiale, modalità aerazione	Temperatura, aerazione ed umidità della biomassa.
Maturazione	/	Tempo di residenza del materiale, modalità aerazione	Temperatura, aerazione ed umidità della biomassa.
Post-trattamenti	Vagliatura	Dimensione dei fori Frequenza vibrazionale (se vibrante)	Inclinazione e velocità di rotazione del vaglio
	Separazione densimetrica	Portata massima Frequenza vibrazionale	Regolazione del flusso d'aria, umidità del materiale immesso

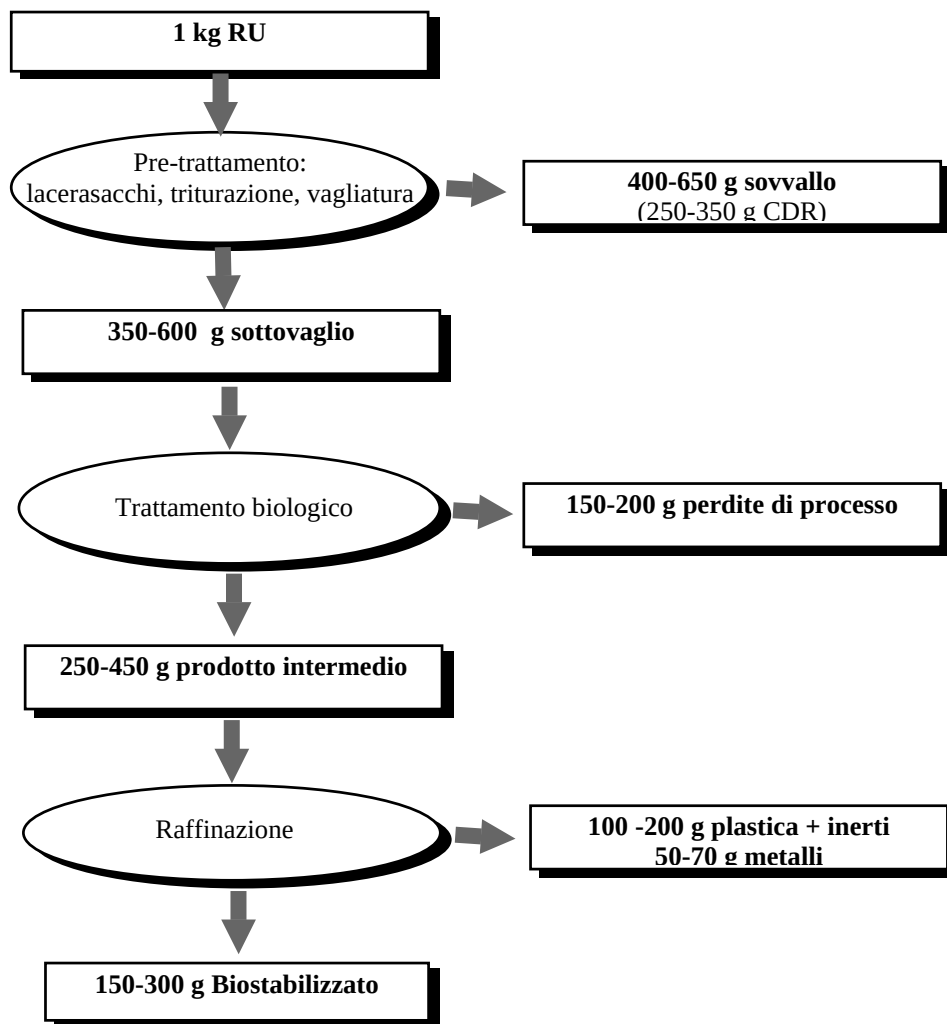


Figura 12: Bilancio di massa per impianto di trattamento meccanico biologico: biostabilizzazione

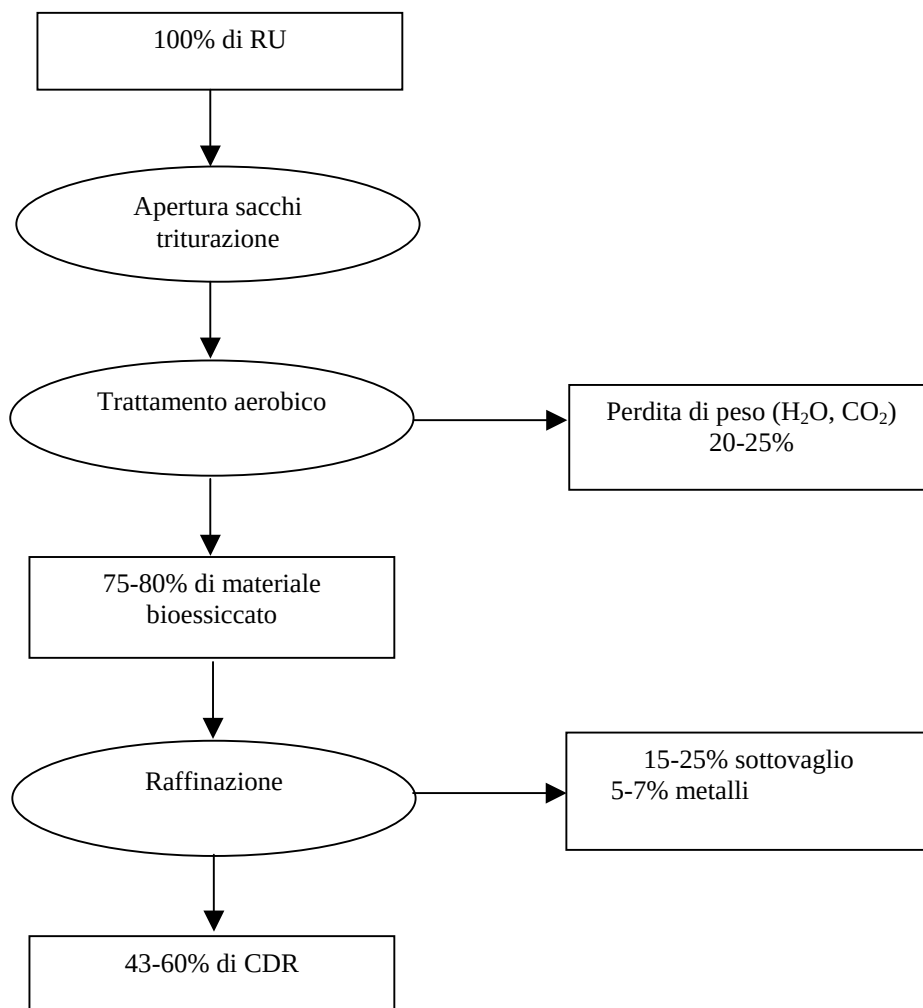


Figura 13: Bilancio di massa impianti di trattamento Meccanico-Biologico: Bioessiccazione

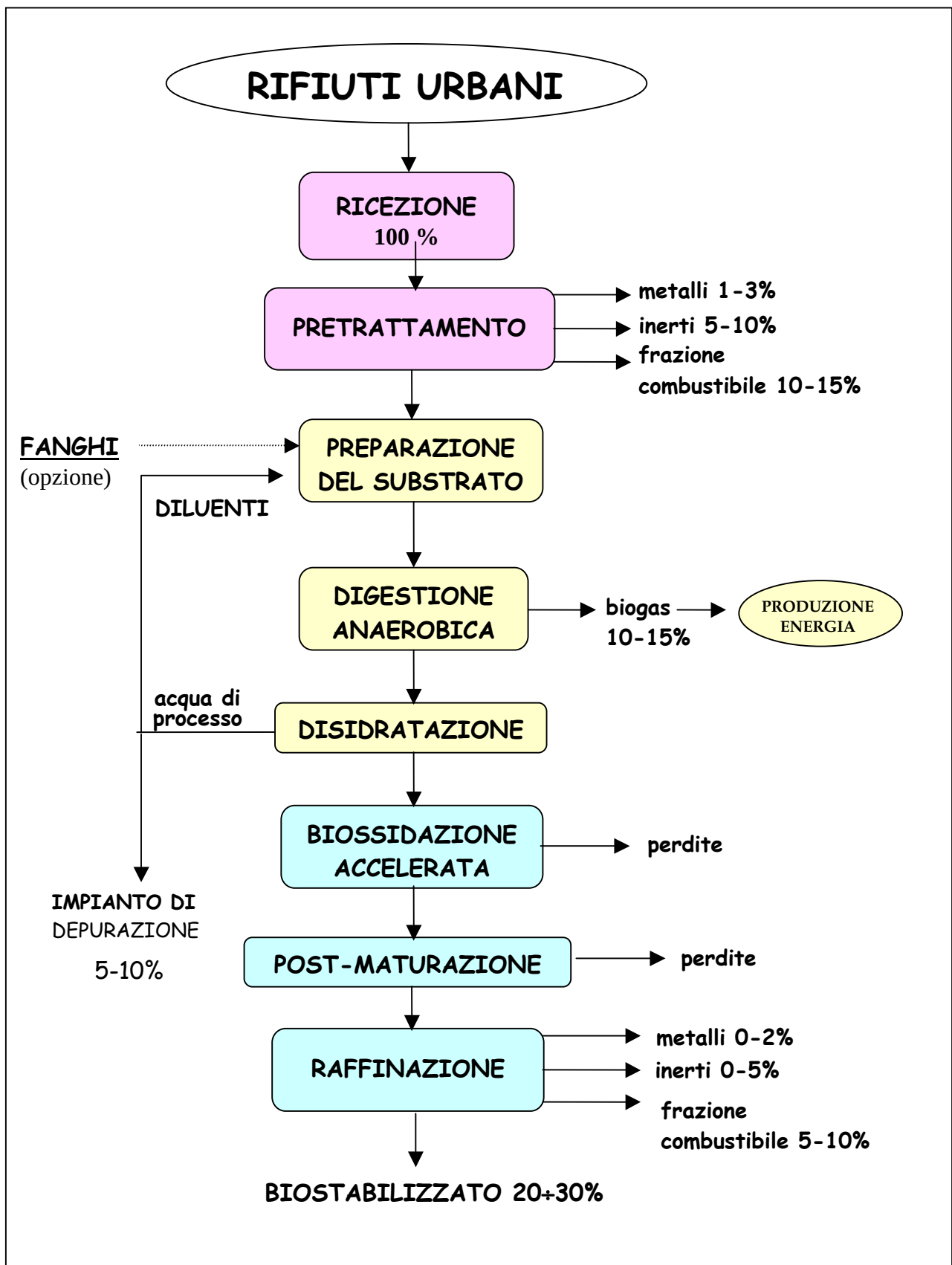


Figura 14: Bilancio di massa di un impianto per rifiuti urbani con processo a secco

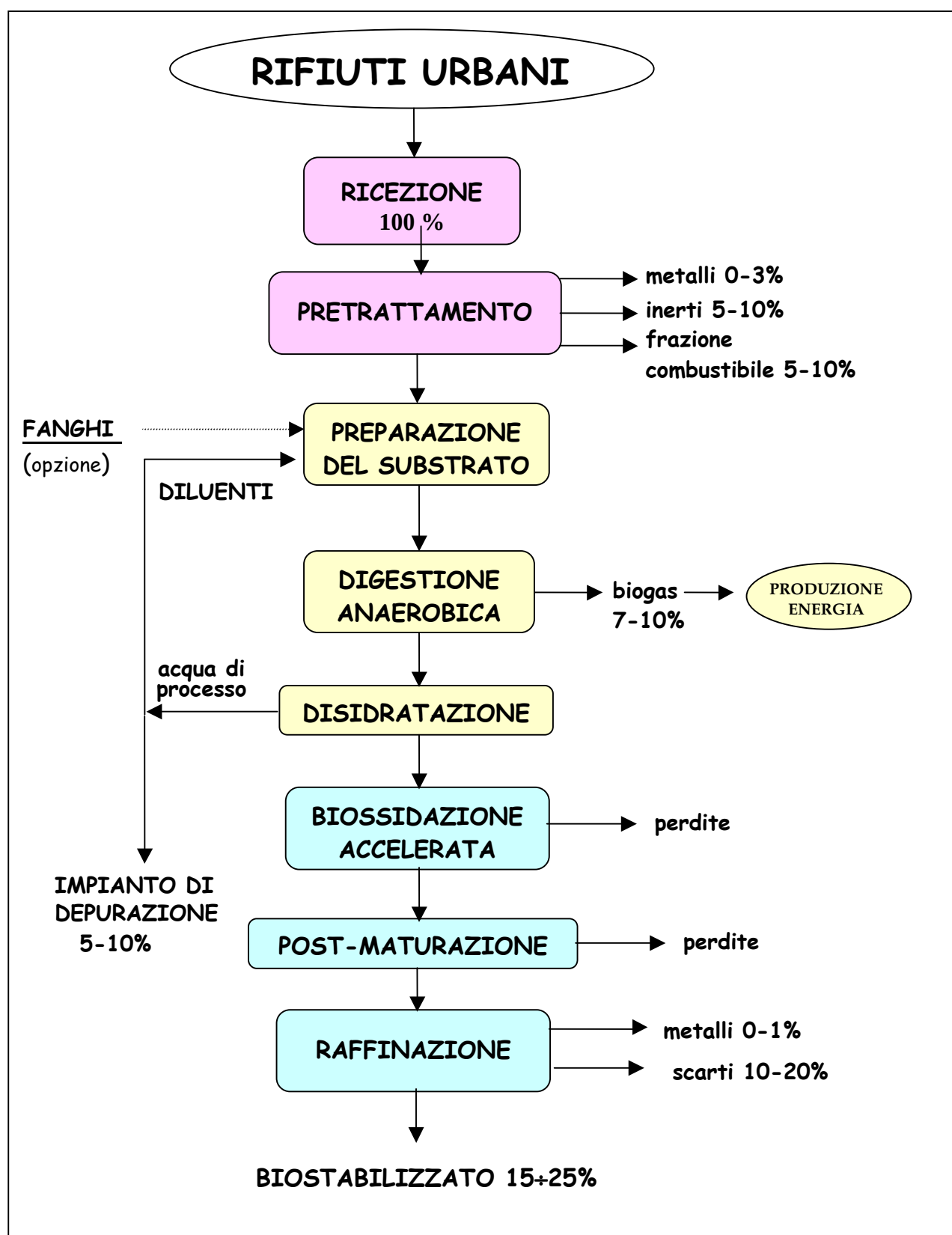


Figura 15: Bilancio di massa di un impianto per rifiuti urbani con processo liquido

E.3.3 Consumi negli impianti di trattamento biologico

In ogni caso il consumo specifico di energia, inteso come l'energia (normalizzata all'unità di peso) utilizzata per ottenere la quantità complessiva di materiali inviati ad operazioni di recupero, deve essere il minimo, sia in rapporto alla qualità richiesta per il materiale da valorizzare, che ad un recupero di materia sufficientemente alto.

Di seguito vengono indicati i consumi medi di energia specifici per alcuni processi di trattamento biologico come riportato “Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries”.

Digestione anaerobica

Il calcolo dei consumi, per il trattamento meccanico – biologico, relativi al processo di selezione ed alla fase di digestione anaerobica devono considerare i consumi di acqua, materiale ausiliario ed energia.

Acqua

La quantità totale di acqua consumata per il trattamento è pari a 78 litri per tonnellata di rifiuto trattato e viene utilizzata per:

- produzione di vapore: 22 litri/t
- produzione della soluzione di polimeri: 56 litri/t

Materiali ausiliari

- flocculanti polimerici anionici: 60g/t
- soluzione di ferro cloruro al 40% in peso: 3kg/t
- prodotti antischiuma: 50g/t

Energia

Le forme di energia utilizzate nei suddetti impianti sono energia elettrica e sotto forma di calore necessaria essenzialmente per le unità di digestione e per il riscaldamento degli edifici.

L'elettricità utilizzata è pari a 55kWh_e. Tale quantità di energia è prodotta dalla combustione del biogas con un'efficienza del 35%. La quantità di biogas (contenente 55% in vol di CH₄) consumato per la produzione di elettricità è pari a 29,1 Nm³. In figura 16 è riportato un esempio di bilancio energetico per un impianto operante con processo mesofilo, dove:

- un 5% di perdite alla torcia deve essere considerato come valore medio per guasti o per eliminare le punte di produzione che non potrebbero essere assorbite dal motore a gas;
- un 3-5% di consumo deve essere considerato come valore medio per il mantenimento in temperatura del digestore con una caldaia indipendente dal motore;
- l'autoconsumo di elettricità tiene conto del consumo di tutti i reparti dell'impianto, inclusi quelli non direttamente collegati con la digestione (depuratore acque di processo, servizi ausiliari, ecc.);
- il calore disponibile sul motore può essere valorizzato presso utenze locali oppure viene dissipato in atmosfera.

Nel caso di processi dry più di un terzo del biogas prodotto è utilizzato per il riscaldamento del digestore (Tabella 25)

Tabella 25: Consumo e produzione di energia

Tipo di energia	KWh per t rifiuti urbani	Produzione
Elettrica	50-55	Produzione propria-biogas

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries" [54,Vrancken, et al. 2001] [59, Hogg, et al., 2002], [66, TWG, 2003]

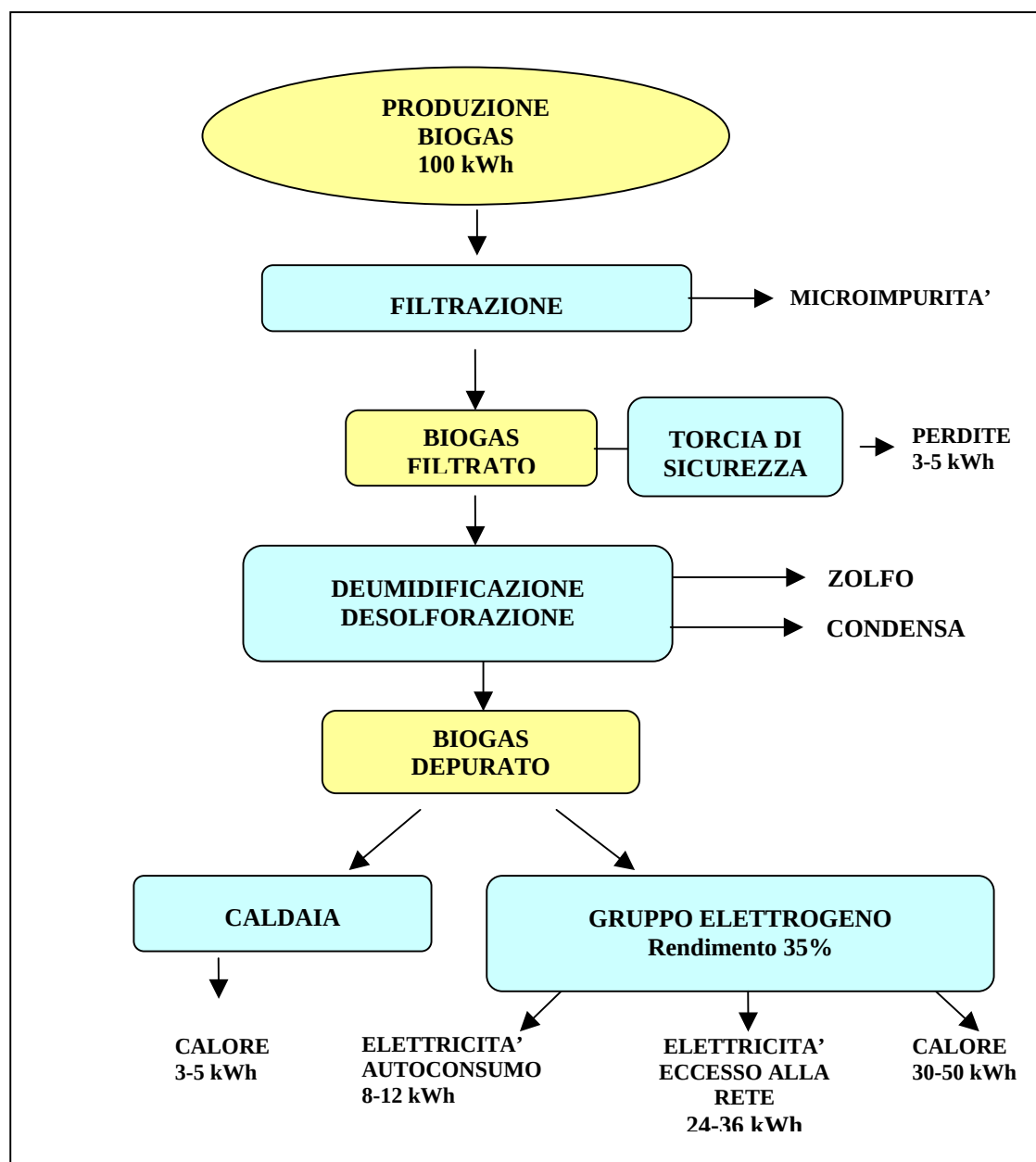


Figura 16: Bilancio di energia di un impianto tipo

Trattamento aerobico

Nel caso del trattamento aerobico dei rifiuti i consumi sono descritti di seguito così come riportato nel Bref Draft Gennaio 2004.

Acqua

Nel processo di trattamento biologico aerobico essendo fortemente evaporativo non vi è un consumo di acqua, ma l'acqua prodotta risulta pari a 350 litri per tonnellata di rifiuto trattato. Le acque di processo purificate vengono poi riutilizzate nei circuiti di raffreddamento. L'acqua corrente viene utilizzata esclusivamente nei circuiti di raffreddamento (10 l per tonnellata di rifiuto).

Materiali ausiliari

Non vengono utilizzati altri materiali ad eccezione degli imballaggi in plastica per il CDR prodotto.

Energia

I consumi energetici per il trattamento aerobico sono riportati nelle tabelle seguenti.

Tabella 26: Consumi energetici nel trattamento aerobico dei rifiuti

Processo aerobico	Elettricità (kWh/t)	Diesel oil (kJ/kg)	Diesel oil (oil/t)
Trattamento aerobico con sistemi chiusi	27-65 ²	5	
Andane	0	15	
Range ¹	4-72 ²		1-4 ³

¹Il range include diversi tipi di impianti dotati sia di sistemi di trattamento delle emissioni più o meno sofisticati che privi di sistemi di trattamento delle emissioni

²i valori più alti corrispondono a processi con sofisticati sistemi di purificazione dei gas esausti

³I consumi più alti sono associati a consumi minori di elettricità

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries" (59, Hogg, et al., 2002) (66, TWG 2003)

Tabella 27: Velocità di areazione

Tecniche di trattamento meccanico biologico	Velocità di areazione (Nm³ aria/m³ di rifiuti h)
Tunnel	40-60
Cumuli in movimentazione • pre biossidazione • post biossidazione	5-10 1-5
Cumuli	10

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries" (132 UBA 2003)

E 3.4 Rendimenti.

L'impianto di trattamento meccanico - biologico deve essere progettato e monitorato al fine di minimizzare il grado di emissioni massimizzando la sostenibilità dell'impianto (sostenibilità economica, sostenibilità di prodotto, sostenibilità di processo).

Rendimenti del trattamento aerobico

Come già evidenziato, i processi biologici bioessiccamento e biostabilizzazione, hanno quale obiettivo finale la totale o parziale degradazione della frazione organica fermentescibile per ottenere la stabilità biologica.

Per determinare la stabilità biologica di un rifiuto *dovranno* essere utilizzate le seguenti metodologie:

- determinazione dei *solidi totali volatili*
- determinazione dei *solidi potenzialmente fermentescibili* (Spf)
- determinazione dell'*indice di respirazione*

Solidi totali volatili

Il test per la determinazione dei solidi totali volatili (STV) è standardizzato in Italia dall'IRSA-CNR (Metodi analitici per i fanghi, quaderno 64, 1985).

Questo test è stato inserito nella normativa di alcuni Paesi europei come indice di riferimento per valutare la stabilità biologica dei rifiuti (in Germania, secondo la normativa attualmente in vigore, dal 2004 si potranno smaltire in discarica solo rifiuti con un valore di STV<5%).

L'uso di questo indice, però, è messo in discussione da molti studiosi perché non rispecchia il reale grado di stabilità biologica dei rifiuti, in quanto il contenuto di solidi volatili in un campione è influenzato anche dalla presenza di composti organici non biodegradabili.

Solidi potenzialmente fermentescibili (Spf)

I solidi potenzialmente fermentescibili (Spf) rappresentano la frazione di sostanza organica realmente biodegradabile contenuta nei rifiuti. Tale aspetto è importante per distinguere quei materiali quali plastiche, gomme, lignina, ecc. che rientrano nella categoria dei solidi volatili SV, ma che non vengono attaccati dai microrganismi durante il trattamento. La determinazione di tale indice è relativamente recente e avviene mediante estrazione con etanolo ed acido cloridrico (Adani et al., 1998).

Metodo

Per la determinazione dei SPf ci si riferisce a quanto riportato nel Manuale APAT "*Metodi di misura della stabilità biologica dei rifiuti*". Da quattro a sei grammi di campione essiccato e macinato a 2 mm vengono posti in ditali di cellulosa (33 x 94 mm) preventivamente essiccati e pesati. Si procede ad un'estrazione a mezzo di apparecchiatura soxhlet con etanolo (96 %) a 90 °C per 12 ore.

Il residuo solido viene essiccato e pesato e rappresenta la frazione solubile in etanolo (Et. Sol.) che si calcola nel modo seguente:

$$\text{Et. Sol} = (P_e - P_s) / P_e * 100$$

dove

P_e = peso del campione essiccato prima dell'estrazione

P_s = peso del campione essiccato dopo estrazione (frazione solubile)

Da tre a quattro grammi di campione (residuo insolubile in etanolo) esattamente pesato, vengono poi posti in beute da 250 ml addizionando 150 ml di HCl 37 % ($d = 1,19 \text{ kg L}^{-1}$). L'idrolisi acida prosegue per 24 ore a 25°C sotto agitazione continua (100 scosse al minuto). Si filtra su gooch (grado di porosità: 1; 100-160 μ), lavando sino a pH neutro dell'eluato. Sulla frazione residua insolubile vengono determinate le ceneri residue (a 650 °C per 12 ore).

La stima dei SPf viene effettuata con la seguente equazione:

$$\text{SPf (\% ST)} = (\text{Et.sol} + \text{HCl sol}) - (\text{Ceneri totali} - \text{Ceneri residue})$$

dove :

SPf = frazione potenzialmente fermentescibile (% ST);

Et. sol. = frazione solubile in etanolo (% ST);

HCl sol. = frazione solubile in acido (% ST).

Per le procedure analitiche relative alla determinazione delle sostanze volatili e delle ceneri si rimanda ai “Metodi di Analisi dei Compost” (DIVAPRA e IPLA, 1992).

Indice di respirazione

La stabilità di un rifiuto è funzione dell'attività biologica e perciò la sua misura dovrà essere strettamente legata alla determinazione di quest'ultima.

In passato sono stati proposti molti metodi analitici per determinare la Stabilità Biologica. Tra di essi i metodi che misurano l'attività respirometrica hanno ricevuto molta attenzione dai ricercatori. I test di respirazione stimano la produzione di anidride carbonica o il consumo di ossigeno della biomassa. I metodi basati sull'evoluzione di CO₂ sono economici, ma non differenziano tra produzione aerobica ed anaerobica di CO₂ ed inoltre non tengono conto che il grado di ossidazione della materia organica, influenza il consumo di ossigeno per mole di CO₂ prodotta. La misura del consumo di ossigeno, perciò, è preferita come metodo respirometrico ed è stata proposta come metodo standard per la determinazione della Stabilità Biologica (ASTM, 1992; ASTM, 1996; The US Composting Council, 1997). I test di respirazione basati sulla misura del consumo di ossigeno possono essere classificati in metodi statici e dinamici, a seconda che la misura del consumo d'ossigeno sia effettuata in assenza (statico) (UNI 10780, 1998) o presenza (dinamico) (ASTM, 1996) di aerazione continua della biomassa. I metodi statici, condotti a volume costante o a pressione costante, presentano lo svantaggio di limitare la diffusione e la dispersione dell'ossigeno nella biomassa rallentando, di fatto, i processi di degradazione della sostanza organica. Inoltre, l'impossibilità di allontanare l'aria esausta dalla biomassa, riduce ulteriormente l'attività biologica sia in seguito alla diminuzione del pH, che per il realizzarsi di fenomeni di tossicità diretta dovuti all'accumulo di CO₂ o di altri gas di fermentazione. Risulta inoltre difficile, con tali metodi, stimare l'entità degli spazi vuoti ottenendo quindi un dato respirometrico non rigoroso. Conseguenza di tutto ciò risulta essere la sottostima del consumo di ossigeno. L'indice dinamico proposto da ASTM (1996) risulta, invece, macchinoso, rendendo la determinazione routinaria di lunga durata e pertanto molto costosa. In tempi recenti, è stato messo a punto presso il DiProVe sez. FCA, un nuovo metodo di misura per la determinazione dell'indice respirometrico di tipo dinamico, metodo ufficiale della Regione lombardia, testato a livello internazionale ed inoltre recentemente indicato quale misura della stabilità biologica dalla Comunità Europea (Working Paper 2001).

Determinazione dell'indice di respirazione

Il campionamento viene effettuato seguendo la metodica UNI relativa al campionamento degli RDF (UNI, 1992).

L'obiettivo è l'ottenimento di un campione rappresentativo da sottoporre al test respirometrico di circa 5 - 50 litri di materiale tal quale.

L'Indice di Respirazione (IR) viene determinato quantificando il consumo orario di ossigeno del materiale da testare mediante l'utilizzo di un respirometro a flusso continuo di aria come prima indicato.

Il campione preparato viene immesso nel respirometro e sottoposto ad aerazione continua adottando flussi d'aria tali da garantire valori di concentrazione di ossigeno in uscita dal respirometro superiori al 14 % (v/v). La prova viene condotta tenendo il campione in osservazione nel fermentatore per un periodo compreso tra uno e quattro giorni, a seconda della durata della fase di lag, rilevando in automatico il valore dell'indice ad intervalli di due ore.

La misura della quantità di ossigeno consumato per l'attività biologica aerobica viene desunta dalla differenza di concentrazione di ossigeno tra l'aria in ingresso e in uscita dal respirometro e calcolata con la seguente espressione:

$$IRD_i (\text{mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}) = Q * h * \Delta O_2 * Vg^{-1} * 31,98 * 10 * SV^{-1} * h^{-1} \quad (1)$$

dove:

IRD = Indice di respirazione istantaneo;

Q = portata aria ($L * h^{-1}$);

O₂ = differenza di concentrazione dell'ossigeno in ingresso e in uscita dal respirometro (% v/v);

Vg = volume occupato da una mole di gas. Assumendo il valore standard per $T_1 = 273,15 \text{ }^\circ\text{K}$ e $P_1 = 1 \text{ atm}$ pari a $Vg_1 = 22,4 \text{ L/mole}$, il valore corretto di *Vg* (*Vg₂*) alla temperatura *T₂* viene calcolato con la seguente espressione: $Vg_2 = (Vg_1 * T_2/T_1)$ dove *T* rappresenta la temperatura in gradi Kelvin;

31,98 = peso molecolare dell'ossigeno (g/mole);

10 = coefficiente moltiplicativo;

SV = solidi volatili (kg). Il dato dell'attività biologica aerobica può essere espresso anche sui solidi totali (*ST*) o sui solidi potenzialmente fermentescibili (*SPF*);

h = numero di ore durante le quali viene effettuata la misura.

L'IRD viene calcolato come media dei 12 valori degli indici relativi alle 24 ore durante le quali la respirazione della biomassa è più elevata.

$$IRD_{24} = \sum_{i=1}^{12} \frac{IRD_i}{12}$$

IRD_i = *IRD* rilevato ogni due ore.

Il dato finale potrà essere espresso sull'unità di peso adottando:

kg *ST* (solidi totali);

kg *SV* (solidi volatili);

kg *SPf* (solidi potenzialmente fermentescibili).

L'efficienza tecnologica può essere determinata dall'indice di putrescibilità residua del materiale ottenuto a valle del trattamento biologico mediante l'introduzione di indagini analitiche di IR. Livelli Bassi di IR sono raggiungibili mediante alcuni accorgimenti legati, sia alla preparazione delle matrici sottoposte a trattamento biologico, che alla verifica del rispetto di alcuni parametri di processo che sono stati riportati nella tabella 15.

L'indice di respirazione dinamico finale relativo alla fase di bioossidazione attiva dovrà essere inferiore a $1000 \text{ mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \text{ ora}^{-1}$, mentre l'indice di respirazione dinamico finale al termine della fase di maturazione dovrà essere inferiore a $700 \text{ mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \text{ ora}^{-1}$.³

Efficienza del trattamento anaerobico

L'efficienza dei sistemi di digestione anaerobica deve mirare a massimizzare la produzione di biogas ed il suo utilizzo per produrre energia.

La produzione di energia da biogas viene incrementata considerando che:

- il biogas deve avere un contenuto energetico compreso tra 20 e 25 MJ/Nm³;
- i rendimenti di conversione in energia elettrica variano al variare dell'impianto di combustione: l'esperienza pratica dimostra che nel caso di impianti di combustione di

³ Come valore per l'indice di respirazione è stato indicato il valore di $1000 \text{ mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \text{ ora}^{-1}$ in seguito all'analisi della normativa regionale esistente in materia di seguito riportata.

Regione Basilicata: Linee guida per la progettazione, la costruzione e la gestione degli impianti di compostaggio e di stabilizzazione (pag.32-1.3.7) 2002

...Nella caso della stabilizzazione pre-discarica, l'impianto deve essere dimensionato su una durata complessiva del processo deve essere indicativamente almeno di 40 giorni o comunque tale da garantire il rispetto di uno dei due valori seguenti:

IR statico < $500 \text{ mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \text{ ora}^{-1}$

IR dinamico < $1000 \text{ mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \text{ ora}^{-1}$

Nel caso di produzioni di materiali stabilizzati per applicazioni controllate nel settore paesistico-ambientale, la fase di maturazione deve avere una durata tale da garantire un tempo di processo totale indicativamente non inferiore a 60 giorni o comunque tale da garantire il rispetto in alternativa di uno dei due valori seguenti

IR statico < $400 \text{ mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \text{ ora}^{-1}$

IR dinamico < $800 \text{ mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \text{ ora}^{-1}$

Regione Campania Criteri e linee guida per l'utilizzo della frazione organica stabilizzata-Comitato tecnico ex ordinanza Commissariale n.058/2002 (pag 33-6.3 Indici di qualità e carichi ammissibili)

...stabilità biochimica (da determinarsi mediante indice di respirazione), onde prevenire fenomeni di fitotossicità e/o di anaerobiosi dell'ambiente edifico; si ritiene opportuno adottare il seguente limite: $\text{IRD} \leq 700 \text{ mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \text{ ora}^{-1}$

Regione Lombardia Linee Guida relative alla costruzione e all'esercizio degli impianti di produzione di compost-Revoca della d.g.r. 16 luglio 1999, n.44263

Caratteristiche impiantistiche minime (Bioossidazione accelerata)...

parametri di processo indice di respirazione dinamico finale (prima del posizionamento del materiale nella eventuale sezione di maturazione esterna) inferiore a $1000 \text{ mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \text{ ora}^{-1}$

caratteristiche impiantistiche minime (maturazione)

indice di respirazione dinamico finale inferiore a $500 \text{ mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \text{ ora}^{-1}$

Regione Puglia Bollettino ufficiale Puglia n.135 del 23/10/2002 (pag. 9978-5.4.2 Opzione 2-Produzione di RBM e FSC-2.B Trattamento di biostabilizzazione primaria)

Trattamento di biostabilizzazione primaria....la biostabilizzazione del materiale mediante aerazione dello stesso per un periodo compreso tra le 2 e le 4 settimane, a seconda del tipo di tecnologia adottata, ma comunque in grado di garantire adeguati livelli di umidità e temperatura, nonché di ottenere, per il prodotto finale un IR dinamico (metodo IPLA) non superiore a $800 \text{ mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \text{ ora}^{-1}$

Regione Sicilia Bollettino Ufficiale Regione Sicilia -n.27 Parte I del 14/6/02 Linee guida per la progettazione, la costruzione e la gestione degli impianti di compostaggio

...nel caso di compostaggio di biomasse selezionate ad elevata fermentescibilità in miscelazione con biomasse lignocellulosiche....La fase attiva presidiata, se distinta da quella di maturazione, deve avere una durata tale da garantire un prodotto in uscita con una sufficiente stabilità biologica, ovvero rispettare in alternativa uno dei due valori seguenti:

IR statico < $500 \text{ mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \text{ ora}^{-1}$

IR dinamico < $1000 \text{ mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \text{ ora}^{-1}$

Tali obiettivi sono conseguibili con tempi di ritenzione indicativamente attorno ai 14 giorni in biocelle/container con ricircolo d'aria e 21/28 giorni in sistemi a trincea/cumulo.

La fase di maturazione deve avere un tempo di processo totale non inferiore a 90 giorni e garantire il rispetto in alternativa di uno dei due valori seguenti:

IR statico < $250 \text{ mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \text{ ora}^{-1}$

IR dinamico < $500 \text{ mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \text{ ora}^{-1}$

piccola taglia (inferiore ai 200 kW) si ha un'efficienza di conversione elettrica del 25%, mentre impianti più grandi (fino a 17000 kW) possono raggiungere anche un'efficienza del 36%. Se, inoltre, c'è la possibilità di recuperare il calore dei gas esausti per il riscaldamento dell'acqua all'interno dell'impianto il rendimento di conversione può salire al 65 – 85%.

Le tabelle seguenti riportano alcuni dati sulla produzione di energia da biogas; tuttavia esse presentano dei range molto ampi e, probabilmente, ciò è dovuto, non solo alle differenze tra i diversi impianti, ma anche ai flussi in ingresso.

Tabella 28: Produzione netta di energia in condizioni ottimali nei processi di digestione anaerobica.

	Produzione netta di energia (kWh/tonnellata di rifiuto)		
Fonte	Valor minimo	Valor medio	Valore massimo
1		100	
2		102	
3		110	
4	80	110	140
5	75	113	150
6	100	115	130
7	105	131	157
8	120	145	170
9	100	150	200
10		154	
11	254	273	292

Fonte: “Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries” (132 UBA 2003)

Tabella 29: Produzione di calore ed elettricità da digestione anaerobica

Parametro	Valor minimo (kWh/t di rifiuto)	Valore massimo (kWh/t di rifiuto)
Resa in biogas	70 Nm ³ /t di rifiuto	140 Nm ³ /t di rifiuto
% metano	55%	60%
Potere calorifico del biogas	385	840
Elettricità generata (efficienza = 30%)	116	252
Elettricità da esportare (70% di efficienza di conversione elettrica)	81	176
Calore recuperato per la cogenerazione (70%)	189	412
Calore esportato per la cogenerazione (80% di quello recuperato)	151	329

Fonte: “Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries” (132 UBA 2003)

E.3.5 Emissioni e produzione di rifiuti

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

Un elenco delle principali emissioni e delle relative fonti viene riportato nel seguente schema.

Emissioni Fonti	Particolato	NO_x, SO_x, HCl	NH₃, ammine	H₂S	HCN	COV	Odori	Altre Sostanze Organiche	Metalli	CH₄	COD
Ricezione e stoccaggio (campionamento/ingresso impianto)	A, AQ, T	A	A			A	A				AQ
Pretrattamento (tritutori mulini vagli)	A	A	A	A	A	A	A	AQ	AQ		
Fase di digestione aerobica	A, T		A	A		A	A	AQ	AQ	A	AQ
Fase di digestione anaerobica				A		A				A	AQ
Stoccaggio prodotti finiti	A						A	A	AQ		
Sezione di metanizzazione			A	A			A			A	
Post trattamenti (vagliatura demetallizzazione)	A, T						A				

E.3.5.1 Le emissioni in atmosfera

La formazione ed il rilascio di inquinanti atmosferici e di sostanze osmogene costituisce uno dei punti più critici di un qualsiasi impianto di trattamento biologico dei rifiuti. A questo proposito è importante conoscere le diverse situazioni che possono portare alla generazione di emissioni, in modo da rendere possibili interventi di prevenzione e/o mitigazione sia a livello delle condizioni di processo, sia sulle caratteristiche delle strutture impiantistiche.

Trattamento aerobico

Negli impianti di trattamento aerobico dei rifiuti il problema è riconducibile sia all'emissione dei composti inquinanti dai materiali che vengono affidati al trattamento sia, prevalentemente, alla formazione di composti odorigeni nel corso del processo. In generale la produzione di composti ad elevato impatto olfattivo viene associata a condizioni di anaerobiosi nel materiale in trattamento, condizioni che non dovrebbero verificarsi nel corso del processo di biostabilizzazione/bioessiccazione, in quanto è un processo di tipo aerobico.

La produzione di emissioni dipende dalla tipologia dei rifiuti, dal tipo di trattamento, dalla gestione dell'impianto, e dalle condizioni metrologiche.

In particolare le più comuni fonti di inquinanti atmosferici e di sostanze osmogene possono essere le seguenti:

- prolungato accumulo dei materiali freschi e altamente fermentescibili non ancora sottoposti a trattamento o lo stazionamento all'aperto di sovvalli ad elevata fermentescibilità;
- presenza di zone anaerobiche nei materiali sottoposti a trattamento;
- presenza di percolato non idoneamente captato e raccolto;
- bassa efficienza dei sistemi di captazione dell'aria, nel caso di locali che sarebbero dovuti essere tenuti in depressione;
- bassa efficienza dei sistemi di abbattimento delle arie esauste;

- la fuoriuscita di arie odorose da portali (es. fosse di carico)
- messa in maturazione, in aree aperte di materiali non ancora fermentescibili;
- interruzione precoce dei processi aerobi a carico di biomasse non ancora mature.

I più significativi gruppi di composti odorigeni identificati presso impianti di trattamento biologico includono composti organici e inorganici dello zolfo, ammoniaca e ammine, acidi grassi volatili, composti aromatici, terpeni, acetone, fenoli e toluene. In tabella 30 viene riportato un elenco dei principali composti individuati presso impianti di trattamento biologico negli Stati Uniti e le relative soglie di odore.

Tabella 30: Composti odorosi identificati presso impianti di compostaggio negli Stati Uniti e le relative soglie di odore⁴ (Williams T.O. e Miller F.C., 1992)

Composto	Formula	Massa molecolare	SOGLIA DI ODORE	
			bassa $\mu\text{g}/\text{m}^3$	alta $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Composti dello zolfo	H_2S	34	0.7	14
Idrogeno solforato				
Disolfuro di carbonio	CS_2	76	24,3	23.000
Dimetilsolfuro	$(\text{CH}_3)_2\text{S}$	62	25	50.8
Dimetildisolfuro	$(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$	94	0.1	346
Dimetiltrisolfuro	$(\text{CH}_3)_2\text{S}_3$	126	6.2	6.2
Metilmercaptano	CH_3SH	48	0.04	82
Etilmercaptano	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{SH}$	62	0,032	92
Ammoniaca e composti dell'azoto	NH_3		26,6	39.600
Ammoniaca				
Metilamina	$(\text{CH}_3)\text{NH}_2$	31	25.2	12.000
Dimetilamina	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	45	84.6	84.6
Trimetilamina	$(\text{CH}_3)_3\text{N}$	59	0.8	0.8
Scatolo	$\text{C}_6\text{H}_3\text{C}(\text{CH}_3)\text{CHNH}$	131	$4.0 \cdot 10^{-5}$	268
Acidi grassi volatili				
Acido formico	HCOOH	46	45	37.800
Acido acetico	$\text{CH}_3\text{COO H}$	60	2.500	25.000
Acido propionico	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO H}$	74	84	64.000
Acido butirrico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COO H}$	88	1	9.000
Acido valerianico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COO H}$	102	2,6	2,6
Acido isovalerianico	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{COO H}$	102	52,8	52,8
Chetoni				
Acetone	$\text{CH}_3\text{COO H}_3$	58	47.500	161.000
Butanone (MEK)	$\text{CH}_3\text{COO H}_2\text{CH}_3$	72	737	147.000
2-Pentanone (M PK)	$\text{CH}_3\text{COO H}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	86	28.000	45.000
Altri composti				
Benzotioazolo	$\text{C}_6\text{H}_4\text{SCHN}$	135	442	2.210
Acetaldeide	CH_3CHO	44	0.2	4.140
Fenolo	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	94	178	2.240

⁴ La soglia di percettibilità dell'odore (OT50=Odour Threshold) viene definita come la minima concentrazione di un composto odoroso che porta alla percezione dell'odore con una probabilità del 50% (soglia bassa). La soglia di riconoscimento al 100% (ORC100 = Odour recognition concentration) è invece la concentrazione alla quale il composto viene identificato con una probabilità del 100% (soglia alta).

Le *ammine* possono derivare dalla decomposizione microbica degli aminoacidi e delle proteine ad opera di batteri comuni, quali E. Coli. Alcune di esse (cadaverina e putrescina) presentano odori forti e molto sgradevoli. Le ammine si formano in generale a pH basso in condizioni anaerobiche. Una buona gestione del processo di bioossidazione ne può ridurre notevolmente la formazione.

L'ammoniaca è prodotta, sia in condizioni aerobiche che anaerobiche dalla degradazione delle proteine e degli aminoacidi. Se il substrato ha un basso rapporto C/N (<15) è maggiore la quota di azoto non riutilizzata nei cicli microbici e quindi la quantità di ammoniaca dispersa nei vapori in seguito alla mineralizzazione dei composti organici contenenti azoto che porta al rilascio di ammoniaca a seguito di deaminazione ossidativa degli aminoacidi. L'ammoniaca si può ritrovare in concentrazioni abbastanza elevate in impianti di trattamento aerobico, che trattano fanghi di depurazione e residui zootecnici, nei quali può costituire uno dei composti maggiormente responsabili dei cattivi odori, nonostante la sua soglia di odore sia piuttosto alta.

I *composti aromatici* hanno come base l'anello benzenico e possono venire prodotti durante la decomposizione aerobica della lignina (indolo e scatolo).

I più comuni *composti dello zolfo* che contribuiscono agli odori includono composti organici e inorganici. Fra i solfuri inorganici l'acido *solfidrico* (H_2S) è quello che più frequentemente viene associato a impianti di trattamento dei reflui. Tale gas ha un caratteristico odore di uova marce, rilevabile già a bassissime concentrazioni; a concentrazioni elevate diventa invece inodore ed è altamente tossico. La produzione di H_2S deriva principalmente dalla scissione di aminoacidi quali metionina e cisteina; molti batteri quali ad esempio E.Coli possono metabolizzare tali aminoacidi producendo H_2S come sottoprodotto. Nel processo di trattamento aerobico può formarsi, in zone anossiche di materiale troppo umido o compattato. Viene tuttavia raramente riportata la presenza di tale composto presso impianti di biostabilizzazione. I *composti organici dello zolfo* (mercaptani) sono maleodoranti già a concentrazioni bassissime, dell'ordine dei ppb (parti per bilione). I mercaptani si formano, sia in condizioni aerobiche, che anaerobiche. I metilmercaptani, in condizioni aerobiche, si possono ossidare a dimetildisolfuri e dimetilsolfuri. I diversi solfuri possono quindi formarsi e distruggersi nel corso del processo a seconda delle condizioni locali del cumulo. La soglia di odore per il dimetilsolfuro e il dimetildisolfuro è dell'ordine dei ppb.

I *terpeni* sono prodotti del legno e sono largamente presenti in ogni impianto di biostabilizzazione che utilizzano scarti del legno e residui di potatura ed hanno in generale odori gradevoli (limonene, pinene, etc...). La loro soglia di odore è di alcuni ppb. Sono composti molto stabili e difficili da rimuovere.

Bioparticolato e bioaerosoli

Durante le operazioni di trattamento aerobico dei rifiuti possono originarsi polveri dotate di reattività biologica (*bioparticolato*), le quali sono, in buona sostanza, sospensioni in aria di solidi finemente dispersi, costituite da cellule microbiche ovvero da microorganismi associati a piccolissime particelle di materiali organici o inorganici. I microorganismi sono in grado di rimanere sospesi nell'aria per periodi di tempo anche lunghi, mantenendo la vitalità e l'eventuale infettività. Nelle polveri disperse si ritrovano cellule di batteri e attinomiceti, propaguli di muffe e spore fungine, nonché particelle virali.

Un problema specifico correlato con le stazioni di trattamento aerobico dei rifiuti è rappresentato dalla presenza del fungo *Aspergillus fumigatus*. Questo deuteromicete è normalmente associato alla sostanza organica in corso di decadimento, quale, ad esempio, la lettiera dei boschi di latifoglie, e, perciò, finisce per colonizzare anche le matrici trattate presso gli impianti di produzione di biostabilizzato. Le spore (conidi) di questo fungo sono facilmente disperse nell'aria a seguito del rivoltamento dei cumuli di matrice organica in trasformazione e, soprattutto, durante l'agitazione meccanica del prodotto finito. Ciò si verifica, con particolare intensità, quando i materiali movimentati sono secchi e polverosi. Il numero di propaguli di *A. fumigatus* nell'aria decresce,

comunque, rapidamente già a poca distanza dalla sorgente e dopo poco tempo dalla cessazione delle operazioni di rivoltamento.

Le spore di *A. fumigatus* possono essere inalate ovvero entrare nel corpo umano attraverso ferite ed abrasioni dell'epidermide. Il fungo non è considerato un pericolo per gli individui sani. Tuttavia, in soggetti sensibili, può causare affezioni polmonari (aspergillosi) ed infezioni di vario genere. Le condizioni che predispongono gli individui alle infezioni da parte di *A. fumigatus*, ma anche di altre specie fungine, comprendono l'indebolimento delle difese immunitarie, le allergie, l'asma, il diabete, la tubercolosi, le lesioni della membrana timpanica, l'uso di antibiotici e di ormoni adrenocorticotropi, le terapie post-trapianto, la leucemia ed i linfomi.

Approssimativamente si stima che il 5-10 % della popolazione sia sensibile ad *A. nidulans*. Oggi, tuttavia, sono disponibili test ematici per l'identificazione degli antigeni di natura fungina in individui sensibili. Ciò consente di verificare, in via preventiva, la compatibilità di un operatore con l'ambiente di lavoro tipico della stazione di trattamento aerobico dei rifiuti.

Altro elemento di potenziale rischio igienico-sanitario presso le strutture impiantistiche adibite al trattamento aerobico è rappresentato dall'esposizione alle endotossine. Quest'ultime sono tossine prodotte all'interno delle cellule di alcuni microorganismi e rilasciate a seguito della rottura degli involucri cellulari. E' stato accertato che i livelli di endotossine nell'aria delle stazioni di trattamento aerobico dei rifiuti possono variare da 0,001 a 0,014 mg/m³.

VOC

Presso gli impianti di biostabilizzazione dei rifiuti urbani possano liberarsi composti organici volatili (*volatile organic compounds* o VOCs), potenzialmente pericolosi per gli operatori. Si tratta di composti, quali benzene, cloroformio e tricloroetilene (triellina), normalmente contenuti in taluni solventi, vernici e smacchiatori di uso domestico.

La combinazione della ventilazione forzata o del rivoltamento periodico dei cumuli e delle elevate temperature raggiunte in fase termofila può facilitare il rilascio in atmosfera di VOCs dal materiale in trasformazione. La maggior parte dei VOCs viene liberata dal substrato nelle prime 24-48 ore di processo. Quando la fase attiva del processo è confinata in ambienti chiusi, un appropriato ricambio d'aria è importante anche per evitare l'esposizione degli addetti a concentrazioni non trascurabili di questi composti. Le tecnologie di abbattimento messe a punto per il controllo degli odori possono risultare utili anche per la rimozione dei VOCs dall'aria di processo. Il miglior metodo per limitare l'emissione di VOCs consiste tuttavia nel prevenire la presenza di queste sostanze nelle matrici organiche oggetto di trattamento. Ciò è ottenibile, ancora una volta, mediante programmi di asporto differenziato del rifiuto organico presso le famiglie e di raccolta mirata dei prodotti pericolosi.

L'esposizione degli operatori a composti tossici come policlorobifenili (PCBs), diossine, pesticidi e idrocarburi policiclici aromatici (PAHs), eventualmente presenti nelle matrici di partenza, sebbene ritenuta verosimile in taluni casi, non è stata quantificata con precisione.

Ai fini del monitoraggio di tali sostanze deve essere determinata la concentrazione di TOC.

CFC

Le emissioni di CFC dipendono dal tipo di rifiuti trattati nell'impianto e nella seguente tabella sono riportate le concentrazioni rilevate

Tabella 31: Emissioni di CFC

CFC	Impianto A Aria esausta dal tunnel	Impianto B Aria esausta da area di biossificazione	Impianto B Aria esausta da area di biossificazione	Impianto B Aria esausta da aree di ingresso	Impianto C Aria esausta da area di biossificazione
	inverno	estate	inverno	estate	stimato
R11	n.d	8,5	4,1	0,4	2,2-2,3
R12	n.d	11,3	0,2	0,4	1,3-1,4
R21	n.d	n.d	-	n.d	n.d.
R113	n.d	n.d	<0,05	n.d	1,9
R114	n.d	n.d	0,2	0,4	1,2-1,4

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries" ([132, UBA 2003])

Trattamento anaerobico

Le emissioni in atmosfera negli impianti di digestione anaerobica vengono prodotte in diversi reparti degli impianti, in particolare le principali fonti sono:

- sostanze volatili prodotte nel corso dei processi fermentativi durante lo stoccaggio dei rifiuti in attesa del trattamento e durante le fasi di pretrattamento e selezione;
- sostanze volatili originate dalla sezione di metanizzazione,
- sostanze volatili originate dall'eventuale processo di post-stabilizzazione aerobica e maturazione della frazione organica digerita o dal fango prodotto dalla digestione anaerobica.

Nel documento Bref sono riportati i valori di emissione riscontrati in un impianto di digestione anaerobica.

Tabella 32: Emissioni in atmosfera impianto di digestione anaerobica

Emissioni in atmosfera	emissioni	Unità di misura	Emissioni specifiche (g/t di rifiuti)	Emissioni specifiche (g/t di rifiuti)
Gas dal condotto				11000 Nm ³ /t
metano	fughe	% v/v	0-411	0,1
CO ₂	31-35,2	% v/v	181.000-520.000	85
CO			72,3	0,25
NO _x			10	
NH ₃	fughe			
N ₂ O			0	0,2
SO _x			2,5-3	0,15
H ₂ S	284-289	mg/Nm ³	0,033	
TOC (VOC)			0,0023	
PM				
Emissioni osmogene	626	GE/Nm ³		
Cloroformio	2	µg/Nm ³		
Benzene	50-70	µg/Nm ³		
Toluene	220-250	µg/Nm ³		
Etilbenzene	610-630	µg/Nm ³		
m+p+o xilene	290-360	µg/Nm ³		
Idrocarburi alogenati e PCB			0,00073	
Diossine e furani			(0,4-4) 10 ⁻⁸	
Cloruri totali	1,5	µg/Nm ³		
HCl			0,011	
HF			0,0021	
Cd			9,4 10 ⁻⁷	

Cr			1,1 10 ⁻⁷	
Hg			6,910 ⁻⁷	
Pb			8,5 10 ⁻⁷	
Zn			1,3 10 ⁻⁷	

Note: Fughe significa che sono state rilevate delle emissioni, ma non sono state quantificate

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries" (33, ETSU, 1998), (54, Vrancken, et al, 2001), (56, Babbie Group Ltd 2002), (59, Hogg et al 2002)

Nel caso di utilizzo del biogas come combustibile per la produzione di energia, possono prodursi due tipologie di emissioni:

- il primo tipo è correlato alla depurazione del biogas prima dell'utilizzo, allo scopo di ridurre le emissioni dopo la combustione;
- l'altro è correlato con l'abbattimento delle emissioni al termine della combustione del biogas.

Nel bruciare il biogas la temperatura di uscita del gas combustibile dovrebbe essere almeno pari a 900°C e il tempo di residenza di 0,3 sec.

Occorre che la massima concentrazione di composti dello zolfo nel biogas sia almeno 50 ppm oppure l'efficienza di rimozione almeno il 98%.

Tra le procedure di abbattimento che possono avvenire in una fase successiva di trattamento:

- ossidazione biologica dei solfati in solfuri o acido solforico;
- depurazione del gas mediante acqua o solventi organici e adsorbimento su carboni attivi.

La riduzione delle emissioni deve ottenersi anche mediante:

- riduzione delle emissioni di solfuri di idrogeno depurando il biogas mediante sali di ferro all'interno del digestore o mediante l'ossidazione biologica con aggiunta controllata di ossigeno;
- utilizzo di metodi di riduzione degli NO_x;
- utilizzo dell'ossidazione termica per ridurre CO e idrocarburi;
- utilizzo della filtrazione mediante carboni attivi.

Il BREF prevede che le emissioni in atmosfera nei gas esausti debbano rispettare i seguenti limiti:

Tabella: 33: Limiti delle emissioni nei gas esausti nel caso di utilizzo del biogas come combustibile

Parametri	Biogas	Concentrazione nei gas esausti
AOX	<150	
CO		100 – 650 ¹
Polveri		<10-50
NO _x		100 – 500 ²
H ₂ S		<5
HCl		<10-30
HF		<2-5
Idrocarburi		<50 – 150
SO ₂		<50 – 500
I dati sono espressi in mg/Nm ³ al 5% di O ₂		
¹ quando si utilizzano motori ad accensione comandata da candela con bassa capacità di riscaldamento (es:<3MW _{th}) il valore di 650 potrebbe essere difficilmente raggiungibile. In tal caso 1000 potrebbe essere più opportuno		
² quando si usano motori con utilizzo di iniezione pilota con bassa capacità di combustione (es:<3MW) il valore massimo sarà 1000. Il valore minimo del range potrà essere raggiunto solo con sistemi di abbattimento		

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

E.3.5.2 Emissioni negli scarichi idrici

Negli impianti di trattamento biologico le acque reflue sono prodotte direttamente dal processo di trasformazione dei rifiuti o indirettamente da attività correlate e possono essere distinti nelle seguenti tipologie:

- acque meteoriche (acque chiare) provenienti da:
 - tetti strade e piazzali;
- acque da uso civile (acque nere)
- acque provenienti dal ciclo produttivo
 - acque di processo
 - acque da lavaggio automezzi.

In particolare negli impianti di trattamento biologico aerobico ed anaerobico le acque reflue sono prodotte da:

- percolati prodotti nelle aree adibite allo stoccaggio dei rifiuti
- processi spontanei di rilascio dell'acqua costituzionale da parte della biomassa, il che costituisce la fonte principale di generazione dei reflui nelle fasi al coperto;
- parte di acque di percolazione eccedenti la capacità di assorbimento delle acque meteoriche (nel caso di bioconversione in ambiente non coperto) o delle acque usate per l'inumidimento artificiale dei cumuli;
- precipitazioni meteoriche intercettate da pavimentazioni di solo transito e manovra e dalle coperture;
- acque di lavaggio degli ambienti di lavoro,
- soluzioni acquose provenienti dal trattamento ad umido delle emissioni gassose,
- acque provenienti dalla disidratazione del fango digerito
- condense ottenute dal trattamento del biogas
- reflui da laboratorio di analisi
- acque reflue dei servizi igienici.

Trattamento aerobico

In linea generale le acque reflue rilasciate dalla biomassa o comunque entrate in contatto con essa attestano un contenuto relativamente elevato in composti organici (BOD) composti minerali dell'azoto e microrganismi, mentre le acque meteoriche incidenti sui piazzali hanno tenori relativamente elevati di solidi sospesi e composti organici ed inorganici disciolti; quelle pervenute in una fase successiva sono relativamente più pulite.

Tali caratteristiche rendono possibile, la depurazione delle acque con successivo recapito al sistema fognario o al suolo o ad acque superficiali (il recapito diretto al suolo o in acque superficiali per le acque a bassa contaminazione, in specifico le acque intercettate di da tettoie gronde e le acque di seconda pioggia), riutilizzo sulla biomassa in corso di bioconversione allo scopo, sia di risanare i livelli di umidità, sia recuperare il valore fertilizzante dei composti azotati e le popolazioni microbiche preposte alla bioconversione e presenti nel refluo sempre nel rispetto della normativa vigente.

Si riporta l'analisi del percolato presente nel "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries" proveniente da un impianto di trattamento aerobico dei rifiuti.

Tabella 34: Percolato da impianto di trattamento aerobico

Emissioni specifiche	concentrazioni (kg/ton RU)	Concentrazioni acque reflue (mg/L)
Refluo	260-470 litri	
TOC		40
BOD		20-25
COD	0,457	120-200
HC		10-20
BTEX		0,1
AOX		0,5
cloruro	0,152	
Azoto totale		70
P		1-3
CN	$7,28 \cdot 10^{-5}$	0,2
Solfuri		0,1-1
Mg	0	
Ni	$7,94 \cdot 10^{-4}$	
Cd	0	
Cr	0	0,5
Cr (VI)		0,1
Cu	0	
Pb	$5,96 \cdot 10^{-4}$	
Hg	0	
Zn	$2,38 \cdot 10^{-4}$	

Note: Rame e zinco potrebbero trovarsi nell'eluato essendo micronutrienti delle piante.

Potrebbero essere presenti negli effluenti metalli tossici, sebbene la maggior parte di essi rimanga nel prodotto finale

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries" [59, Hogg et al., 2002], [66, TWG 2003]

Digestione anaerobica

In un impianto di digestione anaerobica, generalmente, gli effluenti sono simili a quelli del trattamento aerobico, ma i volumi sono più elevati. Negli impianti di digestione anaerobica i percolati da stoccaggio sono generalmente presenti in quantità elevata a causa dell'umidità dei rifiuti conferiti. Tali reflui presentano caratteristiche di estrema variabilità e sono costituiti da prodotti quali oli, percolati di vario genere, detergenti, oltre all'acqua di costituzione del rifiuto. In genere i rifiuti sono in grado di assorbire il percolato eventualmente formatosi, ma in situazioni di conferimento anomalo, carico eccezionale di organico, condizioni di stoccaggio in fossa estremamente gravose, (pressatura e compattazione di rifiuti) è possibile che si verifichi un rilascio di percolato, che deve essere raccolto ed opportunamente trattato.

Inoltre, negli impianti di digestione anaerobica vengono anche prodotte quantità non trascurabili di acque provenienti dalla disidratazione del fango digerito, che in genere vengono parzialmente riciclate come diluenti nei digestori e acque di condensa provenienti dalla fase di raffreddamento del biogas.

Le acque provenienti dal trattamento ad umido delle emissioni gassose sono costituite essenzialmente dalle acque di spurgo degli scrubber e dai percolati dei biofiltri. Tali reflui devono essere stoccati in apposite vasche o serbatoi e, se non recuperati all'interno del ciclo di trattamento, devono essere depurati prima dello scarico finale.

Infine, deve essere previsto il collettamento delle acque di lavaggio degli automezzi, le quali possono essere conferite ad un impianto di depurazione oppure riciclate all'interno del processo. In questo caso è opportuno prevedere un trattamento di disoleazione prima dell'utilizzo.

I parametri che dovrebbero essere monitorati in ingresso ed in uscita all'impianto per valutare le rese del processo sono il TOC, azoto totale, fosforo totale, cloro.

Nella tabella 35 è riportata la composizione dell'acque reflue in un impianto tipo di digestione anaerobica prima della rimozione dei solidi sospesi. Generalmente nella fase dei post trattamenti le acque prelevate dal digestato potrebbero essere sottoposte ad un processo di denitrificazione o filtrazione e/o decantazione

Tabella 35: Caratterizzazione delle acque reflue di un impianto di digestione anaerobica

Composti	Unità di misura	Processo dry	Processo wet	Concentrazione* [g]
Acque reflue	m ³ /t			
COD	mg O ₂ /l	20.000-40.000	6.000-24.00	20-530
BOD	mg O ₂ /l	5.000-10.000	2.500-5.000	
Ammoniaca				1-160
Nitrati				1-10
N totale	mg N/l	2.000-4.000	800-1.200	
P totale				
Cl				
solfo				1-5
As				
Cd				
Cr				
Cu				
Hg				
Ni				
Pb				
Zn				

Note *calcolato considerando 261 l acque reflue/t rifiuto trattato (possibile ridurlo a 211 l riutilizzando parzialmente l'acqua per la produzione della soluzione dei polimeri). Il range dipende dal tipo di trattamento delle acque reflue.

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries" (33, ETSU, 1998), (56, Babbitt Group Ltd 2002), (59, Hogg et al 2002) (66, TWG 2003)

E 3.5.3 Produzione di rifiuti

Digestione anaerobica

L'applicazione della digestione anaerobica al trattamento dei rifiuti consente di ottenere un notevole recupero energetico, utilizzando il biogas prodotto, di produrre energia attraverso l'eventuale trattamento aerobico del fango digerito e produrre un residuo stabilizzato impiegabile come ammendante organico in agricoltura o per ripristini ambientali.

L'aspetto del recupero energetico è senza dubbio quello più interessante, in quanto il biogas prodotto, costituito per la maggior parte da metano, ha un elevato potere calorifico e pertanto può essere convenientemente convertito in quasi tutte le forme di energia utili: calore, elettricità e cogenerazione (produzione congiunta di elettricità e calore).

Un altro aspetto di importanza non trascurabile consiste nella possibilità di recuperare materiali riutilizzabili dalle operazioni preliminari di selezione o da quelle successive di raffinazione ed in particolare metalli (ferrosi e non) e frazione combustibile.

Nella seguente tabella, ripresa dal Bref si descrivono i flussi di rifiuti in uscita da un impianto di digestione anaerobica.

Tabella 36: Rifiuti in uscita da un impianto di digestione anaerobica dei rifiuti

Frazione da cui è possibile recuperare energia	Quantità prodotte (kg/t di RU)	Valore calorifico (MJ/kg)	
		Inferiore	superiore
Biogas ¹	117,5 (75-364 Nm ³)	15,4	16,8
Residuo leggero	37,3	12,	21,5
CDR	257,2	17	25,8
Frazione legnosa	14	4,9	10

Note ¹ La resa inferiore è dovuta al più alto contenuto di rifiuti non degradabili (sabbie); le rese possono variare a seconda della stagione (più alte rese nel periodo autunno/inverno)

Fonte: “Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries” [45, Vrancken et. Al. 2001] [59, Hogg, et al., 2002]

Biogas

Nel biogas in uscita da un impianto di digestione anaerobica sono presenti in piccole quantità impurezze quali monossido di carbonio, idrogeno, azoto e ossigeno.

La composizione del biogas generato da un impianto di digestione anaerobica è riportata nella tabella seguente come riportato nel Bref Agosto 2005.

Il biogas può essere utilizzato, come già detto, per la produzione di energia e/o calore. Dall'utilizzo del biogas per la produzione di energia si ottengono da 20 a 300 kWh di energia per tonnellata di rifiuto trattata.

Tabella 37: Composizione del biogas

Composti	Concentrazione (% v/v)	Produzioni specifiche (g/t di RU)	Emissioni specifiche (g/MJ di metano)
CO ₂	25-50	181.000-520.000	85
Metano	50-75	0-411	0,1
N ₂	3,9-4,1		
O ₂	0,9-1,1		
H ₂ O biogas	6-6,5		
H ₂			
H ₂ S	<0,1-0,8		
NH ₃	<0,1-1		
Mercaptano	tracce		
Acidi grassi a basso peso molecolare			
Composti ad alto peso molecolare	tracce		

Fonte: “Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industry” [45, Vrancken et. Al. 2001] [59, Hogg, et al., 2002], [33 ETSU, 1998], [56, Bastie Group Ltd, 2002], [132, UBA, 2003]

CDR

Il combustibile da rifiuti, (CDR) è il materiale ricavato dai rifiuti urbani (dopo separazione delle frazioni destinate a recupero di materia) mediante trattamento finalizzato sia all'eliminazione di sostanze pericolose o indesiderate per la combustione sia a garantire un adeguato potere calorico la sua composizione è riportata in tabella 43.

Il processo di digestione anaerobica porta alla produzione di tre flussi di rifiuti che possono essere avviati al trattamento termico quali residuo leggero, CDR e frazione legnosa. I tre flussi di rifiuto producono 308,5 kg di CDR, il cui potere calorifico inferiore è di 16,5 MJ/kg

Tabella 38: Composizione del CDR

Tipo di rifiuto	Quantità (%)
Rifiuti organici	45
Altro	31
Tessili	2
Carta e cartone	13
Plastica	9

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries" [45, Vrancken et. Al. 2001]

Digestato

La quantità di digestato nel processo di digestione anaerobica è pari a 220 kg per tonnellata di rifiuto trattato e la composizione dipende dalla tipologia di rifiuto in ingresso all'impianto come evidenziato nella seguente tabella.

Tabella 39: Caratterizzazione del digestato

Rifiuto in ingresso	Unità di misura	N	P	K	Mg	Ca
Rif. biodegradabili	% TS	1,2	0,68	0,74		0
RU separati alla fonte	% DM	1,9	0,66	0,63	-	-
RU separati alla fonte	ppm	20	11,9	14,7	11,6	49,7
RU separati alla fonte	ppm	11	8	10	-	-
Frazione organica di RU	ppm	1-1,3	6-12	8-12	17-26	60-110
Frutta/verdura da mercatali	ppm	21,9	9,5	10,5	4,7	-
RU indifferenziati	ppm	11	8	10	-	-
RU indifferenziati	ppm	19	13	15	3,67	-

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries" [59, Hogg, et al., 2002]

Altri prodotti/rifiuti

Tabella 40: La digestione anaerobica dei rifiuti urbani biodegradabili

Prodotti recuperati	Produzioni specifiche (t/t di rifiuto trattato)
Recupero di nutrienti	4-4,5 kg N/t 0,5-1 kg P/t 2,5-3 kg K/t
Recupero energia	0,4-0,9 MJ elettricità per t di rifiuto. Inoltre gli impianti di CHP possono produrre una uguale quantità di calore
Residui solidi totali (dipende dal rifiuto)	0,3-0,6
Prodotti di qualità per il recupero	Fibre 0,07-0,3 per compostaggio
Altri prodotti residui che possono	Fluidi 0,6

essere utilizzati con delle restrizioni	Inerti 0,05 Sabbie 0,08
Residui destinati alla discarica o ad altri trattamenti	sovvalli 0,02-0,1
Metalli (contenenti ferro)	0,043
Metalli ferrosi	0,032

*La separazione ed il lavaggio del materiale digestato porta alla formazione di frazioni di materiali inerti, sabbie e tessili. Gli inerti e le sabbie possono essere utilizzate come materiale da costruzione.

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

Trattamento meccanico biologico

Durante il processo di degradazione biologica aerobica i microrganismi degradano il substrato organico dei rifiuti, producendo anidride carbonica, acqua, calore e sostanza organica humificata. I rifiuti prodotti negli impianti di trattamento meccanico-biologico sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 41: Rifiuti in uscita da un impianto di trattamento meccanico biologico

Frazione utile al recupero di energia	Quantità prodotte (kg/t di RU)	Valore calorifico (MJ/kg)
		Inferiore superiore
CDR	300-460	16,6 19,9
Frazione da cui non è possibile recuperare energia		Destinazione dei materiali e proprietà
Ferrosi	32-40 24 ferro 1 8 ferro 2	Rottamatori Pre separazione Post separazione
Inerti	48,6 <40 vetro	Riuso
Non ferrosi	8 -10	Recupero materiali
Materiale organico al trattamento biologico	550 perdita di processo 200 rifiuti protrattati da destinarsi in discarica 350	TOC 18 w/w% Potere calorifico > 6 MJ/kg Densità > 1,5 t/m ³ (wet) Conducibilità idraulica $K_f < 10^{-8}$ m/s

Fonte: "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries" [81, VDI and Dechema, 2002], [45, Vrancken et. Al. 2001]

Compost grigio

Il compost grigio, ottenuto dal trattamento di matrici organiche a grado di contaminazione relativamente elevato, può contenere elementi quali rame e zinco essendo dei micronutrienti delle piante. Altri metalli pesanti potrebbero essere presenti nel prodotto finale dopo trattamento aerobico anche a causa del trattamento di rifiuti pericolosi.

Tabella 42: Prodotti in uscita dal trattamento MBT dei rifiuti urbani biodegradabili

Prodotti recuperati	Produzioni specifiche (t/t di rifiuto trattato)
Recupero di nutrienti	2,5-10 kg N/t di rifiuti biodegradabili recuperati 0,5-1 kg P/t di rifiuti biodegradabili recuperati 1-2 kg K/t di rifiuti biodegradabili recuperati
Recupero energia	CDR può essere 0,2-0,5 t con un valore calorifico 15-20 MJ/kg. Inoltre in alcuni casi può portare al recupero di energia (>100kWh dipende dalla composizione) dalla degradazione della frazione biodegradabile
Residui solidi totali	0,7-0,9

(dipende dal rifiuto)	
Prodotti di qualità per il recupero	Metalli 0,05
Altri prodotti residui che possono essere utilizzati con delle restrizioni	CDR (0,3-0,4) Frazione organica stabilizzata (0,07-0,2) Indice di respirazione (AT ₄): <5-7 mgO ₂ /g TS Produzione di gas: GB21 <20 mg/gTS
Residui destinati alla discarica o ad altri trattamenti	Scarti leggeri e pesanti (0,2-0,4)

Fonte: “Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries” [53, Hogg, et al., 2002]

Il prodotto ottenuto dal trattamento aerobico dei rifiuti risulta avere un valore di COD pari a circa 1-3 g, di TOC 0,5-1,5g e di NH₄-N 0,1-0,2g nell’eluato. I valori suddetti dipendono ovviamente dal tipo e dalla durata del trattamento.

Tabella 43: Concentrazioni di C, N e Cl

Possibili emissioni	Unità di misura	RU non trattati	RU dopo trattamento meccanico biologico
Da gas: Carbonio	L/kg di sostanza secca gC _{org} /kg sostanza secca	134-233 71,7-124,7	12-50 6,426,8
Dall’eluato TOC	g/kg di sostanza secca	8-16	0,3-3,3
N	g/kg di sostanza secca	4-6	0,6-2,4
Cl	g/kg di sostanza secca	4-5	4-6

Note I valori minimi sono riferiti ai valori di stabilizzazione ottenuti da moderni impianti di TMB

Fonte: “Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries” [81, VDI e Dechema, 2002]

E 3.6 Analisi dei rischi

I fattori di rischio

I potenziali problemi concernenti la salubrità e la sicurezza che ricorrono presso le stazioni di trattamento biologico includono l’esposizione alle polveri ed alle endotossine, il contatto con aerosol ed eventuali sostanze chimiche tossiche, i rumori e gli incidenti connessi con le macchine in uso presso l’impianto. Questi problemi possono essere efficacemente contenuti mediante un’appropriata progettazione delle strutture, degli spazi e delle procedure operative, nonché attraverso un’adeguata formazione del personale.

Elenco sintetico dei rischi

1. Contatto con aree in presenza dei rifiuti (rischio biologico – In tal proposito deve essere effettuata apposita valutazione del rischio biologico con le relative misure tecniche organizzative e procedurali).
2. Contatto con i rifiuti e quindi rischio di abrasioni con parti taglienti o similari. (rischio biologico , in caso di disostruzione manuale di nastri o di altre apparecchiature)
3. Rischio incendio. (Tale rischio è dovuto alla presenza di materiali combustibili stoccati all’interno dell’impianto, come legno e scarti contenenti plastica e carta. A tal proposito deve essere effettuata la valutazione del rischio incendio ai sensi del D.M. 10/3/1998.
4. Rischio di inalazione di polveri, in presenza di materiali movimentati durante le varie attività produttive.
5. Esposizione al rumore fino a 80 dB(A), tra 80 e 85 dB(A), e oltre 85 dB(A). Occorre effettuare apposita valutazione del rischio di esposizione al rumore ai sensi del D.L.277/91.

6. Il rischio legato all'uso del videoterminale è presente solamente per addetti alla segreteria o alle registrazioni (occorre valutare se ricorrono le condizioni di cui all'art. 51 del D.L. 626/94).
7. Rischi meccanici derivanti dalla presenza di macchine in movimento, purché limitati dalla presenza di barriere fisse e craterature.
8. Rischio di contusione con parti metalliche dell'impianto (travi a sbalzo, scalette, passerelle).
9. Rischio da esposizione a campi magnetici: (la presenza di separatori elettromagnetici, provoca campi magnetici di tipo statico. Il D.M. 2/8/91 reca norme sull'esposizione degli operatori a campi magnetici statici ed impone la durata massima di esposizione per gli operatori).
10. Rischi di investimento o di contusioni dovuti alla presenza di macchine operatrici in movimento.
11. Rischi derivanti da uso improprio dei differenti macchinari per operazioni non conformi.
12. Rischio di esposizione ad agenti chimici (nelle zone in cui avviene l'ossidazione del materiale organico, si ha la potenziale formazione di composti chimici (Ammoniaca e Idrogeno Solforato), da ritenersi dannosi per gli operatori a seconda delle percentuali in cui sono presenti, a tal proposito occorre effettuare apposita valutazione del rischio chimico).
13. Rischio di elettrocuzione dovuto dalla presenza di apparecchiature elettromagnetiche.

Poiché il bioparticolato e le endotossine sono essenzialmente associati entrambi alle polveri, il controllo della dispersione di queste ultime dovrebbe essere pianificato già a livello di progettazione delle strutture impiantistiche e di organizzazione delle operazioni previste nell'ambito della stazione di trattamento aerobico. Queste misure consentono di ridurre i rischi a carico del personale addetto agli impianti e possono riassumersi nei seguenti punti:

- Impedire l'eccessiva disidratazione delle matrici organiche in corso di trattamento e del prodotto finale.
- Umidificare il prodotto finale stoccato, a maggior ragione se da lungo tempo, prima di qualsiasi movimentazione.
- Pavimentare le superfici di lavoro e la viabilità interna della stazione di trattamento.
- Confinare, dove possibile, le operazioni di vagliatura e confezionamento del prodotto finale in strutture chiuse, dotate di sistema di aspirazione e filtrazione dell'aria.
- Proteggere i lavoratori dall'esposizione alle polveri in coincidenza delle operazioni maggiormente responsabili della formazione di bioparticolato (es. rivoltamento dei cumuli), usando macchine operatrici a cabina chiusa e climatizzata.
- Applicare, preferibilmente, sistemi di trattamento ad aerazione forzata della matrice in trasformazione piuttosto che basati sul rivoltamento periodico dei cumuli.

In aggiunta ai suddetti accorgimenti, gli addetti all'impianto dovrebbero essere ben informati circa i potenziali rischi biologici presenti presso la stazione di trattamento. Quest'ultimi, ancorché estremamente bassi in individui sani, dovrebbero spingere alla osservanza di precauzioni ed al ricorso ad accorgimenti di protezione personale quali:

- l'uso di mascherine protettive capaci di filtrare particelle di dimensioni inferiori ad 1 micron;
- l'impiego di tute da lavoro da sostituire, in apposito spogliatoio dotato di docce, con gli abiti civili, all'uscita dall'impianto a fine turno lavorativo;
- l'accurato lavaggio delle mani ogni volta vi sia contatto con cibi o bevande;
- il pronto ricorso alla disinfezione a seguito di eventuali piccole ferite.

In definitiva, presso la stazione di trattamento biologico, i rischi di carattere biologico riguardanti la salute umana sono strettamente connessi sia con la suscettibilità degli individui, sia con la natura dei materiali trattati. Mentre i rifiuti organici di origine vegetale presentano una modesta carica di microorganismi potenzialmente patogeni per l'uomo, il quadro cambia drasticamente, ad esempio, nel caso di trattamento dei fanghi di depurazione. Questi ultimi infatti contengono un'elevatissima concentrazione di organismi patogeni. Ciò richiede, da parte degli operatori, l'osservanza vie più

scrupolosa delle normali misure di sicurezza (es. uso di indumenti da lavoro adatti, lavaggio delle mani prima di toccare cibi e bevande o gli occhi, *etc.*). Uno degli aspetti più critici nella manipolazione dei fanghi, quando specialmente questi vengono impiegati allo stato fluido nella preparazione delle miscele di partenza per il trattamento aerobico, è rappresentato dalla possibile formazione e dispersione di aerosoli trasportatori di agenti patogeni (*bioaerosoli*). Le microgocce sospese nell'aria, contenenti cellule microbiche o particelle virali, costituiscono un veicolo potenziale di infezione, nei confronti del quale le misure possibili di protezione sono il confinamento al chiuso delle operazioni di miscelazione e l'impiego di apposite maschere e guanti da parte degli operatori addetti alla manipolazione dei fanghi.

L'inquinamento acustico

L'inquinamento acustico rispetto ad altri tipi di inquinamento, presenta caratteri particolari dei quali è necessario tener conto.

Innanzitutto tale forma di inquinamento è temporaneamente labile: in termini fisici esso non ha possibilità di accumulo e scompare non appena cessa di agire la causa che lo ha determinato, anche se dal punto di vista psico-fisico le conseguenze possono accumularsi. In secondo luogo è spazialmente indeterminato in quanto si distribuisce nello spazio in funzione dei movimenti delle sorgenti che lo generano e delle caratteristiche del mezzo di propagazione (l'atmosfera). Inoltre mentre le altre forme di inquinamento non sono direttamente percepite a livello soggettivo e devono pertanto essere sottoposte ad un controllo specifico, l'inquinamento acustico appartiene alla classe dei fenomeni immediatamente percepiti da chi vi sia sottoposto.

Per queste ragioni il problema spesso acquista rilevanti connotazioni sociologiche in quanto la reattività collettiva al fenomeno non è mai completamente determinata a priori ed è connessa anche alle particolari condizioni individuali.

E' importante ricordare che disturbi uditivi importanti si verificano per esposizioni prolungate ad intensità di rumore eccedenti gli 85 decibels. Purtroppo molti dei macchinari utilizzati presso gli impianti di trattamento biologico superano di gran lunga il limite sopra riportato.

Le fonti di rumore in tali impianti sono legate prevalentemente alle apparecchiature utilizzate nelle varie sezioni (vagli, mulini, macchine per movimentazione rifiuti ecc.).

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

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

Qualora tali accorgimenti non siano sufficienti a garantire agli operatori condizioni di lavoro salubri è necessario prevedere l'adozione di adeguati dispositivi di protezione individuali (DPI). L'obbligo di adozione di tali dispositivi deve essere opportunamente segnalato per tutte le apparecchiature o le zone dell'impianto caratterizzate da elevati livelli di emissioni sonore.

Un ulteriore fonte di rumore non trascurabile è legato all'intenso traffico veicolare, che può assumere in questo tipo di impianti particolare rilevanza in relazione ai flussi attesi di materiale in ingresso ed in uscita.

E.4 Migliori tecniche e tecnologie degli impianti di trattamento meccanico - biologico

Di seguito vengono individuate le migliori tecniche e tecnologie che dovrebbero essere utilizzate nella realizzazione e gestione degli impianti di trattamento meccanico - biologico con lo scopo di ridurre l'impatto sull'ambiente.

E.4.1 Configurazione base di un impianto

Tutti gli impianti di trattamento meccanico – biologico devono essere dotati di:

- una zona di scarico e accumulo temporaneo dei rifiuti in ingresso;
- una area di pre – trattamento dei materiali;
- un'area di processo;
- un'area destinata ai post- trattamenti;
- una zona di stoccaggio del prodotto finito e di carico sui mezzi in uscita.

Occorre inoltre prevedere:

- zone di rispetto;

- aree per la viabilità;
- strutture di servizio e per la sicurezza dell'impianto.

Area di ricezione e pre-trattamento

Viene definita anche **area di preparazione**; rappresenta lo spazio necessario per ospitare i materiali organici in entrata.

Nell'area di ricezione degli impianti di trattamento meccanico – biologico è possibile effettuare, se necessaria, la separazione di eventuali materiali indesiderati dalle matrici organiche oggetto di trattamento. Ma, soprattutto, è qui che vengono mescolati gli ingredienti per ottenere la corretta miscela di partenza da avviare alla stabilizzazione. In condizioni climatiche particolarmente avverse, è consigliabile prevedere la copertura di quest'area con apposita tettoia. Gli spazi operativi dovranno inoltre essere appositamente pavimentati e dotati di sufficiente pendenza per la raccolta dei percolati. Barriere di contenimento in cemento dovranno essere disposte lungo almeno uno dei lati del piazzale di ricezione, in modo da facilitare il caricamento dei materiali mediante pala meccanica con cucchiaio frontale.

Quando l'impianto è ubicato in zona sensibile per il manifestarsi di disagi dovuti all'emissione di odori, la sezione di ricezione, condizionamento e miscelazione delle matrici fermentescibili dovrebbe non soltanto essere collocata al coperto, ma addirittura in locale chiuso, dal quale sia possibile convogliare l'aria interna verso gli apparati di filtrazione e deodorizzazione.

È di fondamentale importanza che l'accesso a quest'area e la distribuzione degli spazi siano tali da consentire le operazioni degli automezzi con il minor numero possibile di manovre.

Nel caso di digestione anaerobica i rifiuti subiscono nel reparto di preparazione del substrato una omogeneizzazione, in base alla quale viene regolato il loro contenuto di umidità attraverso miscelazione con acqua di ricircolo o fanghi ed eventualmente viene eseguita una correzione della temperatura, in modo da ottenere una miscela con caratteristiche chimico-fisiche ottimali per poter essere alimentata nei digestori. La regolazione termica può essere effettuata all'interno od all'esterno del digestore. Nel primo caso viene riscaldata l'acqua di diluizione o la miscela stessa tramite scambiatori di calore nel secondo caso è possibile ricorrere anche all'iniezione diretta di vapore nel digestore.

Area di processo

Negli impianti di **trattamento meccanico biologico**, l'*area di stabilizzazione e maturazione*, indicata anche come *area di processo*, comprende sia gli spazi destinati ad ospitare i cumuli durante la fase attiva del processo, sia quelli destinati al materiale in fase di finissaggio (*curing*).

L'area di processo può essere allestita al di sotto di tettoie qualora si operi in condizioni climatiche caratterizzate da ripetute precipitazioni durante tutto l'arco dell'anno, mentre, se la stazione di trattamento si trova nelle vicinanze di insediamenti abitativi è consigliabile confinare l'area di processo all'interno di capannoni chiusi, tenuti in leggera depressione e dotati di sistemi per il ricambio dell'aria interna, con dispositivi per la captazione e l'abbattimento degli odori e delle polveri. Occorre prevedere l'impermeabilizzazione delle superfici destinate alla stabilizzazione di rifiuti organici. Con la pavimentazione viene infatti garantita la captazione e la raccolta degli eventuali percolati, impedendo così la migrazione degli stessi negli strati sub-superficiali del terreno o, addirittura, nelle acque di falda. La pavimentazione delle aie di trattamento favorisce, inoltre, un più efficace smaltimento delle acque di pioggia, e l'accesso delle macchine operatrici anche in condizioni meteorologiche avverse.

Nel caso di trattamento in cumuli statici aerati mediante ventilazione forzata, per evitare intralci alle macchine operatrici, il sistema di adduzione dell'aria dovrà essere sistemato al di sopra di uno strato drenante, all'interno di canalette realizzate nella pavimentazione e coperte da griglie rimovibili. L'estensione dell'area di processo dipenderà dalle caratteristiche dei materiali trattati (es. umidità, densità apparente, ecc.), per i quali sono necessari tempi di stabilizzazione e maturazione diversi, anche a seconda del sistema di trattamento adottato.

Nel caso di trattamento in cumuli aerati mediante rivoltamento periodico, la macchina utilizzata per movimentare il materiale in trasformazione influirà sulla larghezza dei corridoi tra le andane.

Se il trattamento viene condotto con il sistema in cumuli rivoltati mediante pala meccanica, la larghezza delle fasce intercalate tra le andane dovrà essere di circa 5-6 m, in modo da consentire agilmente le manovre della macchina operatrice. Con un rivoltatore laterale spinto o trainato da un trattore, saranno sufficienti corridoi di circa 3,5 m. La larghezza dei corridoi può ridursi a circa 1 m quando sono impiegate macchine rivoltatrici semoventi cavalca-cumulo. Anche con il sistema di trattamento in cumuli statici aerati, è sufficiente lasciare uno spazio tra le andane intorno a 0,7-1 m.

Nel caso di **digestione aerobica** l'area di processo è costituita da una serie di unità di processo (digestori) in cui avviene, in condizioni controllate, la degradazione della sostanza organica e la produzione di biogas.

Area dei post- trattamenti e stoccaggio del prodotto finale

L'area dei post-trattamenti e di stoccaggio del prodotto finale comprende gli spazi necessari per eventuali operazioni di vagliatura, miscelazione, additivazione e confezionamento del prodotto finale maturo e di disidratazione dei fanghi e depurazione del biogas nel caso di digestione anaerobica.

Negli impianti di **trattamento meccanico biologico**, l'area di raffinazione dovrà avere almeno le seguenti caratteristiche:

- sistema chiuso;
- idonea pavimentazione per la pulizia ed il recupero degli eventuali reflui;
- sistemi di gestione atti ad evitare la dispersione eolica del materiale.
- presidio ambientale per abbattimento delle polveri.

Nel caso di trattamento aerobico, se il prodotto finale sfuso non viene trasferito agli utilizzatori in un periodo di tempo sufficientemente breve, potrebbe rendersi necessario uno stoccaggio al coperto. Specialmente nella stagione invernale, le precipitazioni ripetute rischiano di bagnare eccessivamente e dilavare il prodotto finale.

Tuttavia, è elemento da tenersi in considerazione anche il rischio che il prodotto maturo, stoccato per lungo tempo all'aperto, possa essere contaminato da semi di piante infestanti trasportati dai venti. Nella progettazione di una stazione di trattamento aerobico, si ritiene comunque ragionevole prevedere un'area di stoccaggio destinata al prodotto finale di almeno 3 mesi di produzione.

Nel caso di **digestione anaerobica**, il biogas prodotto, contenente circa il 50-60% di metano, viene depurato e avviato al reparto di produzione di energia (elettrica e/o termica), che è in parte utilizzata per gli autoconsumi dell'impianto ed in parte commercializzata all'esterno sotto forma di energia elettrica o termica.

Il fango digerito viene estratto dalle unità di digestione anaerobica ed inviato al reparto di disidratazione dal quale, attraverso una serie di operazioni di pressatura e di filtrazione, si ottiene una corrente di fanghi a basso contenuto di umidità ed una corrente di reflui di processo. Questi ultimi possono essere in parte riciclati al reparto di preparazione del substrato e per la restante parte avviati all'impianto di depurazione. Il fango digerito e disidratato viene invece avviato alla sezione di stabilizzazione aerobica, che si compone di una prima fase di bioossidazione accelerata e di una successiva post-maturazione.

Il prodotto ottenuto viene avviato al reparto di raffinazione per l'eliminazione di quelle impurezze che potrebbero comprometterne il successivo utilizzo.

Nell'impianto è presente normalmente un reparto per lo stoccaggio sia dei prodotti commercializzabili, che degli scarti da inviare allo smaltimento finale.

Le *zone di rispetto* rappresentano quelle aree interposte tra la stazione di trattamento ed eventuali insediamenti o punti sensibili presenti nelle vicinanze dell'impianto.

Esistono specifici strumenti normativi regionali e nazionali che stabiliscono le distanze di sicurezza minime cui attenersi nella realizzazione di una stazione di trattamento biologico, rispetto ai diversi obiettivi sensibili (es. abitazioni, insediamenti produttivi, corsi d'acqua, etc.).

E.4.2 Stoccaggio

La ricezione e tutte le aree di accumulo di matrici ad alta putrescibilità (RU indifferenziati o residui, frazioni di lavorazioni intermedie o finali ad elevata contaminazione da organico) devono essere:

- realizzate al chiuso;
- dotate di pavimento in calcestruzzo impermeabilizzato;
- dotate di opportuni sistemi di aspirazione e trattamento delle arie esauste;
- dotate di sistema di raccolta degli eventuali percolati.

Deve essere redatto un piano di pronto intervento in caso di incendio.

Le strutture confinate per lo stoccaggio in ingresso dei materiali ad elevate fermentescibilità (sili, trincee coperte, vasche, ecc) vanno diversificate per tipologia di biomassa e dimensionate su un minimo di 2 giorni ed un massimo di 5 giorni (onde evitare estesi fenomeni putrefattivi); le strutture di ricezione e stoccaggio vanno rese accessibili mediante portali ad apertura e chiusura rapida.

La ricezione e tutte le aree di accumulo di rifiuti a bassa putrescibilità (frazioni secche derivanti da raccolta differenziata, frazioni di lavorazioni intermedie o finali a bassa contaminazione da organico quali metalli, inerti, RU essiccati o bioessiccati) devono essere:

- realizzate almeno sotto tettoia o all'aperto in cassoni chiusi;
- dotata di pavimentazione realizzata in asfalto o in calcestruzzo;
- dotata di sistemi di raccolta delle acque di lavaggio delle aree stesse.

Tutte le aree di accumulo, nelle quali sia prevista la presenza non episodica di operatori, devono essere realizzate in modo tale da essere facilmente lavabili.

Tutte le aree di accumulo temporaneo (non a scopo di processo biologico) di rifiuti ad elevata putrescibilità, nelle quali sia prevista la presenza non episodica di operatori, devono essere liberate e lavate con adeguata frequenza.

E.4.3 Movimentazioni

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

In caso di movimentazione di rifiuti ad elevata putrescibilità con pala gommata o ragno, tutte le aree di manovra devono essere realizzate in calcestruzzo corazzato.

E.4.4 Modalità di realizzazione delle linee di trattamento

Nel caso di trattamento biologico dei rifiuti occorre prevedere appositi accorgimenti impiantistici e tecnologici che sono di seguito riassunti:

- gestione delle fasi di pre-trattamento (lacerazione sacchi, triturazione, miscelazione, vagliatura primaria, ecc.) e trasformazione attiva degli impianti di trattamento aerobico (ACT) in strutture chiuse; vengono considerate strutture chiuse i tunnel, le biocelle/biocontainer, i capannoni tamponati integralmente, i sili, i bioreattori dinamici a cilindro.

- realizzazione di una capacità aggiuntiva di stoccaggio in ingresso per la "quarantena" di biomasse su cui vanno saltuariamente eseguiti accertamenti analitici per l'accettazione o i programmi di miscelazione (es. fanghi biologici);
- per la parte di scarto alimentare adozione di sistema di pre-trattamento (macchinario di trito-miscelazione o lacerasacchi) che eviti la frammentazione di eventuali inerti vetrosi (sfibratori a basso numero di giri/minuto, quali macchinari a coclee, a denti, a coltelli, ecc.);
- collegamento automatico della ventilazione e/o della movimentazione della massa al sistema di monitoraggio delle condizioni di processo; possibilità di monitoraggio a distanza (es. con rete GSM o internet);
- possibilità, in fase attiva, di modulazione delle portate d'aria specifiche in relazione ai riscontri di processo, o almeno nelle diverse sezioni (corrispondenti a biomassa a diversi stadi di maturazione);
- adozione di un sistema di aerazione forzata della biomassa anche in fase di maturazione;
- riutilizzo preferenziale delle arie aspirate dalle sezioni di ricezione e pre-trattamento per l'ambientalizzazione delle sezioni di bioossidazione attivo e/o per l'insufflazione della biomassa; il bilancio complessivo tra arie immesse ed estratte dalle sezioni di bioossidazione attivo deve comunque essere negativo, con saldo netto pari ad almeno 3 ricambi/ora;
- previsione, a monte del sistema di biofiltrazione degli odori, di un sistema di lavaggio ad acqua delle arie esauste;
- per impianti di dimensione medio-grande e grande (superiori a 50-100 tonnellate/die in ingresso alla sezione di bioconversione) ed in siti a forte sensibilità (topograficamente contigui ad abitazioni sparse od aggregate, indicativamente entro i 500 metri) tunnel, biocelle, biocontainer e altri sistemi a bioreattore confinato vanno preferibilmente dislocati all'interno di edifici chiusi onde captare le emissioni in fase di carico/scarico; alternativamente, si può prevedere l'allestimento di una apposita area di carico dei biocontainer (se mobili) all'interno degli edifici adibiti alla ricezione e pre-trattamento;
- chiusura delle aree di processo anche per la fase di maturazione, od adozione di sistemi statici semiconfinati (es. mediante teli); tale indicazione diventa tendenzialmente prescrittiva nel caso di localizzazioni critiche (indicativamente, entro i 500 metri) e/o ad alte capacità operative (indicativamente superiori alle 50-100 ton/die in ingresso alla sezione di bioconversione);
- svolgimento al chiuso delle operazioni di vagliatura, per il contenimento delle emissioni acustiche e la dispersione eolica; in questo caso non è necessaria l'aspirazione ed il trattamento odori delle arie esauste, mentre può essere valutata la predisposizione di sistemi di aspirazione localizzata con abbattimento delle polveri (es. tramite filtro a maniche).
- previsione, in fase attiva, della aerazione forzata della biomassa, per aspirazione e/o insufflazione;
- dimensionamento del sistema di ventilazione nella prima fase di trasformazione non inferiore ad una portata specifica media continuativa (ossia tenendo conto dei tempi eventuali di spegnimento) di 15 Nmc/h*ton. di biomassa (tal quale);
- previsione di tempi di spegnimento non superiori a 30 minuti ;
- predisposizione di strumenti di controllo del processo, con dotazione almeno di sonde termometriche;
- predisposizione di sistemi per l'inumidimento periodico della biomassa, in particolare nella fase attiva;
- altezza del letto di biomassa in fase attiva non superiore a 3 metri (con tolleranza del 10%) per sistemi statici; non superiore a 3,5 metri (con tolleranza del 10%) per sistemi dinamici.

Il "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Industries" di riferimento in particolare prevede:

a) nel caso di digestione anaerobica

- una stretta integrazione tra il sistema di trattamento dei rifiuti e il sistema di trattamento delle acque di processo;
- il massimo riutilizzo delle acque di processo all'interno del reattore;
- la realizzazione delle condizioni di termofilia durante il processo di digestione anaerobica;
- la misurazione sui flussi in ingresso e in uscita dei livelli di: TOC, COD, N, P, Cl;
- la massimizzazione della produzione di biogas;

b) nel caso di trattamento aerobico:

- l'utilizzo di reattori chiusi;
- il non instaurarsi di condizioni anaerobiche, controllando il processo mediante l'insufflazione di aria (attraverso un circuito a ciò dedicato) e adattando l'aerazione alla reale attività di degradazione biologica;
- l'efficace utilizzo delle acque di processo;
- l'isolamento termico della copertura dell'aria di maturazione;
- la minimizzazione della produzione di gas esausti a livelli di 2500 – 5000 Nm³/ton di rifiuto;
- l'alimentazione uniforme dei rifiuti;
- riutilizzo delle acque di processo o dei residui fangosi all'interno del processo stesso al fine di limitare i reflui liquidi;
- la continua caratterizzazione delle caratteristiche dei rifiuti e il monitoraggio di parametri quali le portate e i volumi di massa.

E.4.5 Manutenzione

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

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

E.4.6 Accorgimenti per limitare la diffusione di rifiuti negli ambienti di lavoro

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

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

E.4.7 Limitazione delle emissioni

Generalità

Gli impianti di trattamento meccanico – biologico devono essere eserciti in modo da non produrre emissioni dannose all’ambiente esterno e all’ambiente di lavoro, in particolare:

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

Non si devono, inoltre, produrre:

- infestazioni di insetti e roditori
- condizioni dannose alla salute negli ambienti di lavoro

Il BREF di riferimento suggerisce di ridurre le emissioni derivanti dal trattamento meccanico – biologico ai seguenti livelli:

Tabella. 44: Livelli di riduzione delle emissioni nei gas esausti

	Concentrazione nei gas esausti
Emissioni osmogene ouE/m ³	<500 – 6000
NH ₃	<1-20 mg/Nm ³
VOC	7-20 ¹ mg/Nm ³
PM	5-20 mg/Nm ³
¹ Per bassi carichi di VOC il limite superiore può essere esteso a 50	

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

Emissioni di polveri

Nelle fasi di processo in cui è prevista l’emissione di polveri (pre- trattamenti, post – trattamenti), occorre prevedere:

- ricambi d’aria degli ambienti chiusi in cui si svolgono le operazioni di trattamento;
- sistemi di aspirazione concentrata (cappe collocate su salti nastro, tramogge di carico e scarico, vagli, copertura con appositi carter di macchine e nastri, ecc).

Deve essere, inoltre, assicurato un numero di ricambi d’aria adeguato alla intensità delle emissioni ed alla presenza di operatori all’interno del capannone, variabile da 2 a 4.

L’aria aspirata con entrambi i sistemi deve essere trattata con filtri a tessuto aventi caratteristiche tali da assicurare un’efficienza di abbattimento pari ad almeno il 98% delle emissioni in ingresso; in ogni modo devono essere definiti:

- tipo di tessuto (polipropilene o feltro poliestere)
- max velocità di attraversamento (1,25 mc/mq.min)

Va, inoltre, prevista:

- la pulizia automatica delle maniche
- l’evacuazione delle polveri tramite contenitori a tenuta
- la caratterizzazione delle polveri raccolte al fine di individuare le modalità di smaltimento più adeguate

Limitazione delle emissioni odorose

Le emissioni di odori sono di norma connesse alla presenza di sostanze organiche allo stato liquido e solido nei rifiuti trattati. Vanno utilizzati i sistemi di abbattimento degli odori il cui dimensionamento è stato già ampiamente descritto nel paragrafo E 2.3.

Limitazione delle emissioni liquide

Gli impianti devono essere dotati di un sistema di raccolta delle acque di scarico in cui sono distinte:

- la raccolta ed il trattamento delle acque di processo
- la raccolta ed il trattamento delle acque sanitarie
- la raccolta ed il trattamento delle acque di prima pioggia
- la raccolta ed il trattamento o il recupero delle acque meteoriche

In ogni caso deve essere valutata la possibilità di riuso delle acque usate (ad esempio acque degli scrubber per la depolverazione precedente i filtri biologici).

Le acque di lavaggio delle aree di accumulo di rifiuti e le acque di processo (percolati) devono essere raccolte in un sistema fognario indipendente da quello delle acque meteoriche e inviate a depurazione in loco o a opportuni serbatoi o vasche di stoccaggio provvisorio, provvisti di bacino di contenimento a norma di legge, per il successivo invio ad un impianto di depurazione centralizzato.

Le acque di prima pioggia (corrispondenti ai primi 5 mm di precipitazione) cadenti sulle superfici coperte e sulle superfici scoperte e impermeabilizzate all'interno della recinzione dell'impianto devono essere raccolte in apposite vasche e inviate a depurazione dopo analisi del tipo di inquinanti contenuti.

Le acque provenienti dagli impianti sanitari devono essere inviate all'impianto di depurazione centralizzato o depurate in loco, nel rispetto della normativa vigente (D. Lgs. 152/99).

Produzione dei rifiuti

Occorre limitare la quantità di rifiuti, tenendo presente che occorre trovare un punto di equilibrio tra la necessità di ottenere materiali rispondenti a specifici standard di qualità più facilmente allocabili sul mercato e l'efficienza dell'impianto in termini di rendimento di separazione e di recupero. Va evidenziato che piccoli incrementi di qualità dei materiali possono richiedere l'utilizzo di apparecchiature più complesse, aumentando i costi di trattamento ed i consumi di energia.

I principali tipi di rifiuti generati sono:

- gli inerti che dovranno essere inviati in discarica;
- il CDR che sarà utilizzato per il recupero energetico;
- il biogas (nel caso di trattamento anaerobico) che dovrà essere impiegato a fini energetici;
- i fanghi (nel caso di trattamento aerobico) che dovranno essere destinati a un circuito di recupero (anche integrato con un successivo trattamento aerobico – vedi paragrafo F) e/o all'utilizzo energetico;
- i sovralli.

Limitazione della produzione dei rumori

Per quanto riguarda, nello specifico, la limitazione delle emissioni di rumori è necessario, preliminarmente, individuare tutte le possibili sorgenti (comprese le sorgenti casuali) e le posizioni sensibili più vicine a tali sorgenti. Al fine di limitare i rumori è necessario acquisire, per ogni sorgente principale di rumore, le seguenti informazioni :

- posizione della macchina nella planimetria dell'impianto
- funzionamento (continuo, intermittente, fisso o mobile)
- ore di funzionamento
- tipo di rumore
- contributo al rumore complessivo dell'ambiente

E' anche necessario eseguire campagne di misure, e mappare i livelli di rumore nell'ambiente. Dopo l'acquisizione di tutte le informazioni necessarie vanno individuati i provvedimenti da attuare. Tutte le macchine devono essere messe a norma e devono essere dotate di sistemi di abbattimento dei rumori, in particolare i triturator primari. I livelli sonori medi sulle 8 ore del turno lavorativo non devono superare gli 80 dB (A) misurate alla quota di 1,6 m dal suolo e a distanza di 1 m da ogni apparecchiatura.

Le macchine che superano i limiti previsti dalle norme devono essere insonorizzate. All'esterno dei capannoni devono essere verificati livelli di rumore inferiori a quelli ammessi dalla zonizzazione comunale, normalmente inferiori a 60 dB.

Limitazione delle infestazioni

La buona conduzione degli impianti sono la prima condizione per la riduzione del pericolo di infestazioni da insetti e roditori. La gestione dell'impianto deve prevedere campagne di disinfezione e disinfestazione con frequenza adeguata all'incidenza dei casi riscontrata.

Possono essere previsti sistemi automatici di disinfezione e/o disinfestazione, nelle ore notturne, con irradiazione di prodotti abbattenti per insetti (mosche) in particolare sulle aree di ricezione e sulle fosse rifiuti. Occorre comunque verificare che i prodotti usati non compromettano la qualità dei prodotti recuperati.

E.4.8 Sicurezza e prevenzione degli infortuni

I principali problemi legati alla prevenzione degli infortuni nell'ambito degli impianti di trattamento meccanico – biologico riguardano i macchinari in uso. Sia le macchine operatrici (es. triturator, pale meccaniche, rivoltatrici, nastri trasportatori ecc.) che le attrezzature fisse (es. separatori balistici, mulini, vagli, presse, ecc.) devono essere dotate dei requisiti di sicurezza stabiliti dalle norme vigenti. Particolare attenzione dovrà essere rivolta alla schermatura degli organi meccanici rotanti dotati di elevata velocità di movimento. In particolare, gli organi fresanti delle macchine volta-cumuli, devono impedire l'eiezione di pietre o altri corpi contundenti eventualmente presenti nel materiale in corso di movimentazione. Gli operatori dovranno poi avere a disposizione i sistemi di protezione standard (es. occhiali, guanti, mascherine, calzature rinforzate), di volta in volta previsti per lo svolgimento in sicurezza delle mansioni cui sono destinati.

Anche il fuoco può rappresentare, in talune circostanze, un problema da tenere in considerazione nella gestione degli impianti di trattamento biologico. Se il materiale in trasformazione è mantenuto entro i livelli di umidità appropriata per il processo, i rischi di combustione spontanea sono limitati, specialmente presso gli impianti in cui il trattamento dei materiali avviene all'aperto. Tuttavia, se le matrici organiche in corso di stabilizzazione vanno incontro ad una eccessiva disidratazione, peraltro in cumuli di grandi dimensioni, l'autocombustione può diventare un rischio serio. Questo fenomeno avviene solitamente quando lo stadio termofilo del processo provoca la rapida diminuzione dell'umidità del substrato entro valori compresi tra il 25 ed il 45 %. A questo punto, nella parte interna dei cumuli con altezza largamente eccedente i 3,5 m, il calore può innescare reazioni chimiche che portano alla combustione spontanea del substrato. Insieme, il controllo del contenuto di umidità e della temperatura entro i limiti ottimali per il trattamento aerobico e l'allestimento di cumuli di dimensioni compatibili con il corretto svolgimento delle reazioni di trasformazione costituiscono il sistema di prevenzione più efficace nei confronti dei fenomeni di autocombustione. La presenza di un adeguato sistema antincendio è comunque obbligatoria per ogni stazione di trattamento biologico.

E.5 Migliori tecniche di gestione degli impianti di trattamento meccanico - biologico

Prima di iniziare l'esercizio dell'impianto è necessario che il gestore abbia dimostrato di avere approntato 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.

Nelle procedure operative di gestione e di manutenzione il criterio guida deve essere quello di minimizzare il contatto diretto degli operatori con i rifiuti, la loro permanenza in ambienti in cui sono presenti polveri e/o sostanze potenzialmente dannose per la salute, le operazioni di intervento manuale sulle macchine ed apparati tecnologici.

E.5.1 Piano di gestione operativa

In fase di esercizio gli impianti di selezione 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.

Per predisporre un adeguato piano di gestione operativa è consigliabile individuare procedure e controlli in funzione delle differenti fasi che caratterizzano il processo di trattamento.

Una fase comune a tutti gli impianti di selezione è quella del controllo dei rifiuti in ingresso. Tale controllo deve verificare la presenza e la corretta compilazione dei documenti di accompagnamento oltre alla corrispondenza dei documenti di accompagnamento e rifiuti mediante controllo visivo. Il conduttore dell'impianto deve sorvegliare il rispetto da parte del trasportatore delle norme di sicurezza, dei segnali di percorso e delle accortezze per eliminare i rischi di rilasci e perdite di rifiuti; in fase di scarico, inoltre, gli eventuali materiali non conformi devono essere allontanati e depositati in area dedicata.

Nelle procedure operative di gestione e di manutenzione il criterio guida deve essere quello di minimizzare il contatto diretto degli operatori con i rifiuti, la loro permanenza in ambienti in cui sono presenti polveri e/o sostanze potenzialmente dannose per la salute, le operazioni di intervento manuale sulle macchine ed apparati tecnologici.

E.5. 2 Programma di sorveglianza e controllo (PSC)

Nell'ambito delle BAT va individuata la predisposizione ed adozione di un programma di sorveglianza e controllo, previsto, peraltro, in alcune leggi regionali a carico di tutti gli impianti di gestione dei rifiuti finalizzato a garantire che :

1. tutte le sezioni impiantistiche assolvano alle funzioni per le quali sono progettate in tutte le condizioni operative previste,
2. vengano adottati tutti gli accorgimenti per ridurre i rischi per l'ambiente ed i disagi per la popolazione,
3. venga assicurato un tempestivo intervento in caso di incidenti ed adottate procedure/sistemi che permettano di individuare tempestivamente malfunzionamenti e/o anomalie nel processo produttivo,
4. venga garantito l'addestramento costante del personale impiegato nella gestione,
5. venga garantito alle autorità competenti ed al pubblico l'accesso ai principali dati di funzionamento, ai dati relativi alle emissioni, ai rifiuti prodotti, nonché alle altre informazioni sulla manutenzione e controllo, inclusi gli aspetti legati alla sicurezza,
6. vengano adottate tutte le misure per prevenire rilasci e/o fughe di sostanze inquinanti,
7. venga garantita la qualità dei rifiuti trattati.

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 ISO 9001 per le specifiche determinazioni indicate nel provvedimento autorizzativo.

I contenuti del PSC devono essere correlati, per quanto di competenza, con quelli del Piano di gestione.

Il PSC deve, inoltre, contenere i piani e le modalità esecutive dei controlli relativi a:

- controlli e verifiche in punti prestabiliti all'interno del ciclo di trattamento per verificarne il corretto funzionamento in ogni fase
- controlli all'esterno dell'impianto sia dell'aria che del suolo utilizzando eventualmente anche indicatori biologici con modalità e caratteristiche proporzionali ai risultati attesi;
- verifica delle concentrazioni degli scarichi idrici a monte e a valle dell'impianto per il trattamento delle acque di scarico.

Di seguito si riportano alcune tabelle che individuano in via generalizzata e a titolo esemplificativo fasi e tipi di controlli.

Tabella 45: Descrizione dei controlli di ogni fase del trattamento meccanico – biologico.

FASE		DESCRIZIONE - CONTROLLI
Stoccaggio rifiuti		I rifiuti urbani indifferenziati vengono scaricati nell'area dedicata (stoccaggio su pavimento a raso o in fossa). L'operatore prima delle successive lavorazioni deve assicurare che tra i rifiuti in ingresso non vi siano materiali indesiderati; qualora tali materiali fossero presenti deve provvedere a rimuoverli e a depositarli in apposita area. Il controllo del prodotto è di tipo visivo. L'area di stoccaggio è mantenuta in depressione mediante aspirazione d'aria con un numero minimo di 3 ricambi per ora. L'operatore deve verificare il funzionamento del sistema di aspirazione della zona di stoccaggio del materiale. In caso di necessità è opportuno prevedere la possibilità di intervenire sulle portate aspirate. L'alimentazione delle linee di processo è effettuata mediante sistemi su carroponte o con pala meccanica.
Triturazione		I rifiuti vengono movimentati dall'area di stoccaggio fino al trituratore-aprisacco; qualora per la movimentazione venga utilizzato un nastro a velocità variabile l'operatore deve regolare adeguatamente la portata e controllare la lavorazione. Il trituratore lacera i sacchi pieni e tritura il materiale in essi contenuto. Il trituratore deve essere dotato di sistemi automatici di arresto ed eventuale eliminazione dei materiali non triturabili.
Vagliatura		Effettuata la triturazione il materiale viene movimentato fino al vaglio. Il vaglio dà origine a due differenti flussi di materiali: frazione umida a prevalente matrice organica; frazione secca (sovvallo). Tali flussi vengono poi movimentati fino all'area di caricamento o di ulteriore trasformazione. L'operatore controlla l'eventuale ostruzione dei fori del vaglio. E' opportuno prevedere la possibilità di estrarre (mediante ulteriore vaglio o utilizzo di vagli a più sezioni con differente foratura) anche materiali fini ($\Phi < 20 \text{ mm}$)
Deferrizzazione, stoccaggio materiali ferrosi e caricamento per riutilizzo		Mediante separatore magnetico la frazione secca e quella umida vengono private della loro componente ferrosa, che viene raccolta in un apposito volume di stoccaggio. L'operatore deve controllare giornalmente il livello di riempimento dello stoccaggio e qualora sia pieno provvedere a mandare il materiale a recupero.
FRAZIONE UMIDA	TRATTAMENTO MECCANICO – BIOLOGICO	Controllo del processo: Fermi restando i criteri generali per la regolare gestione degli impianti destinati al trattamento di rifiuti, il corretto svolgimento dei trattamenti viene garantito monitorando con opportuna tempistica i rifiuti, al momento del conferimento e durante il trattamento, e i prodotti finali secondo quanto indicato nelle tabelle successive. Metodiche analitiche In riferimento ai parametri indicati nelle tabelle successive si rimanda alle metodiche analitiche previste dalla normativa vigente in materia.
Disinfestazione		Deve essere previsto un idoneo programma di disinfestazione per l'eliminazione di eventuali mosche, ratti o altri animali.
Acque di percolazione		Le acque di percolazione provenienti dalla zona di stoccaggio del materiale in lavorazione devono essere convogliate mediante apposita rete nella vasca di raccolta del percolato. Successivamente devono essere inviate ad impianti di depurazione mediante autobotte o trattate in sito. Deve essere monitorato giornalmente il livello di riempimento del sistema di accumulo.
Controllo odori		Nelle aree di potenziale generazione di odori deve essere installato un sistema di aspirazione che provveda a ricambiare l'aria; l'aspirazione dall'interno garantisce inoltre la necessaria depressione per evitare la propagazione dei cattivi odori verso l'esterno. L'operatore deve verificare il funzionamento del ventilatore. L'aria estratta viene mandata al biofiltro e all'eventuale torre di lavaggio per essere depurata. L'operatore deve provvedere ad un'accurata manutenzione del biofiltro garantendone il necessario grado di umidità.
Controllo gas di scarico e rumore		L'operatore deve provvedere a far tenere accesi i motori dei mezzi in lavorazione e scarico per il tempo strettamente necessario.

Tabella 46: Principali parametri analitici da monitorare: biostabilizzazione e bioessiccazione

Fase di processo	Tipo di controllo	Frequenza del controllo
Rifiuto in ingresso	Controllo visivo dell'eventuale presenza di rifiuti non classificabili come urbani (ingombranti, sanitari, pericolosi, speciali non assimilabili, ecc.)	Ad ogni conferimento
	Caratterizzazione merceologica	Semestrale
	Determinazione del rapporto C/N, dell'umidità e della densità del rifiuto	Mensile o nel caso di manifesto cambiamento della tipologia del rifiuto
Pretrattamenti	Controllo dell'eventuale presenza di rifiuti di dimensioni grossolane (dopo l'eventuale triturazione, prima dell'avvio alla selezione)	In continuo
Rifiuto in via di trattamento	Misurazione di temperatura, tenore di O ₂ o CO ₂ ,	Quotidiano/settimanale
	Misurazione dell'indice di respirazione statico o dinamico sulla biomassa in via di stabilizzazione e/o bioessiccazione	3 - 4 volte/anno alla fine della fase di bioossidazione
	Caratterizzazione dimensionale (dopo l'eventuale triturazione, prima dell'avvio alla selezione)	Semestrale
Prodotto in uscita	Misurazione di umidità sul biostabilizzato e/o bioessiccato	Da settimanale a mensile
	- Determinazione dell'indice di respirazione statico o dinamico - Determinazione dei parametri previsti dalla legge	3 - 4 volte/anno sul prodotto finale

Tabella 47: Principali parametri analitici da monitorare: digestione anaerobica

Fase di processo	Tipo di controllo	Frequenza del controllo
Avviamento	Alimentazione TS, TVS, TCOD Reattore TS, TVS, TCOD, pH alcalinità, VFA	Alimentazione 1 volta settimana Reattore 2 volte alla settimana per i parametri di massa, 3 volte per i parametri di controllo
Condizioni di regime	Alimentazione TS, TVS, TCOD Reattore TS, TVS, TCOD, pH alcalinità, VFA	Alimentazione 1 volta settimana Reattore 1 volta alla settimana per i parametri di massa, 2 volte per i parametri di controllo

Tabella 48: Parametri per le misure on line – digestione anaerobica

Parametro	Obiettivo	Indicazioni di progetto
Temperatura	Monitorare le condizioni ambientali e il regime termico del digestore	Normalmente vengono utilizzate termocoppie interfacciate opportunamente in modo da poter inviare il segnale a quadro. Per la misura della temperatura interna al digestore deve essere prevista la possibilità di utilizzare un punto di campionamento rappresentativo della temperatura media interna
Pressione	Monitorare la sovrappressione interna al digestore	Deve essere utilizzata una sonda piezometrica adatta a resistere alle caratteristiche del biogas ed alla temperatura di esercizio del digestore
Portata del biogas	Parametro indispensabile per i bilanci di massa e per il controllo del processo	Deve essere utilizzato uno strumento in grado di misurare affidabilmente un intervallo di portata anche esteso al fine di garantire la misura anche nelle condizioni di avviamento e di transiente
	Parametri indispensabili per il controllo del processo e per la gestione della caldaia e del gruppo di cogenerazione	Possono essere utilizzati strumenti in linea basati su misure ad infrarossi ovvero determinazioni off-line attraverso analisi gas-cromatografica

Tabella 49: Parametri contenuti nelle tabelle di marcia, di gestione e monitoraggio del processo di digestione anaerobica

	Parametro	Unità di misura	Tecnica di acquisizione
Parametri Fisici	Temperatura esterna	°C	Termocoppia
	Temperatura reattore	°C	Termocoppia
	Pressione reattore	mm c.a.	Sonda piezometrica
Parametri linea gas	Portata	m ³ /d, m ³ /h	Misuratore flangia tarata
	% CO ₂	%	Sonda IR, gascromatografia
	% CH ₄	%	Sonda IR, gascromatografia
	%H ₂ S	%	Gascromatografia
Parametri alimentazione reattore	TS	g/kg	Gravimetria
	TVS	g/kg	Gravimetria
	STS	g/kg	Gravimetria
	SVS	g/kg	Gravimetria
	TCOD	gO ₂ /kg	Digestione e retrotitolazione
	SCOD	gO ₂ /kg	Digestione e retrotitolazione
	TOC	%, g/kg	Analisi elementare
	pH		Strumentale
	TA(6), TA(4)	GCaCO ₃ /l	Titolazione
	Anioni (PO ₄ , SO ₄ , Cl, Br, NO ₂ , ecc)	ppm	Cromatografia ionica
	Catoni (NH ₄ , Ca, Mg, ecc)	ppm	Cromatografia ionica
	Metalli pesanti	ppm	Assorbimento atomico, ICP
	Microinquinanti	ppm, ppb	Tecniche specifiche

Tabella 50: Parametri contenuti nelle tabelle di marcia, di gestione e monitoraggio del processo di digestione anaerobica

Parametro	Definizione	Determinazione	Unità di misura
Linea gas			
GP	Produzione di gas	GP/V_r	m^3/d
GPR	Velocità di produzione di gas	GPR/OLR	$m^3/m^3_{reattore}d$
SGP	Produzione specifica di gas	$GPR/SOLR$	$m^3/kg\ TVS_f$
SGP*	Produzione specifica di biogas rispetto alla biomassa	$GP \times CH_4\%$	$m^3/(kg\ TVS_f, TVS_r)$
MP	Produzione di metano	$GP \times CH_4\%$	$m^3\ CH_4/d$
MPR	Velocità di produzione di metano	$GPR \times CH_4\%$	$m^3\ CH_4/m^3_{reattore}d$
SMP	Produzione specifica di metano	$SGP \times CH_4\%$	$m^3\ CH_4/kg\ TVS_f$
SMP*	Produzione specifica di metano rispetto alla biomassa	$SGP \times CH_4\%$	$m^3\ CH_4/(kg\ TVS_f, TVS_r)$
Alimentazione e reattore			
TVS/TV			%
STS/SVS			%
SCOD/TCOD			%
TCOD/TVS			
TA(4) – TA(6)			$GCaCO_2/l$
HRT	Tempo di ritenzione idraulico	V_r/Q_f	d
OLR	Carico organico	$Q \times TVS_f/V_r$	$KgTVS/m^3d$
SOLR	Carico organico specifico	$Q \times TVS_f/(V_r \times TVS_r)$	$KgTVS/kgTVS_r d$
RR	Rapporto di ricircolo		%

E.5.3 Strumenti di gestione ambientale

Personale

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

Benchmarking

Risulta opportuno analizzare e confrontare, con cadenza periodica, i processi, i metodi adottati e i risultati raggiunti, sia economici che ambientali, con quelli di altri impianti e organizzazioni che effettuano le stesse attività.

Certificazione

Le attività connesse con la gestione dell'impianto e le varie procedure operative che le regolamentano devono far parte di un apposito manuale di gestione al quale il gestore dell'impianto dovrà attenersi. E' necessario attivare le procedure per l'adozione sistemi di gestione ambientale (EMS) nonché di certificazione ambientale (ISO 14001) e soprattutto l'adesione al sistema EMAS.

Sistemi di supervisione e controllo

Per gli impianti che trattano elevate quantità di rifiuti, tutti i sistemi, gli apparati e le apparecchiature costituenti l'impianto devono essere sottoposte ad un efficiente ed affidabile sistema di supervisione e controllo che ne consenta la gestione in automatico.

Comunicazione e consapevolezza pubblica

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

- la diffusione periodica di rapporti ambientali;
- la comunicazione periodica a mezzo stampa locale;
- la distribuzione di materiale informativo;
- l'apertura degli impianti per le visite del pubblico;
- la diffusione periodica dei dati sulla gestione dell'impianto.

E.5.4 Aspetti di pianificazione e gestione

Ubicazione dell'impianto

La scelta del sito deve essere effettuata sulla base di valutazioni comparative tra diverse localizzazioni che tengano in considerazione tutti gli aspetti logistici, di collegamento con le diverse utenze e con gli impianti di destinazione dei materiali da recuperare o con gli impianti di smaltimento nonché di impatto ambientale.

Aree industriali dismesse o quelle destinate agli insediamenti industriali, dalle pianificazioni urbanistiche dei Comuni costituiscono la collocazione più idonea per gli impianti.

Nel luogo di insediamento dell'impianto i disagi dovuti agli eventuali impatti negativi riconducibili all'attività di trattamento dei rifiuti organici dovrebbero risultare il più possibile circoscritti, sia per quanto riguarda le emissioni maleodoranti che l'inquinamento acustico. In particolare, il sistema di trattamento prescelto dovrà essere adattato alle caratteristiche del luogo (o viceversa), con specifico riferimento sia alle sistemazioni superficiali per il corretto drenaggio delle acque meteoriche, sia alle misure di prevenzione nei confronti di ogni forma di inquinamento.

Ai fini dell'individuazione delle aree idonee devono essere acquisite tutte le informazioni bibliografiche e cartografiche relative alle caratteristiche geolitologiche, geomorfologiche,

idrogeologiche, vincolistiche, ecc. del territorio in esame, da integrare eventualmente con indagini di campo.

Altri aspetti, di natura territoriale e socioeconomica, che intervengono successivamente nella scelta delle aree selezionate, sono:

- presenza di rilevanti beni storici, artistici, archeologici;
- la distribuzione della popolazione;
- la distribuzione delle industrie sul territorio.

Trasporti e collegamento al sistema viario

Deve essere garantito un collegamento viario idoneo al transito dei mezzi per il conferimento dei rifiuti e per l'allontanamento dei residui.

Il conferimento dei rifiuti mediante ferrovia, se fattibile dal punto di vista tecnico-economico, è da privilegiare.

Al fine di ridurre i costi di trasporto e l'impatto sull'ambiente è necessario prevedere l'impiego di autocarri con la massima portata utile; di conseguenza è necessario verificare la disponibilità di strade adeguate.

F. IDENTIFICAZIONE DI EVENTUALI TECNICHE ALTERNATIVE E DEFINIZIONE OVE POSSIBILE DEL RANGE DI PRESTAZIONE

Il fatto che, a fronte del consolidamento del ruolo del trattamento aerobico, anche la digestione anaerobica stia ottenendo sempre maggiore attenzione tra le tecnologie per il trattamento dei rifiuti solidi organici, come evidenziato nei paragrafi precedenti, ha invogliato, in particolare in questi ultimi anni, sempre più i progettisti ad esaminare le possibili integrazioni dei due processi al fine di ottimizzarne i rispettivi pregi e minimizzarne gli svantaggi (Piccinini S. et al., 2001).

I principali vantaggi e svantaggi dei due processi possono essere così sintetizzati:

- la digestione anaerobica produce energia rinnovabile (biogas) a fronte del trattamento aerobico che consuma energia;
- gli impianti anaerobici sono in grado di trattare tutte le tipologie di rifiuti organici indipendentemente dalla loro umidità, a differenza del trattamento aerobico che richiede un certo tenore di sostanza secca nella miscela di partenza;
- gli impianti anaerobici sono reattori chiusi e quindi non vi è rilascio di emissioni gassose maleodoranti in atmosfera, come può avvenire durante la prima fase termofila del trattamento aerobico;
- nella digestione anaerobica si ha acqua di processo in eccesso che necessita di uno specifico trattamento, mentre nel trattamento aerobico le eventuali acque di percolazione possono essere riciclate come agente umidificante sui cumuli in fase termofila;
- gli impianti di digestione anaerobica richiedono investimenti iniziali maggiori rispetto a quelli di trattamento aerobico;
- la qualità del digestato, in uscita dalla digestione anaerobica, comporta un uso agronomico diverso rispetto al prodotto ottenuto dal trattamento aerobico.
- l'integrazione dei due processi può portare dei notevoli vantaggi, in particolare:
 - si migliora nettamente il bilancio energetico dell'impianto, in quanto nella fase anaerobica si ha in genere la produzione di un surplus di energia rispetto al fabbisogno dell'intero impianto;
 - si possono controllare meglio e con costi minori i problemi olfattivi; le fasi maggiormente odorigene sono gestite in reattore chiuso e le "arie esauste" sono rappresentate dal biogas (utilizzato e non immesso in atmosfera). Il digestato è già un materiale semi-stabilizzato e, quindi, il controllo degli impatti olfattivi durante il post-compostaggio aerobico risulta più agevole;
 - si ha un minor impegno di superficie a parità di rifiuto trattato, pur tenendo conto delle superfici necessarie per il post-compostaggio aerobico, grazie alla maggior compattezza dell'impiantistica anaerobica;
 - si riduce l'emissione di CO₂ in atmosfera (Kubler H. et al., 1999) da un minimo del 25% sino al 67% (nel caso di completo utilizzo dell'energia termica prodotta in cogenerazione); l'attenzione verso i trattamenti dei rifiuti a bassa emissione di gas serra è un fattore che assumerà sempre più importanza in futuro.

Nella Figura 17 si riporta, a titolo di esempio, un possibile schema di ciclo di trattamento integrato anaerobico/aerobico di rifiuti organici (Gruppo di lavoro CITEC, 2000).

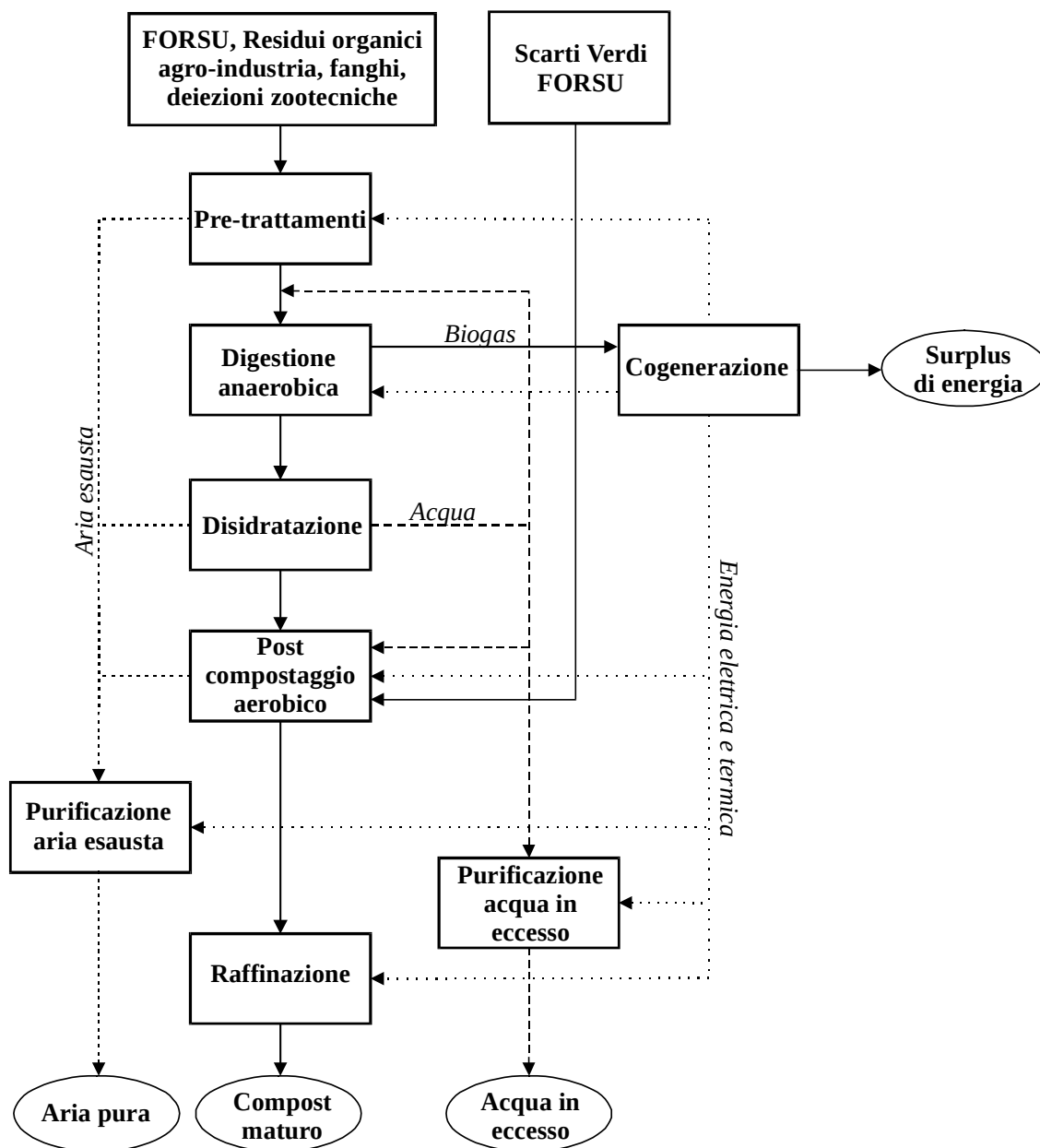


Figura 17: Schema del ciclo di trattamento integrato anaerobico/aerobico

L'inserimento della digestione anaerobica, secondo lo schema di Figura 20, risulta interessante anche per tutti quegli impianti di compostaggio che, alla luce dell'incremento delle raccolte differenziate secco/umido, si trovano nella necessità di aumentare la capacità di trattamento dell'umido.

G. DEFINIZIONE (SULLA BASE DELL'APPROFONDIMENTO E DELL'ESTENSIONE DELLE ANALISI SVOLTE IN SEDE COMUNITARIA) DELLA LISTA DELLE MIGLIORI TECNICHE PER LA PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO DELLO SPECIFICO SETTORE IN ITALIA

L'adozione delle B.A.T. per gli impianti di trattamento meccanico biologico riguardano miglioramenti nell'efficienza ambientale, ma anche di rendimento economico delle attività di che trattasi.

La loro definizione ha come scopo principale di fornire alle autorità preposte il riferimento su cui valutare compiutamente le richieste di autorizzazione integrata in campo ambientale in ambito IPPC. Al tempo stesso, esse possono risultare di aiuto anche agli operatori essendo sottinteso che di esse occorre tenere in dovuto conto, ove applicabili, in sede di predisposizione della richiesta di autorizzazione.

Le varie tematiche di interesse sono state sviluppate, per quanto possibile, in modo sequenziale, analizzando le tecniche secondo la sequenza di trattamenti che caratterizzano un impianto di trattamento meccanico – biologico. Tutte le migliori tecniche sono state ampiamente discusse nel paragrafo E2.

Nella tabella che segue vengono sinteticamente illustrate le BAT per ciascuna tipologia di impianto trattato.

Tabella. 51: Individuazione delle BAT

Conferimento e stoccaggio dei rifiuti all'impianto
1. Caratterizzazione preliminare del rifiuto. • caratteristiche chimico-fisiche, • classificazione del rifiuto e codice CER, • modalità di conferimento e trasporto. 2. Modalità di accettazione del rifiuto all'impianto. • Programmazione delle modalità di conferimento dei carichi all'impianto. • Pesatura del rifiuto • Annotazione del peso lordo da parte dell'ufficio accettazione. 3. Congedo automezzo. • Bonifica automezzo con lavaggio ruote. • Sistemazione dell'automezzo sulla pesa. • Annotazione della tara da parte dell'ufficio accettazione. • Congedo dell'automezzo. • Registrazione del carico sul registro di carico e scarico. Occorre inoltre prevedere: • Strutture di stoccaggio con capacità adeguata sia per i rifiuti da trattare sia per i rifiuti trattati • Mantenimento di condizioni ottimali dell'area di impianto • Adeguati isolamento e protezione dei rifiuti stoccati • Minimizzazione della durata dello stoccaggio, • Installazione di adeguati sistemi di sicurezza ed antincendio • Minimizzazione delle emissioni durante le fasi di movimentazione e stoccaggio

Trattamento meccanico - biologico • Movimentazione ed alimentazione dei rifiuti • Idoneo posizionamento degli operatori addetti alla movimentazione • Disponibilità di spazio per i rifiuti rimossi (e.: ingombranti) • Pre – trattamenti (triturazione/lacerazione/sfibratura, miscelazione, demetallizzazione vedi par.D3.2) • Trattamento di biostabilizzazione o di digestione anaerobica della frazione organica secondo le procedure indicate in D3.3 ed E2. • Post – trattamenti di raffinazione del prodotto stabilizzato con processo aerobico (vagliatura, classificazione densimetrica, demetallizzazione) • Post – trattamenti di raffinazione del prodotto stabilizzato con processo anaerobico (produzione e depurazione del biogas, disidratazione fanghi, stabilizzazione e raffinazione del fango digerito) • Controllo di qualità dei rifiuti trattati • Stoccaggio/Utilizzo dei prodotti finali
Trattamento delle emissioni gassose • Adeguata individuazione del sistema di trattamento • Consumi energetici compresa la valutazione • Abbattimento delle polveri • Riduzione degli odori mediante l'utilizzo di appositi presidi ambientali individuati nei paragrafi D.4 ed E2.3
Trattamento dei reflui prodotti nell'impianto • Impiego di sistemi di trattamento a minor produzione di effluenti • Massimizzazione del ricircolo delle acque reflue • Raccolta separata delle acque meteoriche pulite • Adeguati sistemi di stoccaggio ed equalizzazione • Impiego di sistemi di trattamento chimico-fisico • Trattamento biologico delle acque reflue
Caratterizzazione dei residui solidi • Individuazione delle migliori tecniche di smaltimento e/o recupero dei residui • Rimozione degli inerti dagli scarti del separatore aeraulico • Recupero degli inerti • Disidratazione dei fanghi della digestione anaerobica, loro stabilizzazione e stoccaggio/riutilizzo
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
Strumenti di gestione ambientale • Sistemi di gestione ambientale (EMS) • Certificazioni EN ISO 14001 • EMAS
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 via Internet

H . ANALISI DELL'APPLICABILITA' AD IMPIANTI ESISTENTI DELLE TECNICHE DI PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO ELENcate AL PUNTO PRECEDENTE

H.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;
- La presenza di vincoli di carattere tecnico;

Occorre ricordare che le prestazioni conseguibili con le BAT, siano esse di tipo ambientale che energetico, sono riferite a medie annuali. I campi di prestazioni riportati al paragrafo E2 non sono pertanto riferiti a eventi eccezionali od occasionali dell'impianto, ma riflettono invece l'incidenza che i suddetti fattori possono avere nell'applicazione di una specifica BAT in diversi contesti.

H.1.1 Le dimensioni dell'impianto

Si può senza dubbio affermare che l'economia di scala non consente agli impianti di taglia ridotta di ottenere, a parità di costo unitario, le stesse prestazioni ambientali, a causa dell'influenza negativa del fattore di scala. Questo può rendere alcune tecniche difficilmente applicabili.

H.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.

H.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 aree esterne nel caso di un impianto di trattamento a cumuli in aia potrebbe richiedere l'utilizzo di una differente tecnologia per effettuare il trattamento meccanico biologico aerobico. Anche la vicinanza a una zona densamente popolata deve essere tenuta debitamente in considerazione, soprattutto con riferimento alle emissioni odorigene.

H.1.4 Le caratteristiche dei rifiuti trattati.

La conoscenza approfondita delle matrici in ingresso agli impianti di trattamento meccanico biologico è di estrema importanza, sia per preparare una miscela iniziale idonea, sia per orientare la qualità del prodotto in uscita dall'impianto.

Infatti, dalla tabella successiva si evidenziano i parametri del compost (inteso come prodotto finale) influenzati dalla biomassa trattata. Altri parametri sono invece regolati dalla corretta conduzione del processo.

La tipologia del rifiuto in ingresso influenza notevolmente il tipo di tecnologia più adatta per la realizzazione del trattamento meccanico – biologico bisognerà perciò avere una conoscenza esatta della composizione del rifiuto.

H 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.

H.2 Interventi per l'applicazione delle BAT

Per l'adeguamento del sistema impiantistico nazionale ai dettami della direttiva IPPC possono essere individuati due tipi di interventi:

- Interventi di carattere operativo gestionale, caratterizzati da tempi di realizzazione e costi relativamente ridotti, nonché vantaggi prestazionali accettabili per impianti che sono praticamente già in linea o quasi con la futura normativa;
- Interventi ristrutturativi, che prevedono il rifacimento, più o meno esteso, di qualche sezione dell'impianto individuata come critica e che comportano tempi di realizzazione (indicativamente dell'ordine dei 24 mesi) con maggiori impegni economici.

Nella valutazione della scelta delle migliori tecniche si deve, anche, tener presente che potrebbe risultare difficoltoso adottarne alcune (es. sostituire un processo tecnologico con un altro) in impianti esistenti.

Tutte le tecniche legate ad aspetti gestionali individuate al paragrafo E.5 devono essere, invece, sempre introdotte al fine di garantire elevati livelli di tutela dell'ambiente e della salute umana.

I FATTIBILITÀ ECONOMICA DELLE TECNICHE ELENcate ANALIZZATA ATTRAVERSO ANALISI COSTI-BENEFICI

I.1 Considerazioni economiche di carattere generale sugli impianti di trattamento meccanico biologico

Gli impianti di trattamento meccanico – biologico sono caratterizzati da valori specifici dei costi di investimento e di gestione variabili in un campo molto ampio, in conseguenza dei numerosi fattori che concorrono alla sua definizione.

I 1.1 Costi di investimento e di gestione per impianti di trattamento aerobico

Di seguito si descrivono le principali voci del costo di gestione di un impianto tipo di selezione meccanica di RU, produzione di CDR e compostaggio della frazione umida.

L'analisi si riferisce ai seguenti dati di base:

- Potenzialità di trattamento dell'impianto: 120.000ton/anno (pari a circa 400 t/g) di rifiuti urbani
- Prodotti derivanti dal trattamento (in media e riferiti al peso dei materiali entranti):
 - CDR-fluff 30% pari a 36.000 t/y
 - Frazione organica stabilizzata (compost grigio) 15% 18.000 t/y
 - Ferro (+ alluminio) 3% pari a 3.000 t/y
 - Residui di lavorazione igienizzati 25% pari a 30.000 t/y

I costi dell'impianto sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 52: Costi di un impianto di trattamento biologico

Investimenti	
Immobilizzazioni	I_1
Acquisto macchine operatrici	I_2
Totale investimenti	$\Sigma_i I_i$
Costi di gestione ordinaria	
Spese per il personale	C_{g1}
Costi tecnici di produzione	C_{g2}
Manutenzioni, riparazioni e acquisti ricambi	C_{g3}
Prestazioni di terzi	C_{g4}
Costi amministrativi e finanziari	C_{g5}
Totale parziale	$\Sigma_i C_{gi}$
Spese generali: 20% di $(\Sigma_i I_i + \Sigma_i C_{gi})$	S_g
Costo totale di gestione ordinaria	$\Sigma_i C_{gi} + S_g$
Ammortamento finanziario degli investimenti	A_α^5
Costo di esercizio globale dell'impianto tecnologico CT	$\Sigma_i C_{gi} + S_g + A_\alpha$
Costo unitario del trattamento tecnologico (€/t)	CT/Q

E' evidente che 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.

Non è possibile, quindi, dare delle indicazioni generalmente valide per i costi suddetti.

⁵ La formula dell'ammortamento è: $A_\alpha = c \Sigma_i I_i$ dove $c = (1+t)^{n-1}/(1+t)^n$, con t = tasso % di interesse e n = numero anni di ammortamento.

Si riportano di seguito (tabella 53) dati di riferimento delle grandezze in gioco, per impianti da 400 ton/g:

Tabella. 53: Valori del costo totale di gestione ordinaria di impianti di trattamento biologico 400 ton/g.

RIPARTIZIONE PERCENTUALE DEI COSTI DI GESTIONE DI UN IMPIANTO DI TRATTAMENTO MECCANICO/BIOLOGICO (400 Ton/GG.)			
Voci di costo	Lire /anno	€	% sul totale
Spese per il personale	1.750.000.000	903.800	22
Costi tecnici di produzione	605.000.000	312.456	8
Manutenzione riparazioni ricambi acquisti	1.020.000.000	526.786	13
Prestazioni di terzi	480.000.000	247.899	6
Costi amministrativi e finanziari	304.000.000	157.003	4
TOTALE PARZIALE	4.159.000.000	2.147.944	52
Spese generali alea e utili di gestione (20%)	831.800.000	429.589	10
COSTO TOTALE GESTIONE ORDINARIA	4.990.800.000	2.577.533	63
Ammortamento finanziario degli investimenti	2.947.000.000	1.521.998	37
COSTO DI ESERCIZIO GLOBALE DELL'IMPIANTO TECNOLOGICO	7.937.800.000	4.099.532	100

Quindi il costo unitario del trattamento tecnologico è:

costo di esercizio globale impianto ML/y (7.937.800.000)/ potenzialità di trattamento impianto t/y (120.000) = 66.150 L/t – 34.163 €/t

I.1.2 Costi di investimento e di gestione per impianti di trattamento anaerobico

Non sono disponibili dati relativi ai costi di investimento e di gestione per impianti di trattamento anaerobico.

J. DEFINIZIONE DEI CRITERI DI INDIVIDUAZIONE E UTILIZZAZIONE DELLE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI

J.1 La definizione di BAT

J.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;

J.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.

J.1.3 Fattibilità tecnico-economica

Le tecniche prescelte devono essere affidabili e deve essere garantita la qualità dei sistemi e delle apparecchiature utilizzate. I costi di investimento, esercizio e manutenzione devono essere sostenibili. Le analisi costi-benefici devono aver dato prova positiva.

J.1.4 Processo decisionale per l'individuazione delle BAT

Per l'individuazione di una BAT occorre mettere in atto un processo decisionale che sulla base dei dati disponibili sulla tecnica in esame e della specifica applicazione, tenuto conto dei fattori locali e degli aspetti summenzionati possa portare ad una valutazione della sua applicabilità.

J.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.

J.2.1. Impiego di tecniche a scarsa produzione di rifiuti

Le tecniche adottate nei processi di trattamento meccanico biologico dei rifiuti devono essere tali da minimizzare la produzione dei rifiuti e la loro pericolosità.

Queste tecniche devono tendere ad ottenere come prodotto finale un rifiuto stabilizzato.

Le tecniche devono limitare anche la produzione di rifiuti non direttamente collegati al processo, ma all'esercizio dell'impianto nel suo insieme, come parti di impianto sostituite, fanghi, reflui, ecc..

Inoltre devono essere affrontate le problematiche legate allo stoccaggio, carico, trasporto e scarico dei rifiuti prodotti.

J.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.

J.3 Tecniche per il ricupero/riciclo delle correnti in uscita al processo e dei rifiuti

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:

- la produzione ed il riutilizzo del biogas
- la produzione ed il riutilizzo del biostabilizzato
- l'utilizzo del CDR a fini di recupero energetico
- utilizzo dei fanghi da inviare a successivo circuito di recupero e/o utilizzo energetico
- il riciclo delle acque di scarico per usi interni all'impianto.

J.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).

J.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 del trattamento biologico dei rifiuti.

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

J.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.

J.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.

J.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.

J.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.

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

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

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

J.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

- European IPPC Bureau (a cura di) "Best Available Techniques Reference Document for the Waste Treatments Industries", August 2005
- CITEC (2002), *"Linee guida per la progettazione, realizzazione e gestione degli impianti a tecnologia complessa per lo smaltimento dei rifiuti urbani"*, Ed. Hyper
- APAT/Osservatorio Nazionale sui Rifiuti "Rapporto Rifiuti 2004", dicembre 2004
- APAT/Osservatorio Nazionale sui Rifiuti "Rapporto Rifiuti 2005", dicembre 2005
- APAT/ONR *"Il trattamento anaerobico dei rifiuti. Aspetti progettuali e gestionali"* (2002)
- APAT *"Metodi di misura della stabilità biologica dei rifiuti"*
- (2003)APAT/ONR *" Il recupero di sostanza organica dai rifiuti per la produzione di ammendanti di qualità"* (2002).
- Regione Lombardia – Deliberazione di Giunta Regionale n. 7/12764 del 16.04.2003 *"Linee guida relative alla costruzione e all'esercizio degli impianti di produzione di compost – Revoca della D.g.r. 16 luglio 1999, n. 44263"*
- Regione Sicilia – Presidenza Commissario Delegato per l'emergenza rifiuti e la tutela delle acque – O.P.C.M. n. 2983 del 31.05.1999 *"Linee guida per la progettazione, la realizzazione e la gestione degli impianti di compostaggio"*.
- Regione Basilicata (2002): *Linee guida per la progettazione, la costruzione e la gestione degli impianti di compostaggio e di stabilizzazione*.
- Regione Campania (2002) - *Criteri e linee guida per l'utilizzo della frazione organica stabilizzata-Comitato tecnico ex ordinanza Commissariale n.058/2002*.
- Regione Puglia Bollettino ufficiale Puglia n.135 del 23/10/2002 (pag. 9978-5.4.2 *Opzione 2-Produzione di RBM e FSC-2.B Trattamento di biostabilizzazione primaria*).
- S. Piccinini – *Il compostaggio in Italia* – Maggioli Editore – Marzo 2002.
- G. Lissens, P. Vandevivere, L. De Baere, E.M. Bley, W. Vestraete (2001), *"Solid waste digestors: process performance and practice for municipal solid waste digestion"*, Water Science and Technology, vol. 44, n. 8, 91-102

GLOSSARIO

Definizioni

Ammendante

Prodotto atto al miglioramento delle proprietà fisiche, meccaniche e biologiche del terreno. Può essere di natura organica, minerale o sintetica. Gli ammendanti sono commercializzati in Italia secondo i criteri individuati dalla Legge n.748/84 e succ. modd.

Bioconversione

L'insieme dei processi biologici, effettuati da microrganismi aerobici ed anaerobici, di trasformazione del materiale organico sottoposto al trattamento biologico.

Biossidazione

Rappresenta la prima fase del processo di compostaggio con decomposizione delle molecole organiche più facilmente degradabili e formazione di composti intermedi parzialmente trasformati. In questa fase l'intesa attività microbica causa un elevato consumo di ossigeno ed un innalzamento della temperatura. Al termine di questa fase il carico di fermentescibilità del materiale organico è significativamente ridotto.

Biostabilizzazione

Processo biossidativo termofilo che si differenzia dal compostaggio per l'impiego di matrici non selezionate, come i rifiuti urbani indifferenziati, o selezionate a valle (frazione organica da selezione meccanica). Il processo può essere finalizzato alla sola riduzione della fermentescibilità senza fase di maturazione (biostabilizzato tradizionale) oppure alla produzione di biostabilizzato per impieghi con finalità agronomiche.

Biostabilizzato da discarica

Prodotto della biostabilizzazione condotta in condizioni aerobiche con la sola fase di biossidazione, senza maturazione. La matrice di partenza può essere rifiuti urbani indifferenziati, tal quali o selezionati meccanicamente mediante vagliatura per il trattamento della sola frazione umida di sottovaglio. Il prodotto ottenuto ha una fermentescibilità residua ridotta e può essere utilizzato esclusivamente come terra di copertura giornaliera delle discariche.

Compost da rifiuti o Compost Grigio

Biostabilizzato simile al compost ma proveniente dal trattamento meccanico-biologico che comprende la fase di maturazione di rifiuti urbani a basso grado di purezza merceologica. Tale matrice è sottoposta ad una vagliatura, che può avvenire prima del processo oppure in una fase intermedia o finale.

Compostaggio

Processo biossidativo termofilo ed esotermico che avviene in condizioni controllate a carico di matrici organiche in fase solida.

Esso evolve attraverso due fasi (biossidazione e maturazione) e porta alla produzione di acqua, anidride carbonica, calore e compost.

Digestione anaerobica

Bioconversione di sostanza organica effettuata in assenza di ossigeno, finalizzata alla produzione di biogas e di frazione organica residua parzialmente stabilizzata, e comunque soggetta a spontanee trasformazioni in ambiente aerobico.

Fermentescibilità

Attitudine di una matrice organica a subire reazioni biologiche con liberazione di energia (calore) e di metaboliti di varia natura, solitamente solubili, che rappresentano i materiali di partenza per l'umificazione.

Frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU)

Matrice organica putrescibile ad elevata umidità, proveniente dalla raccolta differenziata dei rifiuti urbani e costituita da residui alimentari, ovvero scarti di cucina. La raccolta avviene di norma da utenze selezionate e da utenze domestiche mediante modelli di gestione riconducibili al sistema porta a porta o all'utilizzo di specifici contenitori stradali.

Granulometria

Caratteristiche dimensionali delle particelle costituenti un materiale quale il compost. La granulometria generalmente viene indicata in mm.

Igienizzazione

Disattivazione degli agenti patogeni per l'uomo e per le colture e dei semi vitali nelle matrici organiche in corso di trasformazione.

L'igienizzazione avviene per autoriscaldamento naturale provocato dall'attività microbica soprattutto durante la biossidazione.

Impianto

Insieme delle strutture ed attrezzature che costituiscono l'unità operativa in grado di gestire un'attività di compostaggio.

Matrice organica

Prodotto costituito prevalentemente da sostanza organica di origine naturale (animale o vegetale), la cui tipologia sia facilmente identificabile e riconoscibile: scarti della manutenzione del verde, letame, fanghi, frazione organica dei rifiuti solidi urbani, scarti colturali, etc.

Maturazione

Nei processi biologici la maturazione segue la fase di biossidazione e consiste in una lenta trasformazione della sostanza organica, nel corso della quale avviene l'umificazione.

Raffinazione

Operazione di nobilitazione del compost al termine della fase di maturazione. La raffinazione consente di raggiungere il grado di pulizia prefissato e può avvenire per vagliatura, riduzione della granulometria, deferrizzazione, classificazione aerea, etc..

Stabilizzazione

Perdita permanente della biodegradabilità, della fermentescibilità e della fitotossicità della sostanza organica indotta dal compostaggio.

Vagliatura

Operazione che consente di separare le particelle di un compost in classi granulometriche differenti secondo le diverse dimensioni. La vagliatura normalmente è un'operazione necessaria per la raffinazione del compost e può avvenire con vagli diversi per caratteristiche tecnologiche.

Abbreviazioni e acronimi

ACT = Active Composting Time

CDR = Combustibile da Rifiuto

CEN = Comitato Europeo Normatore

C/N = rapporto Carbonio/Azoto

die = giorno

D.Lgs. = Decreto Legislativo

EMAS = Eco-Management and Audit Scheme

EN = Norma Europea

FORSU = Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani

gg = giorni

G.U.C.E. = Gazzetta Ufficiale Comunità Europea

ISO = International Standardization Organisation

Nm³ = normal metro cubo

RU = Rifiuti Urbani

UNI = Ente Nazionale Italiano di Unificazione

FOP = frazione organica putrescibile

IR= Indice di Respirazione

OLR = carico organico (kg SV/m³ x d)

Q = portata (m³/d)

PCI= Potere Calorifico Inferiore

RF = raccolta alla fonte

RS = raccolta separata

RSU= Rifiuto Solido Urbano

SGP = produzione specifica di gas (m³/kg SV alim)

SM = selezione meccanica

ST = solidi totali (g/kg FOP)

SV = solidi volatili (g/kg FOP; %TS)

SVT = solidi totali volatili (g/kg FOP)

TB= Trattamento Biologico

TMB= Trattamento Meccanico-biologico

VFA, TVFA = acidi grassi volatili (gAcH/m³)