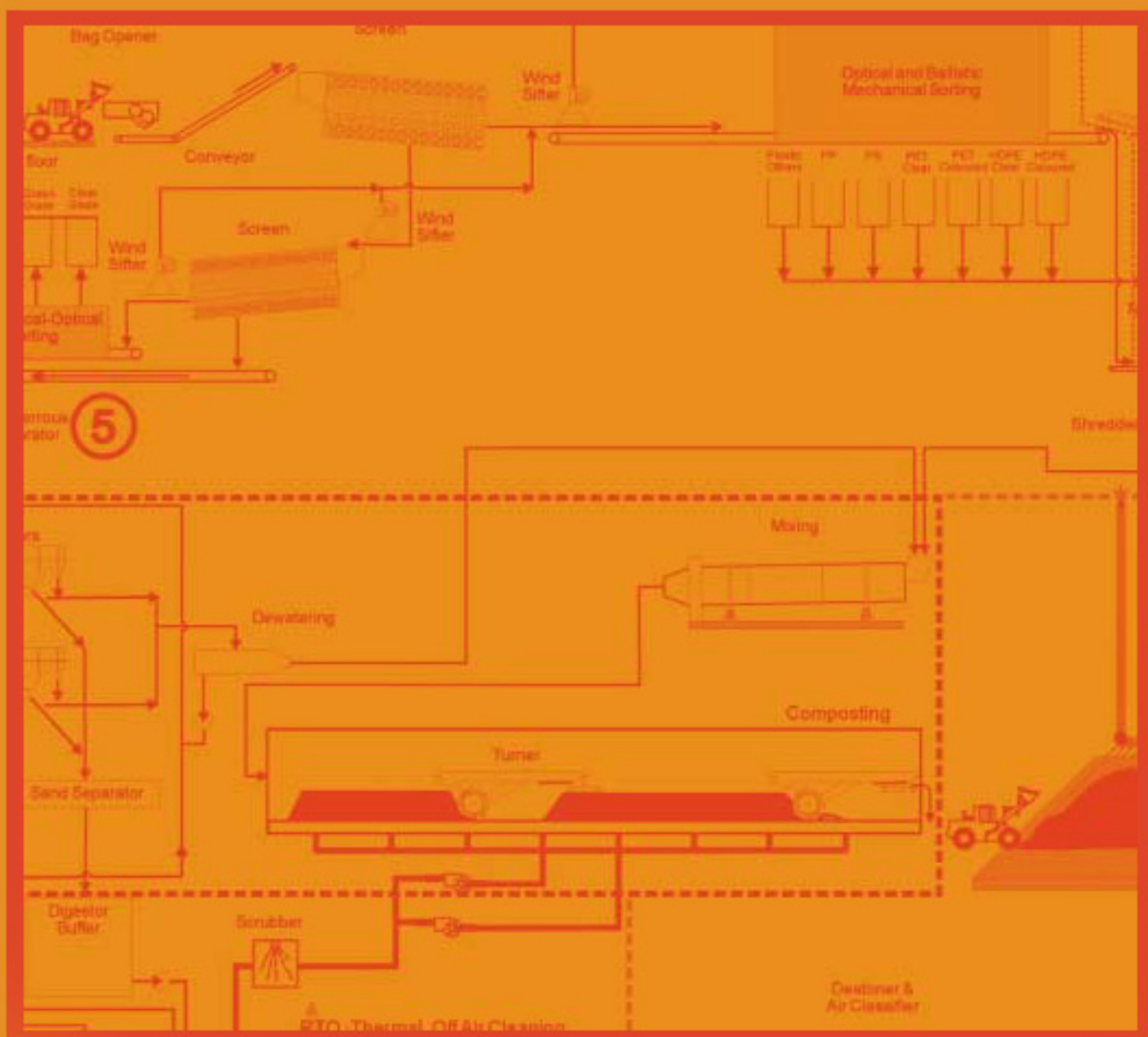


GESTIONE DEI RIFIUTI A FREDDO

STATO DELL'ARTE DELLE TECNICHE ALTERNATIVE
ALL'INCENERIMENTO PER I RESIDUI DEI RIFIUTI URBANI

MBT



PRESENTAZIONE

”GESTIONE A FREDDO DEI RIFIUTI.

Lo stato dell’arte delle alternative all’incenerimento per la parte residua dei rifiuti municipali”

Nell’ambito delle iniziative legate alla **Quarta Giornata Mondiale contro l’Incenerimento dei Rifiuti**, promossa dalla coalizione mondiale GAIA, la **Rete Nazionale ”Rifiuti Zero”** e **Greenpeace Italia** pubblicano la traduzione del rapporto di Greenpeace Gran Bretagna *”GESTIONE A FREDDO DEI RIFIUTI. Lo stato dell’arte delle alternative all’incenerimento per la parte residua dei rifiuti municipali”*.

La traduzione e’ stata curata da **Nadia Simonini** del Comitato Ambiente e Salute di Galliciano (LU), con la collaborazione di **Rossano Ercolini**, di Ambiente e Futuro e di **Vittoria Polidori**, responsabile della campagna inquinamento di Greenpeace Italia.

Il rapporto, pubblicato nel febbraio del 2003, dimostra attraverso una aggiornata e dettagliata descrizione tecnica che a completamento di sistemi di riduzione all’origine e di capillare raccolta differenziata può operare un impianto di trattamento degli scarti residui (TMB - **Trattamento Meccanico Biologico**) in grado di recuperare circa il 70% dei materiali in ingresso.

In altre parole, con sistemi di intercettazione tecnologici ampiamente disponibili sul mercato si possono recuperare i metalli, la carta, il vetro, le plastiche consentendo un trattamento anaerobico-aerobico della frazione organica. Quest’ultima, prima di essere stabilizzata, produce biogas sottoposto a recupero energetico per alimentare l’impianto stesso e per la produzione di calore e di energia elettrica a terzi.

In questo modo in discarica vi andrà non più del 30% della frazione residua formato da inerti, pellicole di plastica (anch’esse teoricamente recuperabili), e materiali organici stabilizzati la cui potenzialità inquinante e’ ridotta del 90%. Questa filiera di trattamento, molto meno inquinante dei processi di incenerimento che comunque prevedono il ricorso a discariche per la collocazione di scorie e ceneri tossiche per circa il 30% dei rifiuti bruciati, presenta capacità di recupero di flussi di energia e soprattutto di materiali estremamente significative. Lo stesso quadro di “emissioni di CO₂ evitate” non ha confronti con altre modalità di trattamento e di smaltimento. Inoltre, la collocazione in discarica di ciò che non e’ recuperabile riguarda rifiuti con potenzialità di percolazione e di emissione di fastidiosi odori non paragonabili a discariche per rifiuti tal quali.

Un impianto simile a quello qui descritto e’ entrato in funzione nel 2004 a Sidney, in Australia (UR-3R FACILITY-www.wsn.com.au) a riprova della fattibilità di un’impiantistica che anche nella fase del trattamento dei residui e’ in grado di massimizzare il recupero di preziose risorse. E ciò con costi molto inferiori rispetto agli inceneritori.

Semmai, anche sulla scorta di osservazioni di Paul Connett, occorrerebbe che questo impianto fosse dotato di un Centro di ricerca che una volta individuati oggetti, materiali e imballaggi inquinanti e non riciclabili spingesse i produttori a progettazioni alternative in grado di ridurre ancor più il ricorso alla discarica (rifiuti zero entro il 2020).

RETE NAZIONALE RIFIUTI ZERO

GREENPEACE ITALIA

7 settembre 2005

Riassunto

Lo scopo di questo studio è di valutare la fattibilità di un sistema di gestione dei rifiuti residuali che non preveda alcun processo di trattamento termico. Lo studio comprende una rassegna dei sistemi di trattamento meccanico biologico (TMB) e dei loro potenziali effetti.

I sistemi di trattamento meccanico biologico non sono nuovi. Nelle loro forme più primitive, li possiamo considerare come una evoluzione di base rispetto agli impianti di compostaggio di rifiuti indifferenziati (di solito fallimentari) di due decenni fa. Tuttavia, il potenziale di integrare sistemi basati sul trattamento biologico di frazioni degradabili con tecniche di separazione meccanica sempre più efficienti è uno sviluppo più recente, come lo è la tendenza di cercare di impiegare tecniche di digestione per la fase di trattamento biologico, invece che trattamenti aerobici.

Nel sistema proposto, che indubbiamente potrà essere migliorato, abbiamo suggerito che le tecniche di separazione meccanica che operano sui rifiuti residui (per esempio quelli che rimangono dopo la raccolta differenziata) possano estrarre frazioni riciclabili di vetro, plastiche dense, alluminio, acciaio, come pure una certa quantità di carta, cartone e di pellicole di plastica. Per gli ultimi due tipi di materiali, potrebbero non esserci grosse prospettive di utilizzo sul mercato, sebbene la carta e il cartone possano essere usate nel compostaggio aerobico.

Lo scopo è quello di pulire la parte residuale, attraverso la rimozione di materiali utili, per lasciare una frazione di rifiuti biologici, che altrimenti essendo contaminata da materiali non catturati il sistema non riuscirebbe a riciclare. Nel nostro processo, questo materiale viene poi sottoposto ad una fase di digestione, prima di venir stabilizzato attraverso trattamenti aerobici (e qui la carta e il cartone estratto potrebbero essere re-introdotti se non c'è mercato per questi materiali). E' possibile estrarre da questo materiale una frazione fine, che sarebbe adatta

ad applicazioni di basso livello, ma che non dovrebbe essere usata su terreni agricoli.

Questo sistema, che genera all'incirca la stessa quantità di energia di quella che impiega (per cui l'erogazione netta di energia sarebbe zero), funziona bene se paragonato ad altri sistemi di trattamento dei rifiuti residui, nonostante il fatto che altri trattamenti possano erogare più energia. In effetti, un bilancio dei gas serra mostra proprio il buon funzionamento di un tale sistema, perché l'enfasi è tanto (se non di più) sui materiali, quanto sull'energia.

Nel peggior scenario, questo tipo di sistema richiede che sia conferito in discarica ancora meno di un terzo di ciò che viene prodotto. Tuttavia il materiale destinato alla discarica è relativamente inerte, se confrontato ai rifiuti non trattati. E' ridotto il potenziale di generare metano, odori e percolato, quest'ultimo meno pericoloso di quello proveniente da altri materiali quando vengono messi in discarica. Anche le proprietà di ingegneria sono diverse, osservando meno problemi per quanto riguarda i cedimenti di assestamento (sebbene il materiale abbia bisogno di piccoli aggiustamenti quando viene posto in discarica).

Questo impianto non fornisce un'alternativa alla raccolta differenziata. La qualità dei materiali estratti, in particolare delle frazioni di carta e cartone e di quelle organiche (che entrambe sono componenti importanti del flusso di rifiuti non differenziati), è infatti più bassa rispetto a quella che si ottiene attraverso la raccolta differenziata. Il trattamento TMB fornisce un sostegno a questo sistema. Messo a fianco di un sistema di raccolta differenziata spinta, calcoliamo che un'amministrazione locale, che producesse 200.000 tonnellate di rifiuti, dovrebbe inviarne in discarica circa il 15% del totale. In altre parole, una "diversione" (*un dirottamento dalla discarica*) dell'85% è del tutto fattibile senza alcun bisogno di ricorrere a trattamenti termici.

Introduzione

Il trattamento Meccanico Biologico non è una tecnologia nuova, ma è stata quasi completamente trascurata in Gran Bretagna. Finché Greenpeace non pubblicò il suo “Blue Print” sulla gestione dei rifiuti nell’ottobre 2001, coloro che gestivano i rifiuti e i politici erano virtualmente unanimi nell’insistere che ciò che non poteva essere riciclato doveva essere seppellito o bruciato. Prevalsa la credenza, giustificata riferendosi ad una “gerarchia dei rifiuti” rozza e ipersemplicità, che bruciare era l’opzione preferibile. Il risultato fu letteralmente che decine di nuovi inceneritori furono proposti attraverso il Regno Unito.

Adesso la situazione è cambiata. C’è una consapevolezza molto maggiore degli impatti ambientali degli inceneritori e questo, insieme alla loro scarsa popolarità, ha portato ad un aumentato interesse per le tecnologie alternative di trattamento dei rifiuti residui. Quando Greenpeace pubblicò il suo “Blue Print”, l’interesse per i trattamenti meccanici biologici fu subito forte. Ma fu presto chiaro che i gestori dei rifiuti volevano ulteriori dettagli, particolarmente sui costi e sugli impatti ambientali. Questo rapporto risponde a quelle domande.

Naturalmente, i TMB non sono una scatola magica in grado di rimuovere la necessità dello smaltimento finale. Ciò che si ottiene è una forte riduzione sia nella quantità che nella tossicità del rifiuto residuo. Il sistema delineato in questo rapporto, che è progettato per trattare ciò che rimane dopo un’efficace raccolta differenziata, può realizzare tassi di dirottamento dalla discarica che possono sembrare sorprendenti a chi è legato ai vecchi sistemi di gestione dei rifiuti. Alcuni potrebbero essere ugualmente sorpresi dal fatto che i residui non riciclabili del processo vengano inviati in discarica. Greenpeace è contraria alla pratica di conferire in discarica i rifiuti urbani tal quali, tuttavia riteniamo che la miglior opzione ambientale per i rifiuti residuali sia quella di ripulitura e stabilizzazione seguita dalla messa in

discarica. Le analisi dei cicli di vita e dei flussi di materiale in questo rapporto mostrano che i TMB seguiti dall’uso della discarica sono chiaramente preferibili all’incenerimento per quanto riguarda le emissioni tossiche, gli impatti sul clima, la conservazione dei materiali e dell’energia.

Sfortunatamente, in gran parte dei casi a causa dei problemi associati con il riciclo delle plastiche l’uso dei TMB per preparare i rifiuti all’incenerimento è comune in Europa. L’incenerimento trasforma delle materie prime potenziali in inquinanti e li disperde ampiamente e in modo disseminato, per cui non possono più essere recuperati e potenzialmente possono causare grandi danni. Il recupero di un po’ di energia dal processo non mitiga in alcun modo la sua natura fondamentalmente inquinante e dissipatrice. Per questa ragione Greenpeace si oppone all’incenerimento dei rifiuti e si oppone all’uso di TMB per selezionare e asciugare i rifiuti per la loro combustione. Sebbene la preparazione di combustibile possa sembrare un’opzione economicamente preferibile per quei rifiuti prodotti dal trattamento TMB che richiedono la messa in discarica, tuttavia tale approccio cambia interamente le credenziali ambientali del sistema e gli impianti progettati per la preparazione di combustibile da rifiuti non dovrebbero essere confusi con il sistema proposto qui.

Allora la domanda che rimane è “ci possiamo permettere i TMB?” La scomposizione dettagliata dei costi in questo rapporto dovrebbe aiutare coloro che prendono le decisioni a rispondere a questa domanda. Greenpeace concorda con la conclusione degli autori che l’impianto TMB allo stato dell’arte proposto qui, in grado di generare tutta l’elettricità che gli serve e di ridurre la massa di rifiuti che richiedono la messa in discarica nella stessa quantità che fa un moderno inceneritore, sia competitivo nei costi e offra una prestazione ambientale estremamente elevata.

Mark Strutt, Responsabile senior della campagna inquinamento di Greenpeace

INDICE

1.0 Tecniche per il trattamento dei rifiuti residui

- 1.1 Fondamenti del processo di trattamento dei rifiuti residui
 - 1.1.1. Sguardo generale
 - 1.1.2. Trattamento meccanico-biologico (TMB)
 - 1.1.3. Trattamento termico
 - 1.1.4. Discariche–bioreattori e tecniche di incapsulamento
 - 1.1.5. Un caso TMB – Stato dell’arte delle tecnologie
- 1.2 Questo rapporto

2.0 Sguardo generale ai processi TMB

- 2.1 Conferimento dei rifiuti
- 2.2 Preparazione
- 2.3 Tipi di unità di preparazione
- 2.4 Trattamento biologico
 - 2.4.1. Trattamento aerobico (compostaggio)
 - 2.4.2. Digestione anaerobica / fermentazione
 - 2.4.3. Trattamento delle emissioni atmosferiche
 - 2.4.4. Necessità per il personale

3.0 Emissioni in aria derivanti dalla lavorazione in impianti TMB

- 3.1 Anidride carbonica e metano
- 3.2 Ammoniaca NH₃
- 3.3 Sostanze organiche (TOC)
- 3.4 Metano (CH₄)
- 3.5 CFC

4.0 Questioni relative alla progettazione dell’impianto

- 4.1 L’obiettivo
- 4.2 Criteri chiave
- 4.3 Elementi di TMB
 - 4.3.1. sguardo generale
- 4.4 Sviluppo del TMB moderno
 - 4.4.1. progettazione concettuale
 - 4.4.2. locale di ricezione
 - 4.4.3. pre-trattamento del materiale
- 4.5 Prodotti e proprietà dei materiali
 - 4.5.1. prodotto 1
- 4.6 prodotto 2
- 4.7 prodotto 3
- 4.8 prodotto 4

- 4.9 prodotto 5
- 4.10 prodotto 6
- 4.11 prodotto 7
- 4.12 prodotto 8

5.0 Valutazione dei costi

- 5.1 Background
- 5.2 Valutazione
- 5.3 Questioni di scala

6.0 Valutazione della prestazione ambientale

- 6.1 Analisi del flusso di sostanze per materia organica
- 6.2 Trattamento dell’aria
- 6.3 Emissioni in aria
 - 6.3.1. Emissioni in aria dall’impianto
 - 6.3.2. Emissioni in aria dalla discarica
 - 6.3.3. Crediti delle emissioni in aria da materiali riciclabili recuperati
 - 6.3.4. Confronto
- 6.4 Emissioni di acqua
 - 6.4.1. emissioni di acqua dall’impianto
 - 6.4.2. emissioni d’acqua dalle discariche
 - 6.4.3. crediti per emissioni d’acqua dalle cose riciclabili recuperate
- 6.5 Utilizzo di energia e bilancio

7.0 Conclusioni

Appendice 1: Messa in discarica dei residui TMB

Germania

Austria

Italia - bozza di decreto sui materiali bio-stabilizzati

Aspetti chiave della bozza di decreto

Uso di FOS

Ordinanza della Regione Veneto 766/2000

Commissione europea

Emissioni gassose dalle discariche e connessioni con la stabilità

Emissioni di percolato dalle discariche

Caratteristiche fisiche

Sommario dell’Appendice

“Immaginò di osservare la costruzione della Grande Piramide a Gaza – solo che questa era venticinque volte più grande, con dei camion cisterna che spruzzavano acqua profumata lungo le vie d’accesso. Trovò lo spettacolo suggestivo. Tutta questa ingegnosità e lavoro, questo sforzo delicato per accomodare la massima quantità di rifiuti nello spazio che si andava riducendo. Le torri del World Trade Center erano visibili in lontananza e sentiva un equilibrio poetico tra quel idea e questa. I ponti, i tunnel, le chiatte, i rimorchiatori, i bacini di carenaggio, le navi per il trasporto dei container, tutte le grandi opere per i trasporti, il commercio e i collegamenti erano alla fine diretti verso questa struttura culminante. E la cosa era organica, sempre crescente e sempre in modificazione. La sua forma veniva tracciata dal computer ogni giorno e ogni ora. Tra pochi anni sarebbe stata la montagna più alta sulla costa atlantica tra Boston e Miami. Brian avvertì il pungolo dell’illuminazione. Guardò tutta quella montagna di rifiuti che si innalzava e per la prima volta comprese di che cosa si occupava con il suo lavoro. Non si trattava di ingegneria, di trasporti o di riduzione alla fonte. Si occupava del comportamento umano, delle abitudini e degli impulsi della gente, delle loro necessità incontrollabili e dei loro desideri innocenti, forse delle loro passioni, certamente dei loro eccessi e indulgenze, ma anche della loro gentilezza, della loro generosità e il problema era come impedire a questo metabolismo di massa dal sommergerci.”

Don de Lillo, Underworld
(mentre descrive la discarica Fresh Kills a Manhattan)

1.0 Tecniche per il trattamento dei rifiuti residui

Quelle strategie dei rifiuti che vengono sviluppate per raggiungere elevati tassi di riciclaggio, tendono ad essere motivate da obiettivi ambientali. Essendo questa la situazione, una domanda importante è: cosa dobbiamo fare con i rifiuti che restano? Dicendo rifiuti residui ci riferiamo ai rifiuti che rimangono dopo aver attuato le migliori pratiche per la raccolta differenziata.

Nelle strategie di elevata diversione (*dalla discarica*) e in quelle per Rifiuti Zero si cercherà di migliorare continuamente i risultati dei sistemi di raccolta differenziata. E' probabile che, in entrambe le strategie, venga enfatizzata la riduzione dei rifiuti e perciò si dovrebbe osservare nel tempo una quantità calante di rifiuti residuali da mettere in discarica. Questo premia quei trattamenti che siano relativamente flessibili, che non abbiano bisogno di un rifornimento (*per la lavorazione*) costante di materiale e che siano amici dell'ambiente.

Il modo con cui questi rifiuti residuali vengono trattati non è meno importante delle modalità di raccolta differenziata nel determinare la prestazione ambientale di qualsiasi strategia. Ci sono due motivi per questo:

- Ovviamente esistono impatti derivanti dai trattamenti stessi e questi vanno minimizzati e
- La natura del trattamento, e la misura in cui il suo uso implica costi elevati di capitale unitario, determina la misura in cui vengono precluse opzioni per trattare i materiali in maniere più innovative (se non attraverso la prevenzione dei rifiuti stessa)

In questo studio, finanziato da Greenpeace Environmental Trust, è stato chiesto a Eunomia, insieme a TBU Austria di considerare un progetto di trattamento di rifiuti residui valido dal punto di vista ambientale, che non facesse uso di tecnologie con trattamenti termici. Questo riflette il punto di vista per cui il trattamento di rifiuti residui dovrebbe mirare a minimizzare la produzione di materiali tossici.

Negli ultimi anni, Eunomia Research & Consulting ha portato a termine un certo numero di progetti importanti riguardanti la politica e l'economia dei rifiuti. Tra questi, valutazioni di costi esterni di tecnologie di trattamento e la valutazione dell'utilità di approcci basati sui cicli vitali nella valutazione di tecnologie di trattamento dei rifiuti residui.

TBU Environmental Engineering è una ditta di consulenza nel campo dell'ingegneria che ha sede in Austria. La compagnia ha quindici anni di esperienza nelle tecnologie di pre-trattamento e la sua occupazione centrale per circa quindici anni è stata la progettazione e la realizzazione di sistemi di trattamento meccanico biologico.

1.1 Fondamenti del processo di trattamento dei rifiuti residui

1.1.1 Sguardo generale

Lo scopo della maggior parte dei processi di trattamento dei rifiuti residui è di ridurre il volume del materiale in vista dello smaltimento finale e di stabilizzare i rifiuti in modo tale che venga minimizzato il potenziale per la formazione dei gas o per il trasporto degli inquinanti attraverso il percolato.

I sistemi di gestione dei rifiuti residui sono complessi. Si generano una gran varietà di frazioni di rifiuti e sono disponibili molti metodi di trattamento. Nella decade passata, sono state sviluppate molte nuove tecnologie di trattamento, mentre altrettante hanno fallito. Le principali cause di fallimento comprendono:

1. Scarsa conoscenza delle proprietà dei materiali non omogenei forniti.
2. Progettazione non adeguata per flussi di rifiuti proiettati nel contesto di trend di riduzione dei rifiuti.
3. Mancanza di valutazione ambientale di vasta portata e di comprensione degli scambi di emissioni o dei trend nei regolamenti

I quattro tipi principali di trattamento dei rifiuti residuali sono:

- Trattamento Meccanico Biologico (TMB)
- Trattamento Termico (Dai Rifiuti a Energia – DRE)
- Messa in discarica
- Combinazione di TMB e DRE

1.1.2 Trattamento Meccanico Biologico (TMB)

Trattamento Meccanico Biologico (TMB) è un termine che si riferisce a una serie di tecnologie, la maggior parte delle quali sono derivate dal compostaggio dei rifiuti indifferenziati. Lo scopo della parte meccanica del processo è quello di ottimizzare il materiale per la successiva lavorazione mediante separazione (screening, cioè selezione) in un certo numero di flussi. Persino quando si realizza alla fonte la raccolta differenziata di materia organica non contaminata, il rifiuto residuo contiene quantità significative di materiale biologicamente attivo.

1.1.3. Trattamento termico

Si possono distinguere tre processi fondamentali: incenerimento, gassificazione e pirolisi. Tutte queste tecnologie producono residui che richiedono smaltimento, generalmente in discarica. Si sta sempre più rivolgendo l'attenzione al destino a lungo termine di questi residui.

1.1.4. Discariche – bioreattori e tecniche di incapsulamento

La pratica tradizionale di smaltimento dei rifiuti ha fatto assegnamento sulla messa in discarica dei rifiuti solidi. La gestione delle discariche di costruzione moderna è migliorata significativamente nel corso dell'ultima decade. Le due teorie emergenti, fra le migliori tecnologie nella costruzione di questi impianti, sono: discariche incapsulate o "a tomba asciutta" e discariche a bioreattore.

1.1.3 Un caso TMB – Stato dell'arte delle tecnologie

Negli ultimi cinque anni è stato effettuato un certo numero di studi che mostrano come le

tecnologie TMB possono essere una soluzione ambientalmente sostenibile per il trattamento dei rifiuti residuali.

In un lavoro recente di Eunomia et al., le prestazioni dell'approccio TMB risultano favorevoli al confronto con altre tecnologie. In particolare, le prestazioni di inceneritori che lavoravano in base agli attuali standard del Regno Unito e discariche non trattate erano peggiori.¹ Si sono fatte ricerche per conto di BMBF² su processi combinati (trattamento meccanico biologico insieme a varie opzioni per il recupero energetico). Nello studio si notava:

Nel complesso, l'investigazione che è stata presentata chiarisce che le soluzioni combinate (TMB, incenerimento, discariche) possono ottenere risultati ecologicamente equivalenti in confronto alle mono –soluzioni (incenerimento), se vengono migliorati gli standard di TMB, di messa in discarica e del co – incenerimento industriale.

In uno studio effettuato per l'Umweltbundesamt austriaco, che si concentrava sul confronto tra sistemi TMB e opzioni con solo incenerimento, venivano fatte dichiarazioni³ simili. In effetti, lo studio commentava che una decisione netta riguardo a ciò che è meglio non era nell'intenzione dello studio, ma lo scopo era soprattutto vedere quali standard dovrebbero essere posti per i TMB per garantire prestazioni ampiamente equivalenti alle soluzioni con incenerimento. Nolan – ITU condusse uno studio che confrontava le tecnologie di trattamento dei rifiuti residui che comprendeva una valutazione ambientale di vasta portata.⁴ Era basato su una rassegna di informazioni disponibili e su esperienze di oltremare applicate alle condizioni austriache. Una delle scoperte chiave era che tutte le tecnologie di trattamento dei rifiuti residui sono migliori per l'ambiente rispetto alla messa in discarica convenzionale.

Le tre principali tecnologie generiche furono ordinate come segue:

1. Trattamento Meccanico Biologico Aerobico (TMB)
2. TMB con Produzione e Utilizzo di CDR (TMB/CDR)
3. Processi Termici Nuovi (Dai Rifiuti a Energia)

Ciascuno dei suddetti studi era basato su tecniche meno avanzate di quelle in uso oggi. Da allora le tecnologie si sono sviluppate. In particolare, quelle di smistamento automatizzate sono migliorate (e i costi sono calati). Col tempo è anche migliorata la comprensione del trattamento biologico aerobico e anaerobico.

1.2 Questo rapporto

Questo lavoro continua con le seguenti sezioni:

Sezione 2: Sguardo generale ai processi TMB

Sezione 3: Lavorazione ed emissioni in aria da impianti TMB

Sezione 4: Questioni riguardanti la progettazione dell'impianto

Sezione 5: Valutazione dei costi

Sezione 6: Valutazione delle prestazioni ambientali

Sezione 7: Conclusioni

Appendice: Messa in discarica dei residui da TMB

2.0 Sguardo generale ai processi di TMB esistenti

Sebbene il termine TMB sia relativamente nuovo nel Regno Unito, l'approccio non è così nuovo, poiché descrive un certo numero di processi, alcuni dei quali potrebbero ricadere sotto una definizione ampia di TMB (come ad esempio l'impianto MRF=*materials recovery facility* =*impianto per il recupero dei materiali* / e sistemi di compostaggio non di qualità). In effetti, in alcuni paesi, lo sviluppo di impianti TMB è avvenuto solo dopo aver riconosciuto il limite del compostaggio dei rifiuti misti. Questo è, infatti, un processo che ha poche probabilità di produrre prodotti finali di valore, dato i livelli di contaminazione dei prodotti generati dal trattamento aerobico di rifiuti residuali misti. In alternativa, tali impianti sono adattati a trattare soltanto rifiuti biologici provenienti da raccolta differenziata.

Negli anni '60 e '70 i rifiuti venivano già trattati meccanicamente e biologicamente nelle cosiddette "discariche con compostaggio". Alcuni di questi primi impianti sono ancora oggi funzionanti, anche se con il tempo si sono ottenuti dei progressi a riguardo. Lo sviluppo del TMB è basato su esperienze che sono derivate dal trattamento biologico dei rifiuti.

Una componente essenziale del concetto è la preparazione di sostanze specifiche dai rifiuti, dai quali vengono selezionati flussi di materiale di qualità diversa mediante le fasi meccaniche del processo. In aggiunta all'estrazione e al trattamento della frazione biologica e alla separazione dei rifiuti di ferro e di legno, tipicamente si ottiene una frazione calorifica elevata, che viene spesso incenerita. Tuttavia, questo lavoro si concentra su impianti che non richiedono alcun processo di trattamento termico.

Quando la tecnologia TMB viene usata come pre-trattamento prima di mettere in discarica, l'obiettivo è un sistema più sicuro di smaltimento a lungo termine. La tecnologia TMB dovrebbe soddisfare standard elevati per quanto riguarda l'inquinamento e la

protezione di chi vi lavora. Questo significa che tutte le procedure, importanti per quanto riguarda le emissioni, devono essere completamente racchiuse. E' noto da tempo che il pretrattamento biologico dei rifiuti migliora notevolmente il comportamento dei siti di discarica per quanto riguarda inquinanti chiave, e così facendo riduce le pressioni sul nostro ambiente.

Gli impianti TMB differiscono:

- per il tipo di rifiuto da trattare (solo rifiuti urbani, tutti i rifiuti residui, con/senza i fanghi delle acque di scolo (*da fognatura*), preparazione dei rifiuti per rigenerazione, ecc.),
- per lo scopo della preparazione e la collocazione dei prodotti risultanti (discarica, trattamento termico, recupero energetico),
- per la durata dell'autorizzazione all'attività (limitata nel tempo come soluzione temporanea, oppure non limitata, cioè nell'ambito di tempi di ammortamento regolari).

Lo scopo di questo capitolo è di fornire una panoramica delle tecniche impiegate. Ci sono una serie di fornitori di tecnologia coinvolti nello sviluppo e nell'approvvigionamento dei processi TMB.

2.1 Conferimento dei rifiuti

Date le caratteristiche dei rifiuti residui, è auspicabile assicurarsi che sia tenuto al minimo il maneggiamento diretto del materiale da parte dei lavoratori. Il conferimento tipicamente avviene in depositi bassi. Può accadere che lo scarico avvenga in edifici depressurizzati (e in alcuni casi in Italia vengono usate delle gocce vaporizzate per minimizzare i problemi con le mosche quando avviene lo svuotamento). Alcuni materiali pericolosi e le frazioni metalliche grandi possono essere rimosse mediante una benna, sebbene la misura in cui questo avviene dipende dalla successiva preparazione.

Nella maggior parte degli impianti TMB, il caricamento dei trituratori primari viene fatto usando una benna, ma in alcuni vengono impiegati (*nastri*) trasportatori o gru. La qualità della rimozione dei materiali pericolosi/difficili dipende dalla qualità del funzionamento della benna, quindi, in alcuni casi, la responsabilità per le interruzioni del trituratore viene addebitata all'operatore della benna (come incentivo per eseguire la rimozione di tali materiali efficacemente). Naturalmente non avviene sempre che i trituratori siano usati immediatamente dopo l'uso di una benna.

2.2 Preparazione

La separazione manuale dei materiali è da evitare. Ciò avviene solo in pochissimi impianti, di solito per la rimozione mirata di materiali pericolosi prima della seconda triturazione della frazione sopra vaglio (cioè che traccina dal vaglio).

Per quanto riguarda i rifiuti domestici, la maggior parte del materiale viene inviato al vaglio senza fare prima la triturazione. Una vagliatura primaria può ridurre la misura in cui componenti dannose possono agire sul trituratore, ma ciò rende necessaria una seconda fase di vagliatura.

2.3 Tipi di unità di preparazione

Poiché la serie di compiti in diversi impianti TMB (e all'interno di uno stesso impianto) viene diversificata, vengono usate una serie di diverse unità per adattarsi ai requisiti dell'uso finale (vedi Tabella 1). La scelta delle unità dipende dalla natura della divisione dei materiali ricercata e dalla destinazione ultima delle frazioni separate.

A seconda se il sistema TMB è basato su un "approccio di suddivisione" o su un "approccio di stabilizzazione", la vagliatura iniziale generalmente avviene prima del trattamento biologico (processo di suddivisione) o dopo il processo di stabilizzazione (stabilizzazione asciutta). Molti impianti TMB usano vagli a tamburo e, a seconda della natura della separazione dei materiali richiesti per ciascuna applicazione,

la vagliatura avviene o in una o in due fasi. Per garantire una separazione sufficiente, nella progettazione del vaglio a tamburo si deve stare attenti ad assicurare lunghezze e calibri del vaglio sufficienti e la corretta velocità di rotazione. Per evitare avvolgimenti nella cinghia (*nastro*) dei vagli rotanti (mummificazione), sembrano utili i manicotti uniti da tubi posti nella zona del vaglio, e per ottenere una purificazione più facile, si è dimostrata efficace la realizzazione di profili appropriati lungo i cilindri del vaglio.

Per la separazione mirata delle frazioni leggere, in alcuni impianti sono in uso classificatori ad aria, tavoli pneumatici, tavoli vibranti, separatori balistici ecc. oltre al vaglio rotante.

La separazione dei metalli ferrosi di solito viene eseguita, normalmente in diverse fasi del processo e tipicamente con qualità variabile nell'estrazione. Per questa ragione, i diversi flussi vengono talvolta tenuti separati, per garantire che il materiale possa essere facilmente commercializzato. Alcuni, ma non tutti gli impianti sono dotati di meccanismi per l'estrazione dei metalli non ferrosi. Talvolta ciò accade nella successiva lavorazione del materiale prodotto come combustibile.

2.4 Trattamento Biologico

Ci sono due forme di trattamento biologico disponibili per trattare le frazioni di rifiuti organici. Sono la fermentazione (processo anaerobico) e il trattamento aerobico.

2.4.1 Trattamento aerobico (compostaggio)

Nel compostaggio sono state sviluppate quattro linee di sviluppo o azione. La Tabella 2 ne mostra una panoramica. Essenzialmente, le linee di azione differiscono:

- nello scopo della procedura [lo scopo è di asciugare il materiale, o di stabilizzarlo attraverso la decomposizione organica (nel qual caso lo scopo sarà di impedire al materiale di seccare)?]
- nel modo in cui l'impianto è inserito (incapsulato, all'interno di un edificio, parzialmente all'interno di un edificio, coperto con membrana, aperto)

- negli standard di emissione (natura e misura della cattura dell'aria esausta e trattamento mediante filtri)

Le quattro tipologie d'impianto, mostrati nella Tabella 2 qui sotto, sono stati delineati da Zeshmar-Lahl et al. Sostanzialmente, per via della somiglianza dei processi tecnici, negli impianti TMB viene usata l'intera serie di sistemi di compostaggio disponibili in commercio (vagli a tamburo, tunnel, scatola, contenitore, cumuli in fila, cumuli aerati continuamente rivoltati, cumuli aerati ecc.)

E' importante notare che quando i residui del processo di trattamento biologico devono essere messi in discarica / usati per ripristino ambientale, ci si aspetterebbe che qualsiasi fase anaerobica venisse seguita da un

trattamento aerobico per stabilizzare il materiale in uscita.

In definitiva, il sistema usato tipicamente viene deciso sulla base di:

- requisiti dell'autorizzazione del progetto
- condizioni del sito
- obiettivi dei costi (costi dell'investimento e di produzione)

I sistemi che sono offerti differiscono nei costi di gestione e di investimento. Le differenze negli specifici costi di investimento hanno un effetto forte sia nel determinare, sia nel limitare i possibili tempi di ritenzione nel sistema di compostaggio. Più alto è l'investimento specifico, più breve sarà il tempo di permanenza economicamente giustificabile nel sistema.

Tabella 1: Panoramica delle unità negli impianti TMB

Funzione	Unità
Triturazione primaria	Trituratrice, utensile per tritare con vite senza fine, cesoie rotanti, macine a percussione
Triturazione secondaria	Utensile per tritare con vite senza fine, tritratrice a martello
Vagliatura, classificazione	Vagli rotanti, a 1 a 2 fasi, perforazione 40 – 300 mm
Classificazione	Classificatore ad aria. Tavole pneumatiche
Separazione del ferro	Separatori magnetici
Separazione dei metalli non ferrosi	Separatori a mulino
Compattazione delle frazioni grossolane	Contenitori a compressione, balle (balle arrotolate o balle legate con filo metallico)
Caricamento delle frazioni fini	Container aperti con trasporto HGV, trasporto mediante nastro trasportatore
Attrezzature mobili	Caricatori a ruota (dentata), benne scavatrici, autocarro con ragno, camion con container, autoribaltabile

Tabella 2: Linee di sviluppo nel Trattamento Aerobico dei rifiuti Residui

Tipo A	Compostaggio primario statico, incapsulato per la stabilizzazione secca con tempi di ritenzione di 1-2 settimane
Tipo B	Compostaggio quasi - accelerato, incapsulato, in una fase sola con aerazione attiva e cattura dell'aria esausta, intervalli regolari di rivoltamento (di regola settimanali e in alcuni casi ogni 5 giorni)
Tipo C	Compostaggio in due fasi con un compostaggio primario incapsulato breve (statico o quasi dinamico) con periodi di compostaggio compresi tra 1 e 5 settimane e un compostaggio secondario a valle, variabile nella durata (7-26 settimane) e nelle tecniche (aperta, coperta, non-aerato, aerato, con o senza rivoltamenti)
Tipo D	Compostaggio aperto, statico, senza aerazione attiva e di regola senza rivoltamenti, con tempi di compostaggio di 12-18 mesi

Fonte: Zeschmar-Lahl et al. (2000). Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung in Europa, Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH

A sua volta, questo ha delle implicazioni per il grado di stabilità che può essere raggiunto con un dato trattamento per un costo specifico, poiché più lunghi sono i tempi di ritenzione, più grande sarà il livello di stabilità raggiunto (sebbene la rapidità alla quale il materiale viene stabilizzato varia nei vari processi).

Tempo di ritenzione e livello di stabilizzazione

Nei sistemi di TMB, il livello di stabilizzazione o maturazione del materiale che è stato sottoposto al processo di trattamento biologico viene misurato mediante vari criteri. Continuano le discussioni riguardo su quale misura sia la più appropriata in una data situazione. Tuttavia, l'intenzione è di specificare un livello minimo, per garantire che il processo contribuisca alla riduzione del potenziale danno causato dalla successiva messa in discarica dei residui o dal loro uso in applicazioni limitate (come ad esempio per ripristino ambientale).

La durata del compostaggio finché vengano raggiunti i criteri di maturazione alternativi (RS4, GF21;TOC) dipende dalla gestione della lavorazione e dal sistema scelto. Di regola vale quanto segue:

- più dinamico è il processo, più breve sarà il tempo di compostaggio: e
- più breve sarà il tempo nel sistema (quasi) dinamico, più lungo sarà il compostaggio secondario richiesto nel sistema statico.

I tempi di compostaggio minimi che saranno alla fine richiesti per poter soddisfare in modo preciso i "criteri di smaltimento" specificati con sufficiente sicurezza nel lavoro sono ancora oggetto di progetti di ricerca in corso. Il confronto delle misure provenienti da diversi impianti e laboratori è ancora difficile, dato che non c'è accordo su una metodologia standardizzata per le analisi. Inoltre, a causa di questi dibattiti, non è certo quali dovrebbero essere i criteri appropriati per il materiale da mettere in discarica. Questo viene discusso con maggiori dettagli nella Sezione 4.

Tipi di aerazione e di controllo del compostaggio

Lo scopo dell'aerazione è:

- salvaguardare che il contenuto di ossigeno nel cumulo sia sufficiente,
- evitare le zone anaerobiche (*assenza di ossigeno – NdR*),

- disperdere l'anidride carbonica che si è accumulata,
- dissipare il calore che è stato rilasciato dalla reazione,
- gli impianti che preparano il materiale per l'incenerimento fanno uso di essiccazione mediante il calore generato dall'attività biologica.

Questi obiettivi devono coincidere con quello, che è in competizione, della minimizzazione della perdita per evaporazione. Quando si sceglie un sistema di aerazione, e in particolare la base dell'aerazione, si deve stare attenti che sia possibile l'aerazione mediante aspirazione e pressione. L'aerazione viene fatta a seconda dell'attività del materiale nel corso del compostaggio. Per questo è necessaria la segmentazione delle zone di compostaggio in campi di aerazione regolabili separatamente. La quantità d'aria per campo di aerazione viene aggiustata mediante ventilatori regolati a frequenza a seconda della temperatura e del contenuto di ossigeno. In alternativa, sono anche usate lavorazioni per fasi.

Sia con i sistemi incapsulati, sia con quelli all'interno di edifici dove è in funzione una lavorazione con aspirazione, si traggono conclusioni riguardo alle condizioni nel cumulo mediante misure dei parametri dell'aria esausta proveniente dal cumulo. La correlazione tra la temperatura nell'aria esausta e all'interno del cumulo è tuttavia soggetta a fluttuazioni. E' influenzata dalla situazione nel cumulo (livello della temperatura, contenuto di acqua, velocità di evaporazione), dalla collocazione del punto di misura, e dalla collocazione dei tubi di aerazione (riscaldamento con il sole o raffreddamento per effetto del gelo).

In base ai vari fattori di influenza, si pongono certi limiti per il funzionamento automatizzato del procedimento. Le misure in continuo della temperatura e dell'ossigeno nell'aria esausta sono risultate un mezzo utile nel controllo del procedimento, al di là di questo, l'effettivo controllo del procedimento

cade nella zona delle responsabilità del dirigente dell'operazione.

Componenti prefabbricate per il Processo di Compostaggio

I componenti prefabbricati dei sistemi all'interno di edifici e incapsulati sono in cemento armato o in acciaio. Con entrambi i materiali, si deve tener conto di requisiti corrispondenti per la protezione contro la corrosione. Tra l'altro, le componenti in cemento armato devono soddisfare le esigenze relative alla corrosione da ammonio e da solfato. In alcuni impianti sono stati aggiunti dei locali ulteriori di compostaggio fatti con materiali sintetici. [Oberpullendorf (A), Mailand (I)]

Isolamento dei locali di compostaggio

Per garantire le necessarie velocità di cambiamento dell'aria nei locali, di regola l'aria viene attirata nei locali attraverso dei deflettori di persiane alla veneziana. Per questo d'inverno può verificarsi un notevole raffreddamento dei locali, che impedisce la capacità operativa delle unità (ad esempio, interruzione della catena di energia).

D'altra parte, d'estate può verificarsi un notevole riscaldamento dell'atmosfera nei locali a causa del sole.

Per migliorare il clima all'interno delle strutture si è dimostrato utile l'isolamento del tetto e dei muri dei locali. Gli aumentati costi d'investimento sono controbilanciati da chiari vantaggi nell'efficienza dell'operazione.

2.4.1 Digestione anaerobica/fermentazione

Nel campo della fermentazione ci sono sul mercato diversi fornitori di sistema. Finora sono state poche le esperienze di operazioni con rifiuti residui su vasta scala. I vari processi comprendono:

- processi asciutti e a umido
- processi mesofili (*a temperatura moderata NdR*) e termofili
- Processi con una o due fasi
- Percolazione, idrolisi e fermentazione della fase acquosa

- Processi intervallati (aerobici –anaerobici-aerobici)

In Germania, la fermentazione dei rifiuti residui è solo avvenuta negli impianti sperimentali a Munster e anche a Bassum RWT (Residual Waste Treatment Plant = impianto di trattamento dei rifiuti residui). In questo ultimo, la fermentazione viene fatta secondo il cosiddetto processo Dranco (compostaggio anaerobico secco: fermentazione asciutta termofila in una fase). Dopo le esperienze positive nell'impianto sperimentale di Munster, ora dovrebbe anche essere commercialmente possibile la fermentazione umida mesofila. Una fase di fermentazione è una componente essenziale nel concetto di impianto di TMB Pohlsche Heide progettato nel distretto amministrativo di Minden-Lubbecke. Nei Paesi Bassi un processo di fermentazione è usato presso l'impianto VAGRON MBT.

L'impianto a Amiens in Francia è un digestore attrezzato per trattare i rifiuti residui, e sebbene non sia di solito considerato come un procedimento di TMB, questo è ciò che effettivamente l'impianto è progettato per realizzare. Wannholt suggerisce che per le 72.000 ton per anno inviate all'impianto, vengano recuperate 2.500 ton di metalli e 6500 ton di vetro. Generalmente vengono inviate in discarica⁵ 11.000 ton. Quindi restano 52.000 ton che entrano nel processo di digestione. Questo produce 37.200 ton di materiale in uscita dal processo. In Francia, a causa degli standard permissivi applicati all'utilizzazione del compost, questo materiale è usato per coltivazioni arabili e per la viticoltura. Vengono prodotte 9.400 ton aggiuntive di residui.

A confronto con procedimenti di compostaggio puro, i processi anaerobici – aerobici combinati tendevano a implicare costi di investimento e di operazione più elevati. Sembra che le differenze nei costi stiano diminuendo per la forte competizione tra i fornitori del trattamento e per i miglioramenti fatti nel controllo del processo

negli impianti di fermentazione. Inoltre, attualmente si sta studiando (ad esempio a Bassum RWT) la misura in cui i costi specifici più elevati di fermentazione possano essere compensati mediante un corrispondente accorciamento del tempo di compostaggio nel compostaggio secondario. Infine, in alcuni paesi, la differenza nei costi tra sistemi anaerobici/aerobici combinati e sistemi aerobici tende a ridursi grazie al potenziale di ricavo di entrate aggiuntive dalla vendita di energia derivata dagli impianti di digestione. Ulteriori vantaggi della fermentazione possono derivare nell'area della purificazione dell'aria esausta. Poiché le componenti volatili vengono trasportate attraverso la via del biogas nella fermentazione – in particolare nella fermentazione termofila - ci può essere il potenziale per risparmiare con il trattamento dell'aria esausta nel compostaggio secondario. Le prove analitiche di questo, in pratica vanno ancora trovate.

2.4.2 Trattamento delle emissioni di aria

Il trattamento dell'aria esausta negli impianti incapsulati e coperti, veniva eseguito solo mediante umidificatori e biofiltri. Di solito il biofiltro prende la forma o di un filtro in una costruzione aperta o con tetto, oppure di un filtro in una stanza incapsulata. La Tabella 3 mostra degli esempi di varianti..

Possiamo riassumere le esperienze che sono state raccolte finora con la tecnologia dei

biofiltri negli impianti TMB nel modo seguente:⁶

- la combinazione di sistema di lavaggio e biofiltro per il trattamento dell'aria esausta con gli scopi di separare la polvere e di minimizzare gli odori si è dimostrata essere estremamente valida. Secondo le informazioni disponibili, lo studio nota che la tecnologia con biofiltro può adempiere ai requisiti di legge del regolamento tedesco TA Luft . Tuttavia, per una efficace riduzione di tutta la materia organica critica di Classe I e II in base all'Articolo N° 3.1.7 del TA Luft tedesco, il biofiltro non soddisfa le aspettative.

- Problematicamente l'ammoniaca ed i composti organici dell'azoto cristallizzano e possono avere un effetto ostacolante nella decomposizione dei materiali. In tali casi, le concentrazioni di odori nel gas puro possono anche superare i limiti. Il metano non viene convertito nei biofiltri degli impianti di TMB studiati.

In molti impianti TMB esistenti, la purificazione dell'aria esausta è poca o assente. Negli impianti più recenti, il biofiltro è la regola e nella maggior parte degli impianti TMB è aiutato da un umidificatore a monte. L'uso del termine sistema di lavaggio o persino "biolavaggio", che si trova in molte pubblicazioni e descrizioni di impianti non è chiaro, poiché nella tecnologia dei filtri con questo termine si intendono sistemi controllati chiaramente più stravaganti.

Tabella 3: Varianti nella costruzione e nei procedimenti per la purificazione biologica dell'aria esausta presso impianti di trattamento meccanico-biologico (esempi)

Impianto	Lüneberg MBP	Friesland/Wittmund MBP	Bassum RWT
Separazione della polvere/umidificazione	Sistema di lavaggio a spruzzo	Sistema di lavaggio a spruzzo	Due sistemi di lavaggio a spruzzo in parallelo
Sistema di biofiltri	Filtro semplice in zona aperta	Filtro in zona coperta con spruzzo	Filtro in stanza chiusa con spruzzo
Materiale del filtro	Legname di radice grossolanamente frantumato	Corteccia con guarnizione di ceramica	Legname di radice frantumato
Carico del volume per il filtro	67m ³ /(m ³ h)	< 280 m ³ /(m ³ h)	<60m ³ /(m ³ h)

Carico dell'area del filtro	100m ³ /(m ² h)	<280 m ³ /(m ² h)	<190 m ³ /(m ² h)
Direzione del flusso	↓	↑	↑
Dissipazione del gas puro	Aperta, vicino alla superficie	Coperta, vicino alla superficie	Racchiusa mediante condotta

Da ricerche sugli impianti che operano in Germania e Austria risulta che i biofiltri, quando sono presenti, mostrano notevoli differenze nella costruzione e nella dimensione. I biofiltri, analogamente ai filtri fisici o chimici, vanno costruiti tenendo conto delle dimensioni appropriate relativamente all'aria esausta che devono purificare. La questione importante è di garantire un certo tempo di ritenzione dell'aria esausta nel filtro, per realizzare davvero uno scambio di sostanze di vasta portata tra il mezzo del filtro e l'aria esausta.

I tempi di contatto nel biofiltro sono, a loro volta, realizzati principalmente grazie al rapporto tra la misura del filtro (in m³), il volume dei pori e l'aria esausta da purificare (in m³/unità di tempo), come pure (in qualche misura) grazie alla presenza di differenziali di pressione all'interno del biofiltro. Data la variazione degli investimenti nel dimensionamento dei filtri in impianti TMB, talvolta si osservano tempi di contatto inferiori ai 30 secondi, ma si trovano anche valori al di sopra dei 100 secondi.

Per l'effetto di purificazione, in aggiunta al dimensionamento sufficiente del biofiltro, è importante la costruzione del biofiltro. Questo perché è stato dimostrato che l'influenza del tempo nei tipi aperti di costruzione (che attualmente, se sono presenti dei filtri, rappresentano la variante di controllo) è molto alta. Per questa ragione, nelle stagioni fredde, ma anche in condizioni di tempo molto calde e troppo umide, possono verificarsi interruzioni nella prestazione del filtro.

Sviluppi recenti comprendono l'uso di filtri termici. Questi funzionano in modo da spezzare efficacemente le componenti organiche dei gas esausti. Uno studio austriaco recente suggerisce che le riduzioni

di emissioni realizzate mediante questo processo includono (dati riportati per biofiltri standard e per biofiltri affiancati allo "scrubbing" (lavaggio) con ammoniaca rispettivamente:

- riduzioni in NMVOC (*composti organici volatili senza metano*) (riduzione del 91% e riduzione del 80% rispettivamente)
- riduzione nei CFC come segue (riduzione del 98% in entrambi i casi)
- SO_x (riduzione del 50% in entrambi i casi)
- Ammoniaca (riduzione del 75% e riduzione dello 0%)
- N₂O (riduzione del 100% in entrambi i casi)

Questa avviene al prezzo di un aumento nelle emissioni di CO₂ e di un aumento nelle emissioni di NO_x associato con l'uso di energia nel funzionamento dell'impianto.

In alcuni paesi, particolarmente la Germania, ci sono stati appelli per la creazione di limiti più stringenti in una nuova regolamentazione delle emissioni di impianti TMB. Questo viene spesso erroneamente interpretato come un attacco abilmente confezionato, politicamente motivato contro TMB, sebbene ci siano certamente interessi che vorrebbero vedere tali regolamenti cacciare gli impianti TMB via dal mercato esistente in conseguenza dei prezzi troppo alti.

Zeschmarr-Lahl et al. riferiscono che le misure per la tutela della qualità dell'aria che vengono attuate oggi sono, da un punto di vista degli investimenti e dell'esercizio, da relativamente bassi a insignificanti negli impianti TMB in Germania. Persino negli impianti con umidificatori, biofiltri chiusi, ecc. i costi di esercizio (compreso l'ammortamento) sono inferiori al 3% dei costi d'esercizio totali. Spesso i costi d'esercizio per quanto riguarda l'aria esausta

sono inferiori al 1% o non sono nemmeno calcolabili (perché sono inesistenti). Tali dati indicano chiaramente una spesa nella protezione ambientale molto bassa, se confrontata con altri rami dell'industria e con altri sistemi di trattamento dei rifiuti (che non siano discariche).

La Tabella 4 indica i costi per un volume di aria esausta di 60.000 m³/ora rispetto al capitale e ai costi d'esercizio.

Le cifre della Tabella 4 non sono calcolate per TMB per se, ma per l'uso di questo tipo di tecnica. Tuttavia, non ci si aspetta che il TMB abbia delle esigenze fondamentalmente nuove relativamente a questi tipi di tecniche di purificazione. Tuttavia gli intervalli citati potrebbero restringersi con informazioni migliori. Comunque, persino gli intervalli mostrati illustrano che ci sono alternative interessanti ai biofiltri, nelle quali persino l'estremità superiore degli intervalli citati implicano livelli di costo ragionevoli (meno del 10% dei costi di trattamento TMB), particolarmente quando hanno successo nel ridurre la quantità specifica di aria esausta da trattare. Per questa ragione, alcuni operatori hanno iniziato a rimpiazzare i biofiltri con

queste tecniche più efficaci (anche se più costose).

2.4.3 Fabbisogno di personale

Il fabbisogno di personale negli impianti di TMB dipende da vari fattori, quali ad esempio la grandezza dell'impianto, il numero di unità operative e i tempi di esercizio (lavoro con uno o due turni). Per un impianto di TMB meccanizzato con fermentazione e un turno di lavoro si ha il fabbisogno di personale elencato in Tabella 5.

Per gli incarichi al personale si è dimostrato che vale la pena instaurare un sistema, in cui vengono assegnati incarichi e responsabilità chiare per funzioni definite.

Con le crescenti esigenze di trattamento dell'aria esausta e di controllo della lavorazione, diventa sempre più necessario che l'impianto assuma sufficiente personale suo proprio. Per aumentare i controlli sul loro stesso funzionamento, è possibile che gli impianti di TMB debbano eseguire alcune analisi di laboratorio di base internamente, in modo analogo a quello che succede in alcuni depuratori (*impianti di trattamento di fognature*). Molto dipende dalla natura dei sistemi di regolamentazione e dalla destinazione dei prodotti in uscita.

Tabella 4: Costi totali annuali di impianti di purificazione dell'aria esausta, stato degli affari 1993 [47].(in Lira\Sterlina)

Procedimento	Costi totali annuali
Postcombustione catalitica	0,11-0,99 milioni DM/a
Postcombustione termica	0,15-1,26 milioni DM/a
Postcombustione rigenerativa	0,35-0,96 milioni DM/a
Biofiltro a fasi	0,12-0,50 milioni DM/a
Biofiltro di zona	0,09-0,30 milioni DM/a

Tabella 5: Fabbisogno di personale in un impianto di TMB con fermentazione.

Numero	Funzione	Responsabilità
1	Direttore generale	Intero impianto
1	Vice direttore generale	Fermentazione
1-2	Elettricista, ingegnere elettronico	EMSR = tecnologia elettrica, di misurazioni, di controllo e regolamentazione

1	Aggiustatore	Manutenzione, riparazioni
3-4	Operatore di attrezzature mobili	Caricatore a ruota, benna da scavo, veicoli con container
2-3	Personale per le pulizie	Pulizie quotidiane e pulizia del terreno esterno se necessario
Proporzionale	Personale del laboratorio	Controllo della lavorazione, analisi dei materiali
Proporzionale	Rimpiazzi	Stima: -25-30%
Proporzionale	Amministrazione	
Proporzionale	Pesa, officina	
Proporzionale	Amministrazione dei dati, marketing	

3.0 Emissioni di aria dalla lavorazione in impianti di TMB

Come discusso sopra, le emissioni di aria dagli impianti di TMB tradizionalmente sono state oggetto di controlli relativamente deboli, ma adesso ciò sta cambiando, con l'uso di sistemi di biofiltri e di "scrubbing" (*lavaggio*) combinati e, più recentemente, con l'impiego di sistemi termici per pulire i gas esausti.

Questa sezione riferisce su alcune delle emissioni finora riportate in vari studi.

3.1 Anidride carbonica e metano

Le emissioni di anidride carbonica dagli impianti di TMB sono significative, ma le emissioni di questa CO₂ sono tutte provenienti da materiali di origine biologica. Le quantità emesse nel corso del pre-trattamento dipendono dalla natura del procedimento, dalla sua durata e dalla composizione del materiale stesso. In generale, più lungo è il procedimento, maggiore sarà la quantità di carbonio che verrà mineralizzata, soprattutto sotto forma di anidride carbonica, finché le condizioni sono ottimali. Le emissioni dai componenti di questo materiale, una volta messo in discarica, saranno discusse più avanti in questo documento.

Per quanto riguarda le lavorazioni di TMB che incorporano una fase anaerobica, in cui chiaramente l'obiettivo è di generare energia, l'obiettivo è di utilizzare il metano generato dal procedimento, che poi viene convertito in anidride carbonica.

In alcuni studi si è cercato di mettere in relazione le emissioni gassose dopo trattamenti biologici con l'originaria composizione dei rifiuti, sebbene questo generalmente sia avvenuto soltanto per il metano e l'anidride carbonica e raramente nel caso di impianti di TMB in genere. Di solito, tali ricerche hanno studiato le emissioni da impianti che lavorano materiali provenienti da raccolta differenziata. Il lavoro che forma la base per il modello svedese ORWARE mette in relazione le emissioni con l'originaria classe di materiali organici che si sta degradando (lignina, amido ecc.) Negli Stati Uniti, il lavoro per la modellazione di impianti di compostaggio si è concentrato sulle emissioni di anidride carbonica basate sulle componenti di rifiuti di cucina, di carta e da giardino.

Un tentativo di modellare le emissioni di anidride carbonica da impianti di TMB aerobici è stato quello di AEA Technology⁸, i cui risultati sono mostrati in Tabella 6.

I tre casi considerati furono:

- **1° Caso. Compost da TMB altamente stabilizzato**, nel quale si stima che circa il 5-10% del carbonio organico degradabile sia rimasto nel compost da TMB altamente stabilizzato. Lo studio adottò i risultati degli esperimenti di laboratorio che suggerivano che il TMB elimina circa il 90% del potenziale di formazione di CH₄ da rifiuti

solidi urbani. La velocità di formazione del CH₄ residuo fu assunta essere tale che l'ossidazione da parte dei microrganismi nella discarica era in grado di convertire il CH₄ completamente in CO₂. Quindi non si ha alcuna emissione di metano, così non ci sono emissioni di gas serra associati con la messa in discarica dei residui dal TMB. Si suppone che il restante carbonio a catena breve sia sequestrato.

- **2° Caso: Compost da TMB meno stabilizzato.** Si è preso in considerazione un procedimento di TMB più breve, che portava a una emissione restante di CH₄. Questo è stato simulato usando lo stesso potenziale di formazione di CH₄ del 1° Caso, ma assumendo che solo il 25% venisse ossidato a CO₂ da una combinazione di ossidazione microbica e raccolta del gas e ossidazione nei biofiltri, il restante 75% sfugge nell'atmosfera. La combustione potrebbe avere lo stesso effetto globale ma si riteneva che fosse poco probabile che il compost da TMB producesse gas da discarica con un contenuto sufficientemente alto di CH₄ (cioè meno di circa il 17% considerando il volume) tale da consentire la combustione senza un combustibile pilota.

- **3° Caso: Compost da TMB usato come rivestimento superficiale per la bonifica del sito di una discarica, o come strato di ripristino, che agisce come biofiltro, per ridurre le emissioni di CH₄.** In queste applicazioni, continua la decomposizione aerobica del compost e la materia organica resistente che sarebbe stata sequestrata in condizioni anaerobiche si decompone. In assenza di dati migliori, gli autori dello studio supposero che la decomposizione sarebbe avvenuta alla stessa velocità di quello di un compost di qualità elevata applicato in un ambiente agricolo. Questa supposizione implicava che l'8% del carbonio degradabile non metabolizzato applicato nel compost sarebbe rimasto nel terreno per più di 100 anni per il sequestro.

Nello studio AEA si possono trovare ulteriori informazioni sul fondamento logico di questo approccio. Tuttavia, i punti importanti da notare sono:

- poiché lo studio usa come linea di base l'opinione che "le emissioni di anidride carbonica di origine biologica" costituiscono una "linea di base zero", il carbonio che rimane nelle discariche per un periodo di cento anni (un limite di tempo scelto nello studio per differenziare le emissioni "a breve termine" e a "lungo termine") rappresenta il carbonio sequestrato, quindi un contributo negativo alle emissioni.

- In conseguenza di:

- (a) questo effetto di sequestro, e
- (b) del fatto che il materiale che brucia rilascia effettivamente tutto il carbonio con effetto immediato. Persino tenendo conto delle emissioni evitate quando si produce l'elettricità in un successivo impianto di trattamento termico, secondo lo studio, le emissioni di gas serra da impianti di TMB sono più favorevoli quando i residui vengono messi in discarica. Diventano meno favorevoli quando i residui vengono bruciati, tuttavia rimangono più favorevoli rispetto alla situazione in cui i rifiuti vengono direttamente inceneriti.

Un altro tentativo viene fatto nello studio di AWS et al.⁹ Tale studio suggerisce che le emissioni di gas serra da sistemi basati sul TMB nella fase precedente alla discarica sarebbero inferiori di quelle dovute a sistemi basati sull'incenerimento, in accordo con quanto riportato sopra. Tuttavia, la modellistica eseguita nello studio proseguiva suggerendo che una volta messi in discarica, i residui da TMB avrebbero continuato a produrre proporzioni significative di metano (approssimativamente metà di quelle che venivano proiettate per sistemi di discarica non trattata in un periodo di cento anni). Questo è piuttosto strano, e sembra contrario a tutte le evidenze empiriche, oltre che agli altri studi di modellistica ricordati.

Tabella 6: Fattori di emissione per rifiuti trattati con TMB (kg CO₂ eq/t materiale o MSW trattati)

Opzione per la gestione dei rifiuti	Componente dei rifiuti	Ciclo breve della CO ₂ (GWP=0)	CO ₂ fossile				C a ciclo breve sequestrato (GWP=-1)	Somma del C fossile e del C sequestrato	Emissione di CH ₄ GWP=21	Emissione di N ₂ O GWP=310	Flusso GHG totale
			Processo	Uso energia	Energia e materiali evitati	Trasporto /mobilizzazione					
Trattamento TMB con messa in discarica degli scarti e riciclo dei metalli											
	Carta	396	0	22	-6	4	-786	-765	206,6	0	-650
	Putrescibile	441	0	22	0	4	-251	-224	0,0	0	-224
	Plastica	0	0	22	0	4	0	27	0,0	0	27
	Vetro	0	0	22	0	4	0	27	0,0	0	27
	Metallo	0	0	22	-3038	10	0	-3006	0,0	0	-3006
	Tessili	147	0	22	-16	4	-503	-492	526,1	0	34
	Altro	226	0	22	-6	4	-369	-349	206	0	-143
Caso 1	RSU	286	0	22	-162	5	-364	-500	97	0	-403
Caso 2	RSU	276	0	22	-162	5	-364	-500	171	0	-329
Caso 3	RSU	661	0	22	-162	5	-9	-234	97	0	-137
Media dei casi 1 e 2	RSU	281	0	22	-162	5	-364	-500	134	3	-366
Trattamento TMB con messa in discarica degli scarti e riciclo dei metalli											
	Carta	580	0	22	-51	4	-629	-653	0	3	-650
	putrescibile	441	0	22	0	4	-251	-224	0	0	-224
	Plastica	0	2237	22	-703	4	0	1560	0	15	1575
	Vetro	0	0	22	0	4	0	27	0	0	27
	Metallo	0	0	22	-3038	10	0	-3006	0	0	-3006
	Tessili	718	718	22	-326	4	0	420	0	15	434
	Altro	285	63	22	-26	4	-213	-149	0	5	-144
Caso 1	RSU	358	205	22	-241	5	-289	-298	0	3	-295
Caso 2	RSU	349	205	22	-241	5	-289	-298	74	3	-221
Caso 3	RSU	604	205	22	-241	5	-23	-33	0	3	-30
Media dei casi 1 e 2	RSU	353	205	22	-241	5	-289	-298	37	3	-256

Fonte: Smith *et al.* (2001) Opzioni per la gestione dei rifiuti e cambiamento del clima, rapporto finale ad Ambiente DG, Commissione Europea.

Notare che i dati sono espressi per tonnellata di materiale in questione. Per i RSU, i fattori di emissione vengono stimati dalla somma dei componenti dei rifiuti costituenti moltiplicati per la loro proporzione relativa nel flusso dei rifiuti.

3.2 Ammoniaca NH₃

Gli impianti di TMB mostrano, a seconda della tecnica, specifiche quantità di aria esausta, ecc. una contaminazione elevata del gas grezzo con ammoniaca (NH₃), da 10 a 200 mg/m³. Valori elevati di gas grezzo possono condurre al danneggiamento dei biofiltri (fino al punto in cui diventano inefficaci).

Un problema aggiuntivo è rappresentato dalla parziale ossidazione del NH₃ a N₂O che è collegato al danneggiamento dei filtri. Anche questo è un potente gas serra, quindi la minimizzazione di questa emissione secondaria è pure importante. Un'altra emissione secondaria è quella delle nitrosamine, la cui formazione è stata osservata sui biofiltri.

Sistemi di lavaggio acido controllati, di costruzione semplice, possono certamente mantenere valori inferiori a 10 mg/m³ di aria esausta. Con valori di ingresso inferiori a 10 mg/m³ il pericolo che il filtro venga danneggiato è minimizzato ed è più probabile che la restante ammoniaca venga ossidata dai biofiltri intatti. In questo modo si garantisce che il TMB non superi un livello di emissioni ecologicamente giustificabile (per NH₃).

3.3 Materiali organici (TOC)

Un compendio delle *concentrazioni* di inquinanti che si trovano nel *gas grezzo* proveniente da impianti di trattamento meccanico biologico dei rifiuti fu dato in una pubblicazione di Fricke e altri. I dati erano rappresentativi della situazione nel gennaio 1997 ed erano basati sui risultati di test presi da cinque studi più dettagliati. Per tutti gli elementi/composti esaminati, le emissioni più elevate furono constatate entro i primi quattordici giorni (i valori massimi per le singole sostanze sono tra parentesi):

- *aldeide*: valore massimo > 100 mg/m³ (acetone: 140 mg/m³; 2-butanone: 55 mg/m³)
- *terpeni*: valori massimi > 50 mg/m³ (limonene: 56 mg/m³; π -pinene: 14 mg/m³; B-pinene: 6,4 mg/m³)
- *sostanze aromatiche*: valore massimo > 30 mg/m³ (m-; p-xilene: 38 mg/m³; etil benzene:

13mg/m³; toluene: 11,5 mg/m³; o-xilene: 10 mg/m³; stirene: 5,9 mg/m³; benzene: 0.3 mg/m³

- *acetati*: valori massimi > 30 mg/m³ (etil acetato: 32 mg/m³)
- *alcani*: valori massimi > 10 mg/m³ (nonani: 12 mg/m³; decani: 43 mg/m³)
- *CFC*: valori massimi: >1 mg/m³ (R11: 3,1 mg/m³; R12: 1,17 mg/m³)
- *Idrocarburi clorinati alifatici*: valori massimi: > 1 mg/m³ (tetracloroetano: 2,7 mg/m³; tricloroetano: 1,38 mg/m³); evidenze di di- e triclorometano, 1,1,1-tricloroetano, 1,1-dicloroetano.

Le suddette cifre rappresentano i valori massimi nel *gas grezzo*. Sembrano ancora esserci delle lacune nelle conoscenze relative alle emissioni di Carbonio Organico Totale (TOC) e ai valori di emissioni per i singoli materiali.

Un confronto tra i carichi di gas grezzo massimi calcolati nei test eseguiti nel summenzionato studio e le misure eseguite in impianti di TMB commerciali rivelò che i carichi effettivamente emessi attraverso il gas grezzo risultano più bassi di quanto stabilito sulla base di test modello fatti da Doedens *et al.*¹¹.

Dati dell'Ufficio Federale austriaco per l'Ambiente per Kufstein TMB e per Allerheiligen TMB suggeriscono anche che il gas grezzo proveniente da TMB contenga una moltitudine di composti organici singoli, talvolta in concentrazioni/carichi molto elevati, sebbene con profili di concentrazione vari. Il TOC (carbonio organico totale) si presenta come un parametro utile per il monitoraggio, registrando la totalità dei componenti organici. Il valore misurato del TOC può essere espresso mediante un fattore di conversione basato sulle sostanze organiche gassose (=volatili) emesse (d'ora in poi saranno chiamate VOC, Volatile Organic Compounds, composti organici volatili). Il valore suggerito da Zeschmar-Lahl *et al.* per il TMB è di 1,25¹².

In genere, si trova che nelle analisi dei cicli di vita della categoria POCP, dove questo viene applicato a concetti di combinazione, la fase di TMB può essere di gran lunga la componente più dominante. Un limite NMVOC¹³ (*componente organica volatile senza metano*) (o VOC) può chiaramente ridurre questo effetto negativo, implicando la necessità di una efficace gestione della lavorazione (ad esempio, per impedire condizioni anaerobiche) e di un efficace trattamento dei gas esausti.

Il carico NMVOC dell'aria esausta da TMB (gas grezzo) cade nell'area da circa 100 mg/m³ a 500 mg/m³.

3.4 Metano (CH₄)

Non è ancora certo se il contenuto organico volatile senza metano (NMVOC) dovrà essere registrato entro un limite VOC. Nella eventualità di tali regolamenti, l'adesione potrebbe realizzarsi in modo relativamente facile usando sistemi ottimizzati di lavaggio/biofiltro. Un calcolo del metano (che dal punto di vista tossicologico- umano è irrilevante, come elemento traccia), rientrerebbe anche nella logica di TA Luft (orientamento dell'effetto).

Il metano è un potente gas serra. Calcoli di valutazione del ciclo di vita mostrano che le concentrazioni di metano da 1.000 a > 50.000 mg/m³, che sono possibili nei sistemi di compostaggio all'aria aperta o al chiuso che siano insufficientemente riforniti di ossigeno (o con i biofiltri imbevuti di acqua), avrebbero un'influenza formativa sui risultati ed escluderebbero l'equivalenza delle misure.

Nell'Appendice 1 esaminiamo con dettaglio ulteriore le emissioni a seguito della messa in discarica del materiale. Chiaramente, l'obiettivo è di minimizzare il potenziale per lo sviluppo di condizioni anaerobiche nel corso del procedimento, con l'ovvia eccezione di quei progetti di impianti dove il trattamento anaerobico è una parte del procedimento di trattamento biologico. In tal caso, l'obiettivo è di assicurare la cattura totale e una combustione dei gas il più completa possibile,

per garantire a) il recupero massimo di energia e b) una riduzione della possibilità di danneggiare l'ambiente attraverso la conversione del metano in anidride carbonica.

3.5 ICFC

Le poche misure disponibili mostrano che i carichi di CFC da 1-10 g/Mg in entrata possono essere emessi da un impianto di TMB, a seconda del tipo di rifiuto che viene lavorato (Tabella 7). Qui, le sostanze indicatrici sono, come ci si aspetta, i vecchi CFC frequentemente usati, R11 e R12.

I nostri calcoli di valutazione del ciclo di vita hanno indicato che le emissioni a questa scala hanno un'influenza significativa sull'effetto serra e al potenziale effetto di riduzione dell'ozono. Nell'ambito di considerazioni di equivalenza e di obiettivi di sostenibilità, si dovrebbe quindi chiedere una riduzione di queste emissioni. Da parte dei procedimenti biologici di depurazione dell'aria esausta non viene adottata una efficace riduzione delle emissioni.

Quindi dobbiamo stare attenti nel TMB per garantire che i rifiuti che contengono dei CFC vengano per quanto possibile esclusi o rimossi presto, ma in ogni caso che non entrino nella fase biologica.

Talvolta viene fatto notare che i vecchi CFC a cui ci riferiamo, nel frattempo sono stati vietati. Con ciò è collegata l'aspettativa che il tema dei CFC non sia più di interesse per l'industria dei rifiuti. Tuttavia, studi in relazione a questo mostrano che i CFC utilizzati per costruzioni negli anni '70 e '80 sono ancora "accumulati" in quantità notevoli (edifici, prodotti, commercio). L'Ufficio Federale Tedesco per l'Ambiente ha stimato che il serbatoio per l'R11 in schiuma rigida fino al 1986 sia di 70.000 tonnellate (limite inferiore). Di queste, 50.000 ton sono immagazzinate soltanto nell'industria delle costruzioni (isolamento). Questi quantitativi verranno introdotti nel flusso dei rifiuti entro i prossimi da 10 a 50 anni¹⁴.

Per il futuro, si dovrà fare i conti con un aumento dei CFC/FHC parzialmente alogenati nei rifiuti, poiché questi stanno rimpiazzando quelli completamente alogenati in molte aree di utilizzo. Questo potrà portare all'uso di sostituenti chimicamente correlati, in particolar modo, i CFC parzialmente alogenati e i FHC parzialmente fluorurati, che sebbene dimostrino un potenziale inferiore

nella distruzione dello strato di ozono, mostrano anche un elevato potenziale serra. Per questa ragione, il tema dei CFC/FHC nel TMB non può essere visto come disinnescato. Perciò la depurazione dell'aria esausta di un impianto TMB dovrebbe garantire un'elevata efficienza nella separazione di questo tipo di inquinante.

Tabella 7: Carichi di emissioni di CFC da impianti TMB (gas grezzo)- misure correnti dell'Ufficio Federale Austriaco per l'Ambiente.

Parametro (g/Mg)	Allerheiligen ^a (aria esausta dal tunnel)	Siggerwiesen ^b (aria esausta dal vaglio a tamburo del compostaggio)	Siggerwiesen ^c (aria esausta dal vaglio a tamburo del compostaggio)	Siggerwiesen ^d (aria esausta dal capannone)	Kufstein ^e (aria esausta dal modulo di compostaggio)
Campionamento	Primavera	Inverno	Estate	Inverno	Estate
CFC					
R11	n.n	8,5	4,1	0,4	2,2-2,3
R12	n.n	11,3	0,2	0,4	1,2-1,4
R21	n.n	n.n	-	n.n	n.s
R113	n.n	n.n	-	n.n	n.s
R114	n.n	n.n	0,2	0,4	1,2-1,4

a 7.000 m³/tonnellata; b 710 m³/tonnellata; c 480 m³/tonnellata; d 1.100 m³/tonnellata; e 6.000 m³/tonnellata

4.0 Questioni relative alla progettazione dell'impianto

4.1 L'Obiettivo

Nelle istruzioni si chiedeva lo sviluppo della miglior opzione fattibile, che doveva comprendere la separazione meccanica delle frazioni secche riciclabili, seguita dal trattamento biologico della frazione biodegradabile. Si doveva evitare il trattamento termico di qualsiasi frazione.

4.2 Criteri chiave

Ci dobbiamo aspettare che tutti i rifiuti urbani (*a valle della raccolta differenziata. NdR*) abbiano un qualche impatto ambientale, per questa ragione l'obiettivo di una strategia per i rifiuti che sia valido dal punto di vista ambientale dovrebbe consistere in un flusso di

rifiuti residui continuamente calante, con l'obiettivo finale di arrivare a rifiuti zero (o quanto più possibile vicino allo zero). In questo contesto, un trattamento dei rifiuti residui avrebbe le seguenti caratteristiche:

- 1) In ogni caso in cui risulti fattibile, il materiale che non è stato separato alla fonte (*sottoposto a raccolta differenziata*) dovrebbe essere recuperato per il suo riciclaggio e i mercati per i materiali riciclabili andrebbero attivamente ricercati e sviluppati;
- 2) Subordinatamente al fatto che va evitato ogni possibile accumulo di elementi potenzialmente tossici nei suoli, i residui organici dovrebbero essere usati per

aumentare/ripristinare i livelli di sostanza organica nel suolo;

3) Le emissioni nell'atmosfera dovrebbero essere minime e avere un impatto minimo sulla salute umana e l'ambiente;

4) Le emissioni nel suolo dovrebbero avere un impatto minimo sulla salute umana e sull'ambiente; e

5) Le emissioni nell'acqua dovrebbero avere un impatto minimo sulla salute umana e sull'ambiente;

6) Nel valutare le potenzialità dannose per l'ambiente e la salute, si dovrebbero riconoscere le incertezze che esistono in tali valutazioni, non ultima per quanto riguarda le sostanze chimiche sospettate di rappresentare con l'esposizione un rischio significativo per l'uomo e per altre forme viventi, o che possiedono proprietà intrinsecamente pericolose, quali la persistenza nell'ambiente o la capacità di bioaccumulo;

7) Nel funzionamento dell'impianto dovrebbe essere minimizzata l'esposizione dei dipendenti nel maneggiare i materiali/le emissioni dell'impianto dovute alla lavorazione del materiale;

8) L'impianto dovrebbe cercare di minimizzare l'uso di energia;

9) Vanno minimizzati tutti i residui e la loro tossicità. Lo smaltimento finale dovrebbe tener conto dei pericoli potenziali di inquinamento dopo l'avvenuto smaltimento;

10) L'impianto dovrebbe essere flessibile, considerando una composizione dei rifiuti mutevole.

Queste caratteristiche stabiliscono dei parametri ampi per la valutazione di progetti di impianto.

4.3 Elementi di TMB

4.3.1 Panoramica

La maggior parte delle tecnologie TMB sono derivate dal compostaggio di rifiuti indifferenziati. Il concetto di compostaggio di rifiuti indifferenziati (cioè compostaggio di rifiuti urbani indifferenziati) è ampiamente screditato, poiché il procedimento non riesce a produrre prodotti finali di valore a causa dei livelli di contaminazione che si tende a

trovare nel prodotto finale. Lo scopo della parte meccanica del processo è di arrivare all'ottimizzazione del materiale per i processi biologici mediante separazione (screening) e triturazione per estrarre materiali utili dal procedimento.

Persino, quando viene fornita materia organica non contaminata proveniente da raccolta differenziata, i rifiuti residui contengono quantità significative di materiale biologicamente attivo. L'esistenza di una raccolta separata delle frazioni riciclabili secche, come pure di materiali organici tende a portare a una concentrazione di rifiuti organici nei rifiuti residui superiore a quella che si avrebbe se non esistesse la separazione del "secco" riciclabile. Addirittura, i progetti di raccolta differenziata che danno le prestazioni migliori hanno un 10 - 20% di rifiuti organici nel residuo. Il trattamento biologico di solito produce:

1) riduzione del peso dei rifiuti che necessitano di smaltimento di circa il 30%

2) ridotta produzione di gas da discarica

3) ridotta produzione di percolato

4) maggiore densità del materiale messo in discarica (di un 30-40%)

La stabilizzazione dei rifiuti biologici fornisce anche un'opportunità per trattare il materiale insieme con i fanghi di depurazione, un materiale questo che può causare seri problemi nella gestione della discarica, specie se presente in grosse quantità. Questo è particolarmente pertinente nelle aree in cui il riutilizzo dei fanghi è limitato per problemi igienici e di contaminazione oppure a causa di vincoli legislativi o di mercato. Questo avviene soprattutto in zone urbane con elevata densità di popolazione e/o laddove le industrie sono collegate al sistema fognario.

Le seguenti sezioni descrivono elementi dei sistemi TMB:

Estrazione Meccanica di Materiali Rimanenti Recuperabili

Con un impianto per la stabilizzazione dei rifiuti residuali anteposto alla discarica, esistono opportunità per estrarre materiali recuperabili che non sono stati sottoposti a

raccolta differenziata. Questo si fa mediante un separatore magnetico per i metalli ferrosi, o recuperando gli scarti riciclabili (o inerti) con altro macchinario.

“Inertizzazione” biologica mediante la Decomposizione di Sostanze facilmente Degradabili

Il TMB mira a ridurre la frazione di carbonio organico al minimo mediante decomposizione biologica. Di solito ciò viene realizzato mediante i seguenti passaggi:

- 1) separazione meccanica e preparazione dei rifiuti residui;
- 2) decomposizione intensiva dei rifiuti residui pre-trattati meccanicamente in un sistema chiuso (con l’obiettivo di decomporre il contenuto organico); e
- 3) trattamento a superficie aperta del materiale pre-compostato con l’obiettivo di stabilizzare ulteriormente il rimanente contenuto putrescibile.

Sostanze facilmente degradabili, come gli zuccheri, le proteine e l’amido, sono le componenti attaccate per prime dai microrganismi. La degradazione di queste componenti in un processo controllato significa che la ‘stabilità’ dei rifiuti residui può essere significativamente aumentata in un ordine di tempo molto breve (confrontato alla degradazione di queste sostanze in una discarica). ‘Inertizzare’ significa che queste componenti vengono completamente degradate, essenzialmente ad anidride carbonica e acqua.

Digestione Anaerobica

La digestione anaerobica è un processo naturale nel quale i microbi, in assenza di ossigeno, convertono materia organica complessa in prodotti finali stabili, semplici. In questo processo si produce metano e anidride carbonica.

Tradizionalmente, la digestione anaerobica in recipiente (*silo*) viene essenzialmente usata per trattare rifiuti liquidi e fanghi relativamente diluiti di materiali organici. Ci sono solo pochi impianti di trattamento di RSU di questo tipo in tutto il mondo.

Il primo tentativo di impianto di digestione anaerobica di RSU di nuova concezione fu sperimentato a Pompano Beach, in Florida dal 1978-85. Da allora vari gruppi hanno sviluppato la tecnologia per la commercializzazione. Nel 1993, circa quindici impianti (di capacità significativa) stavano lavorando a ritmo pieno in tutto il mondo e quasi altri venti erano progettati o in costruzione. Tra questi ci sono impianti che usano nomi registrati (*che sono marchi di fabbrica*) come Dranco, Funnell, Valorga, Kompogas.

4.4 Sviluppo dello “Stato dell’Arte” del TMB

4.4.1 Progettazione concettuale

In accordo con le istruzioni, un TMB ‘che teoricamente è il migliore possibile’ è stato sviluppato. E’ basato su principi di progettazione concettuale come descritto sopra e sull’esperienza che TBU ha ottenuto negli ultimi quindici anni nella progettazione e nell’ottimizzazione di impianti di trattamento dei rifiuti residui. Un certo numero di impianti che sono operativi o progettati hanno parecchie delle caratteristiche dei principi della progettazione concettuale descritta in questa Sezione^{15,16,17,18}. La progettazione concettuale per un impianto con una capacità di 100.000 ton l’anno è illustrata nella Figura 1 e descritto qui sotto.

4.4.2 Locale di ricezione

Nell’impianto, il locale di ricezione ha un pavimento inclinabile in un edificio coperto in cui si opera in depressurizzazione (questo viene indicato nella Figura dell’impianto con una linea grigia a puntini).

I rifiuti vengono scaricati sul pavimento inclinabile. Quelli pericolosi vengono rimossi per essere avviati a trattamento speciale/smaltimento. Anche gli oggetti ingombranti vengono separati. Il legno non trattato viene cippato e aggiunto al processo di compostaggio, mentre gli oggetti metallici vanno ai contenitori di riciclaggio dei metalli.

4.4.3 Pre-trattamento del materiale

Dopo che il materiale è passato attraverso la fase della ricezione, il materiale viene estratto dai rifiuti mediante mezzi meccanici. Il materiale passa attraverso un aprì sacco e il vaglio 1 con un'apertura di circa 180 – 200 mm. Ciò che è più grande viene vagliato attraverso una corrente d'aria.

La frazione più pesante del sopravaglio consiste principalmente di plastiche dense (cioè bottiglie di plastica, altro materiale da imballaggio di plastica densa), contenitori metallici più grandi, alcuni materiali compositi, e altri articoli grandi indefiniti. Questo flusso passa attraverso un sistema di smistamento automatizzato che utilizza NIR (Tecnologia a raggi infrarossi, che adesso viene anche usata in alcuni nuovi impianti¹⁹ di smistamento tedeschi DSD (Duales System Deutschland). Questa tecnologia unisce in una forma nuova tecnologie meccaniche e ottiche provate e testate, permettendo lo smistamento in base alle proprietà dei materiali. Ciò permette l'identificazione e la separazione di tutti i tipi di plastiche e degli imballaggi di cartone rivestito per liquidi (prodotto in uscita 1). La frazione leggera proveniente dal vaglio con corrente d'aria consiste di carta, cartone, e pellicola di plastica (prodotti in uscita 2).

Anche il sottovaglio del selettore 1 passa attraverso un vaglio a corrente d'aria. Questo vaglio rimuove le bottiglie di plastica e altri imballaggi leggeri di < 200 mm dal flusso. Questo materiale viene dirottato al sopravaglio dal vaglio 1 per ulteriore separazione.

Quello che rimane di questo flusso passa attraverso un secondo vaglio (Vaglio 2) Il sopravaglio contiene la maggior parte del vetro. Viene sottoposto a selezione con corrente d'aria e smistamento ottico-elettronico del vetro. (prodotto in uscita 3). Successivamente il sopravaglio e il sottovaglio proveniente dal vaglio 2 vengono combinati e i metalli vengono separati mediante un separatore magnetico e uno a

mulino (prodotti in uscita 4 e 5). Un'analogia separazione dei metalli è installata dopo la linea di smistamento ottico- meccanico del sopravaglio del vaglio 1.

Il materiale viene poi tritato e viene passato ai filtri²⁰. Questa tecnologia relativamente nuova fu sperimentata a Buchen/Germania per due anni²¹. Un'altra tecnologia simile fu sviluppata dalla Wehrle.Company²² e da Komptech²³. Il principio consiste nel separare la sostanza organica facilmente degradabile dal flusso dei rifiuti, con il quale si alimenta un digestore per la produzione di biogas.

Nei filtri, viene aggiunta acqua e il materiale è mescolato. I liquidi vengono rimossi separatamente, il fango viene convogliato a una pressa a vite Dove viene rimosso ulteriore liquido. Nell'impianto CHP (combined heat and power = calore e energia combinate), il biogas viene pulito, immagazzinato e convertito in vapore ed elettricità (prodotto in uscita 6). Parte del calore generato (vapore) viene usato per aggiustare la temperatura nei digestore/i anaerobici.

I solidi che rimangono, comprese le sostanze organiche meno degradabili (con un contenuto di umidità dal 40 al 50%) vengono mischiate con il rimanente sopravaglio dopo il recupero dei materiali e vanno ad alimentare una sala di compostaggio racchiusa. Per il movimento e l'agitazione del materiale viene usato un attrezzo per rivoltare. Il mucchio (windrow = lungo cumulo basso) viene aerato attraverso un sistema a flusso aspirante. Dopo un tempo di ritenzione minimo di quattro settimane, il materiale è sufficientemente stabile da essere sottoposto ad una ulteriore maturazione all'aperto, senza alcuna emissione significativa di odori. Nelle Linee Guida MBT Austriache²⁴, si determina se il materiale è adatto per la maturazione in aree non racchiuse attraverso l'attività respiratoria, con una soglia di 20 mg/O₂ /g DS (*sostanza secca*) per quattro giorni. Questa soglia può essere raggiunta entro quattro settimane di compostaggio intensivo.

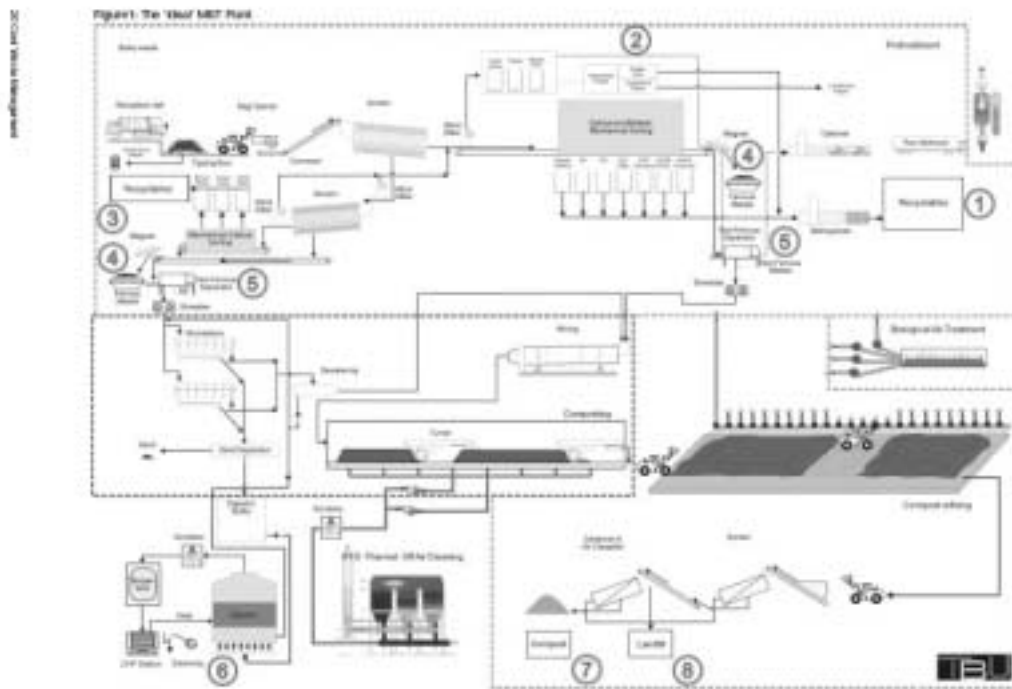


Figura 1: l'impianto di TMB ideale

Noi non prevediamo che questo materiale abbia dei problemi a raggiungere gli standard per la 'pastorizzazione' dei materiali che possano provenire dalla Direttiva dei Biorifiuti. Le regole, come potrebbero essere applicate con la Direttiva dei Biorifiuti sono mostrate nella Scheda 1. Inoltre, secondo l'emendamento all'Ordinamento dei Sottoprodotti Animali in questione, sembra che non ci dovrebbero essere problemi derivanti dal procedimento di trattamento descritto, purché tutti i procedimenti vengano eseguiti al coperto (lo sono) e specialmente se il materiale viene infine destinato allo smaltimenti in discarica. In quest'ultimo caso, secondo l'Emendamento proposto com'è attualmente, sembrerebbe poco probabile che possano sorgere dei problemi. Tuttavia, se il materiale fosse destinato ad essere usato come ricopertura di discarica per ripristino ambientale, sarebbe soggetto a restrizioni temporali, durante le quali non sarebbe

consentito il pascolo al bestiame (vedi prodotto in uscita 7)²⁵.

Il profilo di temperatura/tempo realizzato dipende molto dalla modalità di operazione dell'impianto, particolarmente, per il procedimento aerobico, dalla quantità di aria aspirata attraverso il materiale. Nell'esperienza di TBU, i biorifiuti nel materiale hanno una richiesta di ossigeno, necessario per facilitare la decomposizione, molto inferiore a quella richiesta per il raffreddamento della biomassa (per mantenere condizioni ottimali).

A seconda dei requisiti di spazio e delle condizioni locali, il mucchio che sta maturando all'aperto (*windrow*) può essere aerato o non. Nel nostro progetto abbiamo assunto che l'area di maturazione sia coperta con tetto. La maturazione all'aperto richiede dieci settimane aggiuntive prima che siano raggiunti i parametri per lo smaltimento in discarica secondo la legislazione austriaca che

attua la Direttiva sulle Discariche²⁶ della C.E. Dal materiale maturo (stabilizzato) si può separare una frazione di qualità migliore (prodotto in uscita 7) da usare per applicazioni non alimentari (copertura di discariche, ricoltivazione, controllo dell'erosione ecc.). Quello che rimane è materiale stabilizzato, privato dei materiali recuperabili per quanto possibile e adatto per uno smaltimento in discarica compatibile con l'ambiente. (prodotto in uscita 8). Col tempo, con una maggiore quantità di materiali soggetti a raccolta differenziata, e con una

tecnologia perfezionata e una progettazione ecologica spronata dalla responsabilità del produttore, questa frazione destinata alla discarica sarà minimizzata.

Se la legislazione richiedesse l'effettuazione della fase di maturazione in un ambiente chiuso (per impedire l'accesso al materiale di animali nocivi ecc.), calcoliamo che questo aggiungerebbe meno di 1£ per tonnellata al costo dell'impianto come è descritto nella Sezione 5.0 sottostante.

INSERTO 1: Estratto dalla 2° Bozza della Direttiva sui rifiuti biodegradabili

Gestione del processo

Compostaggio

Il Trattamento di compostaggio dovrà essere eseguito in modo tale da garantire nell'arco di parecchie settimane un intervallo di temperature termofile, un alto livello di attività biologica in condizioni favorevoli di umidità e nutrienti, e con una struttura e conduzione dell'aria ottimali.

Durante il trattamento di compostaggio l'intera quantità di rifiuti organici dovrà essere mescolata ed esposta a temperatura appropriata come nella seguente tabella:

	Temperatura	Tempo di trattamento	Rivoltamenti
Compostaggio in lunghi cumuli	≥55°C	2 settimane	5
Compostaggio in lunghi cumuli	≥ 65°C	1 settimana	2
Compostaggio in silo	≥ 60°C	1 settimana	N/A

Digestione anaerobica

Il processo di digestione anaerobica dovrà essere eseguito in modo tale da mantenere una temperatura minima di 55°C per un periodo di 24 ore senza interruzione e facendo in modo che il tempo di sosta idraulica nel reattore sia di almeno 20 giorni.

Nel caso di una temperatura di trattamento più bassa o di un periodo di esposizione più breve:

- i rifiuti organici dovranno essere pre-trattati a 70°C per un'ora, oppure
- quello che proviene dal processo di digestione dovrà essere sottoposto ad un post-trattamento a 70°C per un'ora, oppure
- quello che proviene dal processo di digestione dovrà essere compostato.

Trattamento meccanico/biologico

Il miglioramento delle condizioni igieniche dovrà essere ottenuto come nella [sezione riguardante il compostaggio] nel caso di trattamento aerobico, o come nella [sezione per la digestione anaerobica] nel caso di trattamento anaerobico.

4.5 Prodotti e proprietà dei materiali

L'impianto è stato valutato come trattamento per la gestione dei rifiuti urbani. Abbiamo preso in considerazione il risultato dello studio svolto da Julian Parfitt del WRAP, essendo questi i dati più rappresentativi per i rifiuti urbani nel Regno Unito. Questa indagine si è basata su dati relativi alla composizione provenienti dalle autorità locali,

di cui erano disponibili analisi effettuate per più di una stagione. I dati erano relativi alla composizione dei rifiuti domestici, ma probabilmente ci forniscono la miglior rappresentazione che abbiamo di un'analisi dei rifiuti aggiornata. L'analisi è mostrata qui sotto:

Tabella 8: Composizione dei Rifiuti, Rifiuti urbani (si suppone siano rifiuti domestici)

Categoria	'Rifiuti da bidone della spazzatura' Residui RCV + riciclo da raccolta stradale & riciclo non CAS			Rifiuti da sito per amenità civiche (e.g. parchi, biblioteche, negozi, ecc.) Totale residui CAS + riciclo (escluse le macerie da costruzioni)		
	Tonnellate	Kg/famiglia	Peso %	Tonnellate	Kg/famiglia	Peso %
Giornali e riviste	1.501.462	71	8,1%	71.319	3	1,3%
Altra carta riciclabile	1.072.998	51	5,8%	51.875	2	0,9%
Scatole di cartone per liquidi	77.373	4	0,4%	1.081	0	0,0%
Tavole per imballaggi	228.123	11	1,2%	89.701	4	1,6%
Imballaggi di carta e cartone	645.512	31	3,5%	2.161	0	0,0%
Altro cartone	28.956	1	0,2%	6.404	0	0,1%
Carta non riciclabile	637.612	30	3,5%	13.878	1	0,3%
Bottiglie di plastica	387.574	18	2,15%	7.432	0	0,1%
Altri imballaggi di plastica densa	394.718	19	2,1%	9.890	0	0,2%
Altra plastica densa	732.585	35	4,0%	17.764	1	0,3%
Tessili	588.808	28	3,2%	110.970	5	2,0%
Bottiglie e barattoli di vetro	1.463.119	69	7,9%	68.688	3	1,2%
Altro vetro	94.792	4	0,5%	12.718	1	0,2%
Legno	506.776	24	2,7%	488.479	23	8,8%
Mobili	49.050	2	0,3%	255.344	12	4,6%
Pannolini monouso	443.532	21	2,4%	0	0	0,0%
Altri combustibili eterogenei	110.558	5	0,6%	126.569	6	2,3%
Non combustibili-eterogenei	381.812	18	2,1%	827.140	39	15,0%
Lattine di metallo e fogli	621.705	29	3,4%	528	0	0,0%
Altri metalli non ferrosi	0	0	0,0%	4.761	0	0,1%
Rottami di metallo/Ingombranti domestici (lavatrici, frigoriferi, ecc.)	543.958	26	2,9%	636.017	25	9,7%
Batterie	0	0	0,0%	11.786	1	0,2%
Olio di motore	0	0	0,0%	6.626	0	0,1%
Rifiuti da giardini	2.823.990	134	15,3%	2.077.970	98	37,6%
Terra e altri rifiuti organici	210.524	10	1,1%	624.462	30	11,3%
Rifiuti di cucina	2.234.429	106	12,1%	16.654	1	0,3%
Rifiuti da cucina	1.865.300	88	10,1%		0	0,0%

non compostabili a casa						
Materiale fine	681.657	32	3,7%	49.957	2	0,9%
TOTALE	18.441.188	872	100,0%	5.520,811	261	100,0%

I tipi di intercettazione che potevano essere raggiunti in sistemi di raccolta differenziata spinta furono stimati e applicati ai dati della Tabella 8. Questo lasciava una composizione di rifiuti residuali come illustrato nella Tabella 9. L'effetto dei sistemi di raccolta differenziata è di ridurre la frazione organica nei rifiuti residui dal 39% al 19%. Questo è in accordo con sistemi ben funzionanti in Austria e in Italia. Per quanto riguarda i rifiuti urbani biodegradabili, il tasso di diversione è del 74% di ciò che si trova nel flusso dei rifiuti iniziale. Di nuovo, questo è in accordo con i sistemi di raccolta ben gestiti in Austria, in Italia e nelle Fiandre.

I dati sulla composizione sono stati usati per produrre una raccolta di dati sulla composizione finale fisica e chimica dei rifiuti residuali in ingresso all'impianto (sulla base 'di come sono stati ricevuti'). Questa composizione dei rifiuti è stata usata per i calcoli di bilancio di massa. Inoltre, le caratteristiche di separazione dei vagli per le varie componenti del flusso dei rifiuti sono state applicate, nello stesso modo in cui sono state sottoposte a verifica in varie prove e

studi eseguiti da TBU per progettare e/o ottimizzare gli impianti di trattamento dei rifiuti residui²⁷.

Questi dati sulla composizione del materiale e sulle caratteristiche fisico/chimiche costituiscono il materiale di base che l'impianto è chiamato trattare. Chiaramente, le caratteristiche fisico/chimiche non possono essere specificate completamente a causa della variazione insita nelle categorie che sono specificate nei dati sulla composizione. Inoltre, le analisi fisiche e chimiche non si riferiscono sempre alle stesse categorie che stiamo considerando, mentre problemi possono anche nascere dal fatto che alcuni di questi dati sono superati. Le analisi che abbiamo passato in rassegna includono dati dal Regno Unito, Germania, Austria, Paesi Bassi e Svezia.

Anche le efficienze nella separazione di metalli e nei separatori a corrente d'aria sono basate su sperimentazioni e sull'esperienza. Ulteriori informazioni sono fornite nella descrizione seguente relativa ai prodotti in uscita.

Tabella 9: Composizione dei rifiuti residui dopo sistemi di raccolta differenziata efficaci

Materiale	Composizione % del residuo
Giornali e riviste	6,13%
Altra carta riciclabile	5,01%
Confezioni di cartone per liquidi	0,53%
Imballaggi di tavole	1,04%
Imballaggi di cartone e carta	2,62%
Altro cartone	0,19%
Carta non riciclabile	2,75%
Bottiglie di plastica	2,63%
Altri imballaggi di plastica densa	3,74%
Altra plastica densa	1,51%
Pellicola di plastica	8,58%
Tessili	4,24%
Bottiglie e barattoli di vetro	2,05%

Altro vetro	0,94%
Legno	5,36%
Mobili	2,04%
Pannolini usa e getta	4,16%
Altri combustibili eterogenei	2,50%
Non combustibili eterogenei	8,44%
Lattine di metallo e Pellicola d'alluminio	2,50%
Altri metalli non ferrosi	0,02%
Rottami di metallo/Ingombranti	2,17%
Batterie	0,03%
Olio di motore	0,01%
Rifiuti da giardino	5,18%
Terreno e altri rifiuti organici	3,08%
Rifiuti da cucina	9,09%
Rifiuti da cucina non compostabili a casa	7,50%
Materiale fine	5,95%
TOTALE	100,00%

4.5.1 Prodotto in uscita 1

Questo è composto principalmente da vari articoli di imballaggio di plastica densa, cioè HDPE, e PET, che vengono ulteriormente separati in colorati e trasparenti. Il sistema ottico-elettronico smista praticamente gli oggetti. A parte il Sistema SORTEC, l'UNISORT (di proprietà della Waagner Biro Binder Austria) e il KUSTA 4002 sono alcuni dei sistemi che consentono lo smistamento simultaneo ad alta velocità di una varietà di tipi di plastica.

Il software del procedimento controlla ciascun oggetto identificato lungo il percorso e innesca degli eiettori pneumatici che forzano le diverse plastiche a entrare in scivoli predefiniti. Gli scivoli sfociano su un nastro trasportatore e da qui i tipi di plastica vengono trasportati a un imballatore. La qualità del materiale è simile a quello di un MRF (*impianto per il recupero dei materiali*) convenzionale e, quindi, non si prevedono problemi per la vendita. I prezzi presunti sono elencati in Tabella 10.

La quantità di bottiglie di plastica separate per il riciclo dei materiali sarà intorno a 2.000 t/a. Inoltre, verranno recuperati circa 2.500 t/a di altri imballaggi di plastica densa (tinozze ecc.). Il reddito da questa produzione è stimato intorno a 150.000 £/a.

4.6 Prodotto in uscita 2

Questo è una miscela di carta/cartone (10.300 t/a) e pellicole di plastica (5.700 t/a). Attualmente ci sono due modi per trattare questo materiale che non prevedono l'incenerimento.

1) Il materiale può essere messo in discarica. In alcuni paesi questo sarebbe proibito dall'alto valore calorifico del materiale, o dall'esistenza di altri divieti sulla messa in discarica.

2) Si possono separare la carta e la pellicola di plastica. A questo punto, solo un sistema di separazione umida viene considerato sufficientemente sviluppato per realizzare la separazione su scala commerciale. Sarebbe necessario seccare la frazione plastica e andrebbe successivamente confezionata a balle per i mercati. Inoltre, la pellicola di plastica mischiata di solito è soltanto adatta per 'down cycling' (sotto riciclaggio) (del materiale) e quindi non raggiunge prezzi attraenti. La carta dovrebbe essere usata per alimentare l'unità di compostaggio dell'impianto, oppure venduta come fango a una cartiera. Per quanto riguarda la pellicola di plastica eterogenea, il prezzo pagato per questo fango, a malapena coprirebbe i costi di trasporto.

Per lo scopo di questo studio, si è assunto che la carta vada alla cartiera a un costo di £10/t. Si è assunto che la pellicola di plastica

eterogenea vada in discarica a un costo di £30/t, sebbene potrà diventare possibile l'utilizzo di questo materiale in altre applicazioni (di materiali).

4.7 Prodotto in uscita 3

Il sopravaglio del vaglio 2 ha una dimensione delle particelle definita di 80 – 200 mm. Due separatori a corrente d'aria hanno rimosso il materiale leggero come la pellicola di plastica, le bottiglie di plastica, il cartone, il cartone per liquidi, ecc. Un'unità di smistamento ottico – elettronico rimuoverà da questo flusso di materiali il vetro, smistato in base ai colori. In questo studio si sono assunti elevati tassi di raccolta differenziata (nelle famiglie) e quindi la proporzione di vetro nei rifiuti residui è molto piccola. Con un'efficienza del 60% (che è una stima conservativa), circa 1.500 t/a di vetro possono essere rimosse dal flusso dei rifiuti e vendute a £20/t (= £ 30.000 p.a.).

4.8 Prodotto in uscita 4

Due separatori magnetici sono installati nell'impianto. Ciascuno opera su una linea con dimensioni delle particelle definite e si è assunto che abbiano un'efficienza del 90% (basandosi sull'esperienza di altri impianti). In totale verranno separate 1.530 t/a di metalli ferrosi. Il materiale sarà in qualche misura contaminato (soprattutto residui organici), ma non vengono riferiti problemi seri di marketing dai vari impianti che noi conosciamo. Il prezzo di mercato che ci si aspetta è di circa £25/t (= £ 45.000 p.a.).

4.9 Prodotto in uscita 5

Due separatori a mulino a vortice recuperano i metalli non ferrosi. Ci si aspetta di recuperare vicino a 2.000 t/a di materiali non ferrosi ad un prezzo di £ 450/t (= £ 45.000 p.a.).

4.10 Prodotto in uscita 6

I liquidi dai filtri vanno all'unità di digestione anaerobica. Questa unità funzionerà in maniera affidabile, perché attraverso i digestori passeranno dei liquidi e non una larga proporzione di solidi, come spesso succede negli impianti di digestione anaerobica convenzionale. I digestori

produrranno approssimativamente 40m³ di biogas per tonnellata di rifiuti residui (totali) in ingresso con un contenuto di CH₄ fino al 70%²⁸.

La Tabella 11 mostra il bilancio di massa per il filtraggio e per l'AD (Digestione Anaerobica). Del materiale in ingresso (63.000 t/a), circa 18.000 t/a sono acqua della lavorazione, parte del materiale viene trasformato in biogas o viene degradato ad altre sostanze e una parte è sabbia. La maggior parte dell'acqua di processo potrà essere riutilizzata nella fase di stabilizzazione (compostaggio), dove c'è bisogno di aggiunta di acqua per mantenere un livello ottimale di umidità per l'attività biologica durante un periodo di parecchie settimane.

Dal biogas è possibile generare nell'adiacente impianto CHP circa 80 -100 kWh di elettricità e 100 – 180 kWh di calore per tonnellata di rifiuti residui totali in ingresso. Questo significa che c'è abbondante vapore per riscaldare il materiale in ingresso al digestore ed energia sufficiente per far funzionare l'intero impianto di TMB (aerazione, trituratori, attrezzature ecc.) con l'energia elettrica prodotta.

Sebbene la maggior parte dell'energia generata venga usata nell'impianto, si potrebbe prendere in considerazione lo sviluppo di un mercato di energia rinnovabile. Nel Regno Unito, l'energia elettrica proveniente dalla digestione anaerobica dei rifiuti attira i Certificati di Obbligazioni Rinnovabili (ROCs). Questi vengono usati come 'certificati di adesione' per dimostrare che nel progetto una proporzione minima di elettricità è stata fornita da fonti rinnovabili. Il prezzo di 'indennizzo' per i ROCs (che possono agire come tetto dei prezzi, ma che ugualmente possono essere superati) è di 3p/kWh. Quindi, effettuando un 'arbitraggio' (*acquisto e vendita simultanea dello stesso o di equivalente bene economico ecc. nello stesso o in diversi mercati per guadagnare da discrepanze nei prezzi*) efficace nel mercato per l'elettricità, potrebbe essere possibile rendere l'impianto più economico, facendolo

funzionare con energia acquistata da un fornitore di servizi, nel contempo vendendo l'energia rinnovabile ad un prezzo più elevato in rete. Questo potrebbe ridurre il costo per tonnellata di materiale in ingresso di £ 2,40 – 3,0/tonnellata

4.11 Prodotto in uscita 7

I prodotti in uscita 7 e 8 sono i prodotti finali del procedimento di stabilizzazione biologica. In totale 45.600 t/a entrano in questo processo. Questo è composto da 35.000 t/a dai filtri, più 10.600 t/a dalla stazione di smistamento automatizzata. Il 70% in peso è di materiale organico. Quindi, questo flusso viene unito con i solidi provenienti dalla percolazione ed entra nel processo di stabilizzazione.

Durante il processo di stabilizzazione (quattro settimane di degradazione intensiva in un ambiente chiuso, dieci settimane aggiuntive di maturazione in un'area con tetto) ci si aspetta una riduzione del 40% in peso. La maggior parte della riduzione consiste nella perdita d'acqua (evaporazione) e una parte consiste nella degradazione di materia organica (CO₂). Nei sistemi di TMB convenzionali, questa riduzione di peso è di circa 30%. Nell'impianto qui descritto, c'è una quantità maggiore di contenuto organico che entra nel procedimento biologico e il materiale ha un contenuto iniziale di umidità superiore. La somma di questi effetti dà una riduzione di massa di livello più elevato. Il materiale in uscita dalla fase di lavorazione biologica è quindi di circa 27.000 t/a.

Questo materiale è adatto per essere messo in discarica secondo le più recenti linee guida e ordinanze per le discariche vigenti nei paesi europei (vedi Appendice 1). Tuttavia, è possibile separare una frazione con un contenuto organico più elevato e concentrazioni di metalli pesanti più basse da usare come compost per applicazioni di qualità inferiore (come il risanamento ambientale). Questo si può fare mediante uno screening (selezione) del materiale (ad esempio 5 – 15 mm) seguito dalla rimozione di sassi e particelle di vetro in un separatore

balistico. La resa prevista di questa frazione di qualità superiore è di circa 7.000 t/a.

E' ben noto che i materiali derivati dai RSU sono di qualità inferiore confrontati al compost ottenuto da rifiuti organici provenienti da raccolta differenziata. Tuttavia, l'impianto presentato in questo studio otterrà una significativa rimozione delle componenti non compostabili, con un elevato grado di separazione dei metalli (e con essi delle batterie). Questo in effetti ridurrà la concentrazione in metalli pesanti del materiale in uscita, rispetto ai trattamenti che effettuano il compostaggio di tutti i rifiuti residui senza separazione meccanica.

4.12 Prodotto in uscita 8

Questo prodotto in uscita è il materiale stabilizzato che rimane dopo la separazione del materiale. Consisterà di circa 20.000 t/a. Oggi come oggi, non ci si può fare altro che metterlo a dimora in discarica. In base alle esperienze in altri TMB, si stima che questo prodotto in uscita sarebbe conforme agli standard austriaci relativi, cioè il CV (valore calorifico) lordo sarà dell'ordine di 6 MJ/kg (Il CV inferiore dell'ordine di 2,6 MJ/kg). Il contenuto di umidità sarà tra il 20 e il 30%, la perdita all'infiammabilità del 35%.

A parte il materiale stabilizzato della fase biologica, nella Tabella 12 si elencano altre tre frazioni di rifiuti che potrebbero richiedere la messa in discarica. Una è una proporzione di rifiuti ingombranti che è stata separata nell'ambiente di ricezione e non è riciclabile. Un'altra è la sabbia dei digestori. Infine, se non si trova un uso per la pellicola di plastica, questo materiale verrebbe messo in discarica a £30 per tonnellata (e questo viene supposto nei costi successivi). E' possibile che questo materiale trovi applicazioni. In totale, la quantità di materiale che è necessario mettere in discarica dopo trattamento meccanico biologico è di 25.000 t/a, o circa un quarto dei rifiuti residui in ingresso nell'impianto, escludendo la pellicola di plastica. Se si include la pellicola di plastica, la quantità aumenta a 31.000 t/a, ancora meno di un terzo del materiale in ingresso. Si assume che i

costi per lo smaltimento di questi residui siano di £ 30/t, incluso un po' di trasporto,

cioè un costo totale di £ 759.000 – 930.000 per anno.

Tabella 10: Prezzi di mercato per le plastiche (variazioni indicative)

Materiale	Colore	Prezzo (£/t)
Bottiglia HDPE	Qualsiasi	100-130
Bottiglia di PET	Trasparente Colorata	90-130 0-45
PVC		0-20
Miste		0-35

Tabella 11: Bilancio di massa per percolazione e AD (*digestione anaerobica*)

Materiale in ingresso al percolatore	
Tonnellate totali	62.000
Materiale in uscita dal percolatore (tonnellate)	
Biogas	3.700
Acqua da trattamento	18.000
Sabbia	3.000
Degradazione	2.200
Al compostaggio	35.000

Tabella 12: Materiale che richiede la messa in discarica

Materiale	T/a
Materiale stabilizzato in ingresso in discarica	18.729
Rifiuti ingombranti (50%)	860
Sabbia (digestore)	4.783
(pellicola di plastica)	(5.700)
Totale discarica (escluso la pellicola)	24.000
Totale discarica (incluso la pellicola)	29.700

Questo può naturalmente aumentare, se i costi per la messa in discarica aumentano in conseguenza della scarsità e/o delle tasse più elevate per l'interramento, sebbene questa tassa sia verso l'estremità superiore degli attuali prezzi di ingresso. Infine, la somma presuppone che la sabbia attiri una tassa per la messa in discarica al tasso più alto – potrebbe ben essere che questa (*sabbia*) potrebbe essere mantenuta sufficientemente pulita da giustificare l'applicazione della tassa per la messa in discarica al costo più basso (cosa che implicherebbe un risparmio di circa £ 0,50 per tonnellata di rifiuti in ingresso nell'impianto).

Con le tasse per la messa in discarica che potrebbero aumentare a £ 35 per tonnellata, le cifre potrebbero salire a £1,27 - £ 1,55 milioni, aumentando i costi riportati successivamente di circa £ 5 – 6 per tonnellata di rifiuto in ingresso nell'impianto. Tuttavia, si dovrebbe notare che ci sono interessanti domande riguardo alla linea di condotta (*da seguire*) che si potrebbero fare riguardanti lo status dei rifiuti da TMB messi in discarica. In Austria, l'Alsag, o tassa per la messa in discarica è imposta a diversi tassi per materiale che abbia raggiunto gli standard di stabilità fissati per i rifiuti destinati alla discarica e per i rifiuti non trattati. La cifra

attuale per i rifiuti non trattati è di € 87 per tonnellata (circa £ 55 per tonnellata). Quando i rifiuti vengono pre-trattati in modo da soddisfare i criteri di stabilità, il tasso applicato è di € 21 per tonnellata (ovvero circa £ 13 per tonnellata). Questa differenza di £ 42 è più che sufficiente per far sì che il pre-trattamento diventi un'opzione attraente (in verità preferibile) rispetto alla messa in discarica diretta, specialmente se si considera che per ciascuna tonnellata (a seconda del procedimento) di materiale in ingresso in un dato procedimento di TMB, molto meno di una tonnellata (a seconda del procedimento) resterà da mettere in discarica. In questo contesto si potrebbe anche considerare il fatto

5.0 Valutazione dei costi

5.1 Background

L'economia delle tecnologie di trattamento dei rifiuti residui è molto sensibile al sito, ai problemi locali e regionali e al tipo di applicazione. I costi dipendono da una serie di fattori incluso:

- tipi di proprietà (privata/pubblica) e quindi il tasso di profitto e il margine di profitto richiesto;
- risorse necessarie per ottenere l'approvazione e i permessi necessari;
- livello dei limiti di emissioni per aria e acqua;
- requisiti estetici (progettazione);
- intese sulla condivisione dei rischi (il livello delle garanzie sulle prestazioni determina il livello delle contingenze incorporate);
- le capacità di pronto intervento e di tamponamento (*di eventuali danni*) richiesti; e
- la differenza tra capacità nominale ed effettiva.

Si deve, quindi, notare che i costi che abbiamo sviluppato devono essere visti solo come valori guida. Si deve enfatizzare che qualsiasi *prezzo* che possa essere discusso nell'arena pubblica non rifletta necessariamente i *costi* di una certa tecnologia: il prezzo di offerta di un produttore/venditore può riflettere una strategia di marketing a lungo termine per

che un tale trattamento ridurrebbe anche qualsiasi rischio di diffusione di malattie del bestiame.

Se una simile legislazione venisse introdotta nel Regno Unito, il materiale residuo menzionato qui potrebbe essere significativamente ridotto (il differenziale nelle tasse tra materiali attivi e inerti attualmente è di £ 11 per tonnellata – se il materiale organico stabilizzato venisse incluso tra i materiali abilitati al costo più basso di tassa per la messa in discarica, i costi dell'impianto sarebbero di circa £ 2 per tonnellata, meno di quanto stimato sotto).

cercare di stabilire un impianto di primo riferimento significativamente sotto costo in un paese o in una regione. Vale anche la pena notare che i venditori occasionalmente indicano prezzi ben al di sotto degli effettivi livelli, quando non sono vincolanti.

Altri fattori che spesso contribuiscono al divario tra i costi e i "prezzi" del sistema includono:

- costo per l'uso del terreno non incluso o fornito gratis;
- uso di costruzioni non incluso, o fornito gratis o ad un prezzo ridotto;
- fornitura di servizi ausiliari gratuita o a un prezzo ridotto (energia, accesso, trattamento/smaltimento dei reflui liquidi, ripristino ambientale, pesa, personale ecc.);
- messa in discarica dei residui gratuito o non incluso;
- venditore/gestore può aver inoltrato con successo una domanda per ottenere finanziamenti per ricerche e sviluppo.

5.2 Valutazione

Si è fatta una valutazione dei costi della tecnologia, basandosi su un modello in cui si usano i costi effettivi di impianti stabiliti in tutto il mondo, applicati a installazioni e condizioni operative locali. Per le tecnologie per le quali non esistono impianti su larga

scala, le stime dei costi sono state basate su offerte per “progetti reali” e su stime proprie.

La somma spesa in capitale per un impianto di 100.000 t/a sarà di quasi £ 30 milioni. Le principali voci del capitale sono elencate in Tabella 13. Ulteriori informazioni sulla valutazione dei costi e sui calcoli sono riassunte nella Tabella 14. La Tabella contiene anche le assunzioni che formano la base della nostra valutazione. Inoltre, abbiamo fatto le seguenti assunzioni:

- la quantità di materiale che viene messo in lavorazione nell'impianto pari a 100.000 t/a
- Tasso di interessi al 7%
- Nessun costo per l'uso del terreno

I risultati della valutazione dei costi mostrano costi annuali (incluso l'ammortamento) di £ 60/t. Se si sottrae il reddito proveniente dalla vendita dei prodotti, allora i costi ammontano a circa £51/t per i rifiuti residui in ingresso.

Riteniamo che questi costi siano stimati “con un margine di sicurezza”, sebbene imparzialmente, come dichiarato sopra, alcune specifiche voci di costo siano assenti.

5.3 Questioni di scala

L'impianto è stato valutato per una capacità di 100.000 tonnellate. Da notare che un importante vantaggio di questo tipo di impianto è che le diseconomie dovute a scale più piccole intervengono a livelli relativamente bassi. In molti impianti di TMB, si prevede che i costi restino ampiamente costanti fino a una scala intorno alle 30.000 tonnellate. Poiché, in questo progetto di impianto ci sono più voci relative al capitale in cui si investe, ci aspetteremmo che costi simili si applicherebbero fino ad un livello di 40 – 50.000 tonnellate. Non sono previste economie di scala per impianti di dimensione maggiore.

Tabella 13: Costi di capitale per voce¹

Componente	(000 £)
Sviluppo del sito dell'impianto	500
Edificio per la ricezione e separazione	4.000
Separazione	4.000
Edificio per la percolazione/AD	2.500
Percolazione /AD	4.000
Produzione di elettricità	700
Trasportatore (smistamento W/O)	700
Locale per il compostaggio	3.100
Attrezzature per il compostaggio	2.000
Maturazione	1.200
Raffinazione	500
Trattamento aria/lavori per condutture	1.000
Biofiltri	500
RTO	1.500
Attrezzature mobili	800
Infrastrutture, varie r ricambi	1.500
Totale	28.400

(1) senza ingegneria, progettazione o commissioni

Tabella 14: Valutazione del costo di Trattamento Meccanico Biologico

Costi del capitale			Ammortamento		
	Costo del capitale		Periodo (anni)	Costi (£/a)	Costi (£/t)
Lavori strutturali e civili	10.500.000		20	991.126	9,91
Impianto e attrezzature	17.200.000		15	1.888.468	18,88
Veicoli e attrezzature mobili	800.000		6	167.837	1,68
Ingegneria, progettazione e commissioni	1.425.00		20	134.510	1,35
Subtotale	29.925.00			3.181.940	31,82
Manutenzione e costi delle riparazioni	% di C/C			Costi (£/a)	Costi (£/t)
Edifici	1,5%			157.500	1,58
Attrezzature dell'impianto	3,5%			602.000	6,02
Veicoli, attrezzature mobili	5,0%			40.000	0,40
Subtotale				799.500	8,0
Costi di conduzione	N°.	Unità	Tasso	Costi (£/a)	Costi (£/t)
Personale:					
Direttore dei lavori	2	Persone	33.000	66.000	0,66
Amministrazione	1	Persone	22.000	22.000	0,22
Assistenti operatore	3	Persone	25.000	75.000	0,75
Pavimento inclinabile	2	Persone	12.000	24.000	0,24
Caricatore Eletttrici	3	Persone	19.000	57.000	0,57
Manutenzione Autocarro	2	Persone	22.000	44.000	0,44
Totale dei salari	18	persone	20.000	66.000	0,66
				30.000	0,30
				384.000	3,84
	N°.	Unità	Tasso	Costi (£/a)	Costi (£/t)
Combustibile		Somma globale	30.000	30.000	0,30
Costi di funzionamento del RTO		Somma globale	50.000	50.000	0,50
Acqua	0	m ³ /anno		0	0,00
Fognatura	0	m ³ /anno		0	0,00
Elettricità		Somma globale	0	0	0,00
Servizi pubblici		Somma globale	100.000	100.000	1,00
Consumi		Somma	120.000	120.000	1,20

		globale			
Assicurazione		Somma globale	150.000	500.000	5,00
Competenze per gestione		Somma globale	80.000	80.000	0,80
Costi corporativi (contabilità ecc.)		Somma globale	50.000	50.000	0,50
Assicurazione di qualità		Somma globale	150.000	150.000	1,50
Smaltimento in discarica (incluso trasporto)	24.000	t/anno	30	720.000	7,20
Subtotale				1.800.000	18,00
Entrate	N°.	Unità	Tasso	Costi (£/a)	Costi (£/t)
Vendita metalli ferrosi	1.500	t/anno	25	37.500	0,38
Vendita metalli non ferrosi	2.000	t/anno	450	900.000	9,00
Vendita del vetro	1.500	t/anno	20	30.000	0,30
Vendita della carta	10.300	t/anno	-10	-103.000	-1,03
Vendita si plastiche dense/bottiglie	4.500	t/anno	70	315.000	3,15
Vendita delle pellicole di plastica	5.700		-30	-171.000	-1,71
Vendita del compost	6.200		-5	-31.000	-0,31
Subtotale				977.500	9,79
Costi annuali totali (escluso le entrate)				6.165.440	61,65
Costi annuali totali (incluso le entrate)				5.187.940	51,88
Costi annuali totali (incluse le entrate, come gli incentivi relativi alle obbligazioni rinnovabili)					49,18

6.0 Valutazione delle prestazioni ambientali

L'impianto di trattamento meccanico biologico presentato in questo studio è di nuova progettazione. Sebbene le varie componenti dell'impianto siano in funzione in altri impianti, la combinazione delle componenti è unica. Inoltre, i materiali che

passano attraverso queste componenti sono in parte diversi dai materiali che passano attraverso le stesse componenti in altri impianti. In altre parole, attualmente nessun impianto di questo genere sta funzionando in qualsiasi parte del mondo. C'è un alto grado

di certezza che questo impianto funzionerà in modo affidabile.

Tuttavia, l'intraprendere una completa LCA (valutazione del ciclo di vita), cosa che sarebbe necessaria per quantificare tutti i flussi di sostanze attraverso il sistema e per quantificare i crediti dai prodotti riciclati, va oltre la portata di questo studio. Quindi abbiamo fatto una rassegna dei cicli di vita, nella quale si confrontano l'impianto e i suoi flussi di sostanze e di massa con altre opzioni di trattamento dei rifiuti residui.

6.1 Analisi del flusso di sostanze per materia organica

In aggiunta al bilancio di flusso di massa, TBU ha eseguito una SFA (Analisi del Flusso di Sostanze) per elementi selezionati per desumere la qualità attesa della materia organica (compost) che viene separata dal materiale stabilizzato. La procedura viene descritta sotto.

E' nota la composizione dei *materiali* in ingresso. La composizione elementare di ciascun materiale è stata presa dal Oeko-Institut²⁹. Questa composizione è stata poi applicata ai calcoli di bilancio di massa. Nella terza colonna della Tabella 15 sono mostrati i risultati per i prodotti in uscita dal procedimento biologico. La quarta colonna è una stima delle concentrazioni di metalli pesanti nel compost, assumendo una riduzione del 20% in confronto al materiale in uscita totale. L'ultima colonna indica gli standard applicati nella Specificazione (*descrizione dettagliata*) Pubblicamente Disponibile per i Materiali Compostati³⁰. Questo mostra perché il materiale non è adatto per applicazioni prive di restrizioni nel terreno (sebbene non ci sia niente nella legge del Regno Unito che impedisca questo come tale).

La Tabella 15 mostra che le concentrazioni di metalli pesanti nel compost proveniente da questo impianto sono approssimativamente del 50% inferiori rispetto a quelle dei TMB convenzionali. Gli elementi selezionati sono anche indicatori per alcuni altri inquinanti nel compost. Questi sono al di sotto delle soglie indicate per i lotti di terreno da coltivare e per i giardini domestici elencati nel ICRCL 53/83, tranne che per il nichel che è leggermente sopra.

Di nuovo, da notare che il compost prodotto in questo impianto non va inteso e non deve essere visto come un'alternativa al compostaggio di materiali proveniente dalla raccolta differenziata di alimenti e da giardini. Tuttavia, può essere potenzialmente impiegato in una serie di applicazioni subordinate. Questi usi potrebbero includere:

- la copertura di discariche
- lo strato superficiale di una copertura di discarica
- copertura degli argini di una strada (e ferrovia)
- controllo dell'erosione
- bonifica di siti
- Come ammendante del terreno (*sostanza aggiunta per migliorare il suo stato fisico*) per altri siti ad uso non alimentare.

6.2 Trattamento dell'aria

Il controllo delle emissioni di aria da sistemi di TMB è definito dal MBA-Richtlinie (Direttiva per il TMB) in Austria e dal 30.BImSchV³² in Germania. Per minimizzare i costi dei sistemi di trattamento dell'aria, la pulitura dovrebbe dipendere dal carico e dalla durata di produzione dell'aria esausta. In genere si può distinguere tra:

- *aria esausta dal locale di ricezione e dal pre-trattamento*, che ha un carico leggero e si ha solo durante le ore di lavoro; e
- *aria esausta dal trattamento biologico (aerobico ed anaerobico)* con un carico elevato continuo.

Tabella 15: Confronto dei risultati del SFA (*analisi del flusso di sostanze*)

Elemento	Letteratura ³¹	Materiale stabilizzato	Compost	PAS 100
----------	---------------------------	------------------------	---------	---------

Pb	695	405	324	200
Cd	7,4	2,9	2,3	1,5
Ni	87	120	96	50
Hg	3,0	0,8	0,6	1

La Figura 2 mostra il principio del sistema di trattamento proposto. L'aria esausta proveniente dal locale di ricezione e dal pre-trattamento (smistamento, ecc.) può essere trattata biologicamente mediante biofiltri. L'aria pesantemente carica proveniente dal trattamento biologico (aerobico ed anaerobico) ha bisogno di pulitura dell'aria con sistema termico, anche chiamato RTO (Regenerative Thermal Oxidisation = Ossidazione termica rigenerativa). Sia RTO che i biofiltri hanno l'appoggio degli "scrubbers" acidi per ridurre i carichi di gas grezzo.

Nel RTO, gli idrocarburi sono ossidati ad anidride carbonica e vapore in una camera di combustione. Il recupero del calore viene realizzato usando scambiatori di calore in ceramica. Dopo il completamento con buon esito dell'ossidazione, una seconda camera viene di nuovo scaldata con l'aria esausta calda. Il cambiamento ciclico della direzione del flusso garantisce il funzionamento permanente.

6.3 Emissioni in aria

6.3.1 Emissioni in aria dall'impianto

Le emissioni in aria sono state calcolate in base alla quantità di materiale che entrava nella fase di trattamento biologico. I dati sulle emissioni sono stati ottenuti principalmente da BZL³³ e Doedens et al.³⁴. Sono stati presi dai risultati di monitoraggio dell'aria pulita proveniente da RTO relativamente alla fase di putrefazione intensa nel locale incapsulato

(quattro settimane), assumendo che l'unità di conversione del biogas abbia caratteristiche di emissione simili al RTO. Oltre a questo ci sono i dati sulle emissioni dei prodotti in uscita dai biofiltri MBA corretti per il periodo di maturazione. La Tabella 16 mostra i risultati dei calcoli.

Si prevede che le emissioni dai composti organici siano trascurabili, dato che la maggior parte di tali emissioni (nell'aria in uscita non trattata) avvengano durante le prime *due* settimane di putrefazione (vedi la Figura 3)³⁵ e, dopo le prime *quattro* settimane, l'aria in uscita dal trattamento biologico viene trattata nel RTO che ossida l'intero carico biologico. Anche le emissioni di NO_x che potenzialmente possono provenire dai biofiltri verranno ridotte ad un livello non rilevabile, mediante l'uso di "scrubbers" acidi anteposti al RTO e mediante l'uso di biofiltri.

6.3.2 Emissioni in aria da discarica

Come viene discusso nell'Appendice 1, alcuni studi hanno effettuato il calcolo delle emissioni di gas da discariche contenenti materiale prodotto da TMB. Tutti concludono che queste emissioni sono significativamente ridotte. Uno studio recente di Doedens et al.³⁶ ha condotto una ricerca a lungo termine su tre TMB, concludendo che il potenziale di produzione di gas da discarica con materiale proveniente da TMB è ridotto del 95% rispetto a quello di rifiuti non trattati.

6.3.3 Crediti delle emissioni in aria da materiali riciclabili recuperati

I crediti per le emissioni atmosferiche sono grandi specialmente per i metalli. Con un recupero ulteriore intorno alle 3.400 t/a, il beneficio per la messa in discarica in confronto al flusso dei rifiuti globale di 100.000 t/a è significativo. Significativo è anche il rilascio evitato di emissioni di gas serra e tossiche durante la purificazione e la lavorazione. I benefici attribuiti agli altri flussi di materiali riciclabili secchi sono dello stesso ordine di grandezza. La quantificazione di questi benefici va oltre lo scopo di questo studio.

6.3.4 Confronto

Per consentire il confronto, le emissioni in aria delle tecnologie di trattamento dei rifiuti sono mostrate nelle Figure sotto³⁷. Queste confermano che nella maggior parte dei casi, la tecnologia TMB ha la quantità più bassa di emissioni in aria. Da notare che queste sono soltanto le emissioni dirette e non comprendono crediti né per il recupero di energia, né per il recupero di materiali.

Nel caso che vengano calcolati i carichi evitati, si deve capire quanto segue. In primo luogo si può considerare che le tecnologie di recupero energetico – l'incenerimento e, in

misura minore, le discariche (dove il gas raccolto viene bruciato per recupero energetico) conducono ad evitare emissioni che potrebbero altrimenti avvenire attraverso tecniche di generazione di energia alternative. Per ragioni esaminate altrove, riteniamo che la supposizione più appropriata nel Regno Unito sia che nuovi impianti che generano elettricità dovrebbero essere presi in considerazione per 'sostituire' una miscela di generazione alimentata da gas e da energie rinnovabili, sebbene qui facciamo la supposizione che la generazione alimentata da gas sia sostituita³⁸.

Figura 2: Principio del trattamento dell'aria proposto

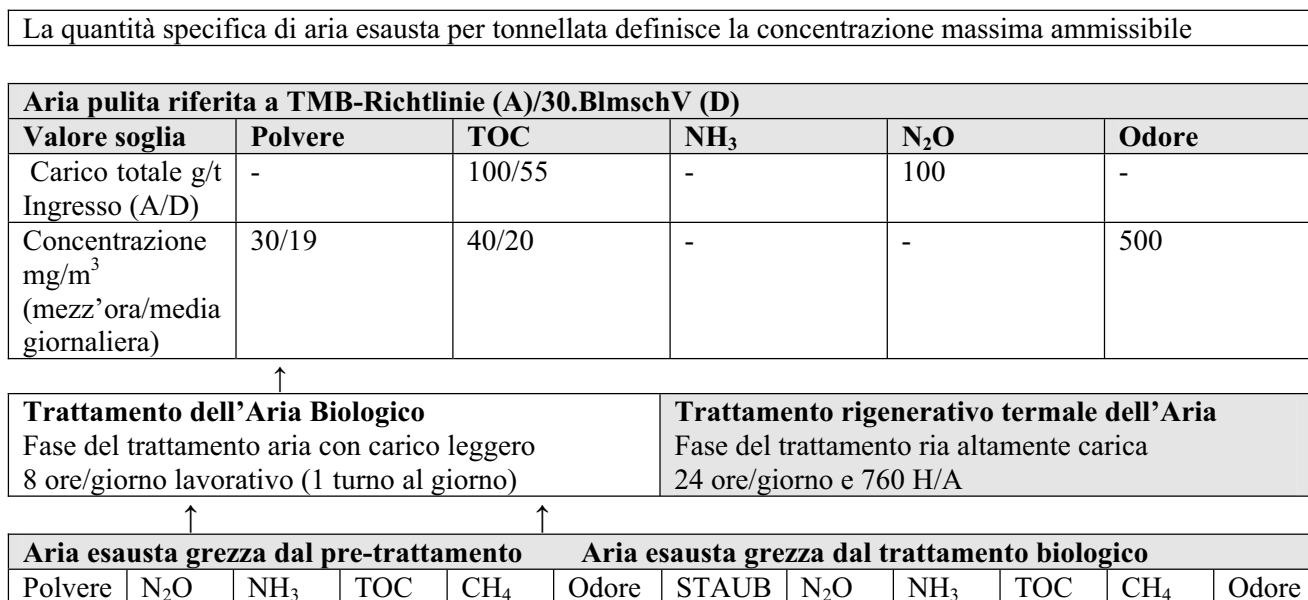


Tabella 16: Emissioni in aria indicative dall'impianto

	g/t in ingresso
Mercurio	2,50E-03
Altri metalli pesanti	0,00E+00
TOC	1,62E+01
NH ₃	6,54E+01
Diossine I-TEQ	1,35E-08
Polvere	4,72E+00
Cont. in TOC	1,89E+01
CH ₄	5,34E+01
NO	2,64E+02
NO _x	2,07E-04
CO	5,67E-05
CO ₂	1,22E+05
SO ₂	8,77E-08

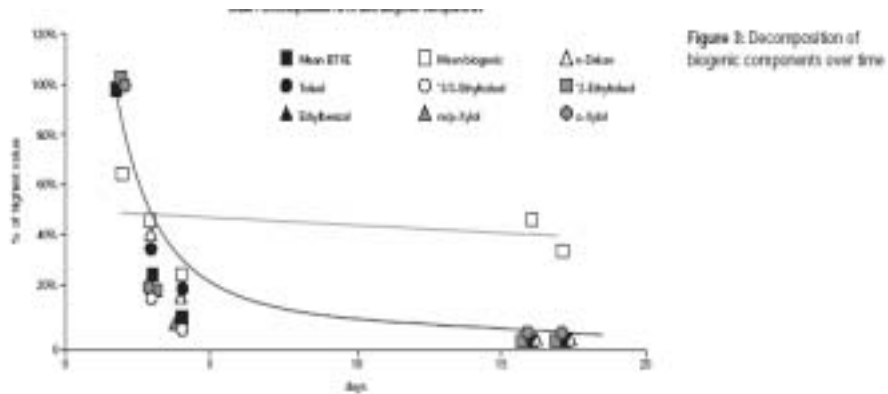


Figura 3: Decomposizione delle componenti biogene nel tempo

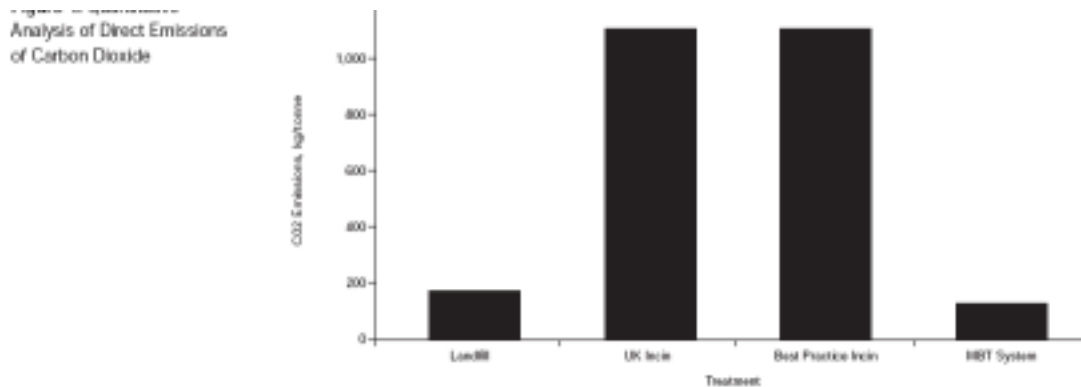


Figura 4: Analisi quantitativa delle emissioni dirette dell'anidride carbonica

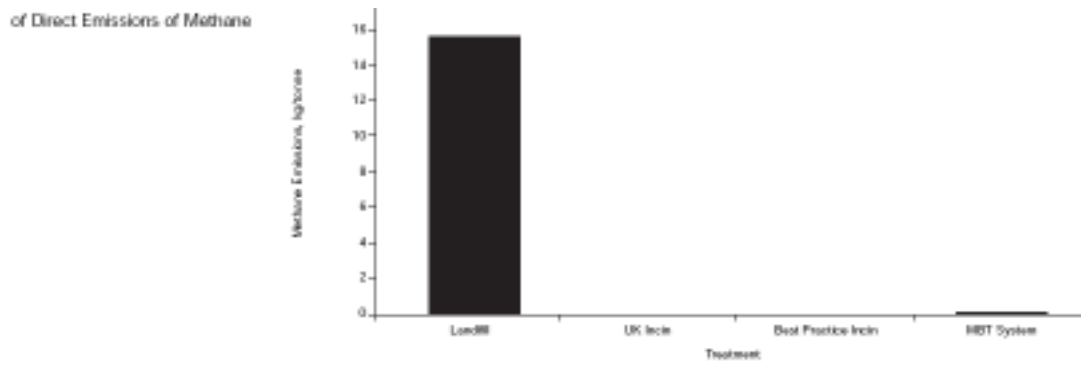


Figura 5: Analisi quantitativa delle emissioni dirette di metano

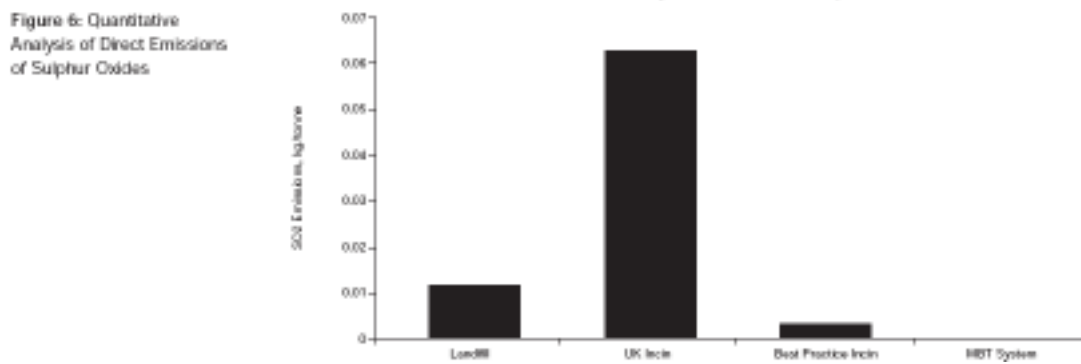


Figura 6: Analisi quantitativa delle emissioni dirette degli ossidi di zolfo

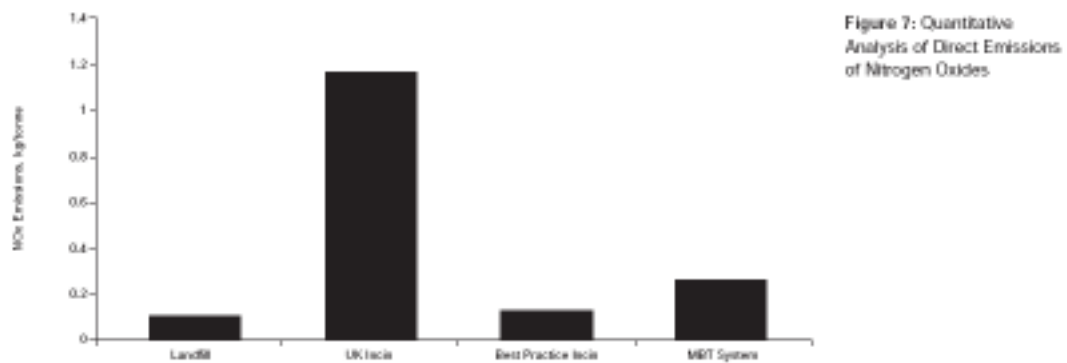


Figura 7: analisi quantitativa delle emissioni dirette degli ossidi di azoto

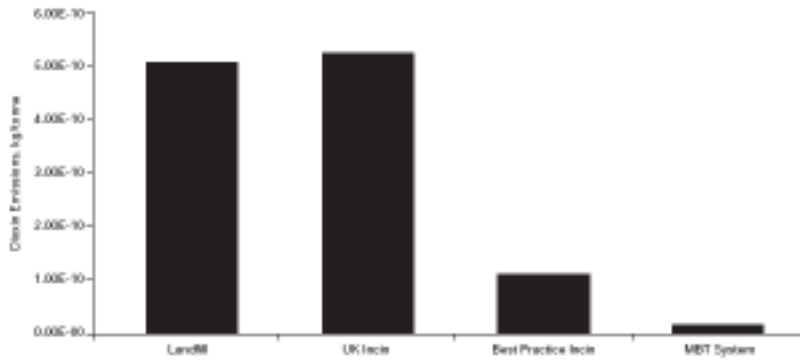


Figure 8: Quantitative Analysis of Direct Emissions of Dioxins (ITEQ eq) to Air

Figura 8: Analisi quantitativa delle emissioni dirette delle diossine (ITEQ equ) in aria

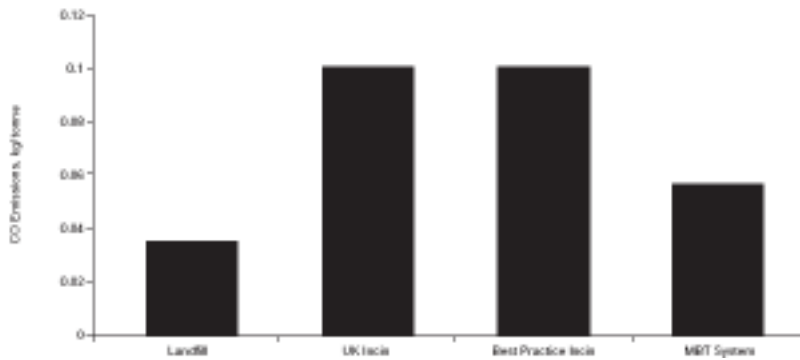


Figure 9: Quantitative Analysis of Direct Emissions of Carbon Monoxide

Figura 9: Analisi quantitativa delle emissioni dirette del monossido di carbonio

Figure 10: Quantitative Analysis of Direct Emissions of Volatile Organic Carbons

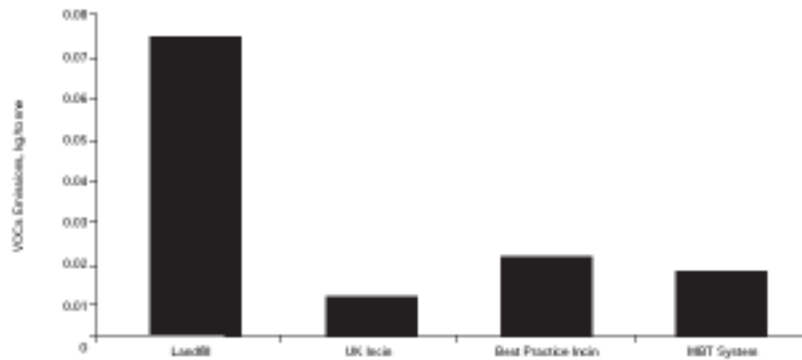


Figura 10: analisi quantitativa delle emissioni dirette dei carboni organici volatili

Figure 11: Quantitative Analysis of Direct Emissions of Particulate Matter to Air

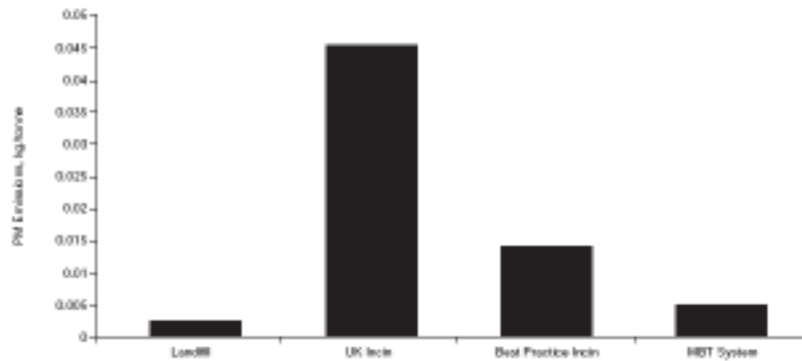


Figura 11: Analisi quantitativa delle emissioni dirette delle polveri in aria

of Direct Emissions of Mercury to Air

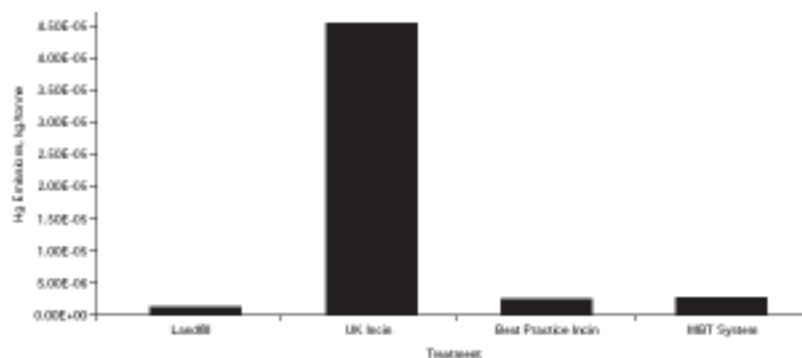


Figura 12: Analisi quantitativa delle emissioni dirette di mercurio in aria

Quando si considerano queste emissioni ‘sostituite’, il quadro viene alterato. Tuttavia vanno anche prese in considerazione le emissioni evitate associate all’uso di materiali secondari (*metallo secondario = metallo recuperato da rottami mediante una nuova fusione e purificazione*) piuttosto che primari. Nell’impianto di TMB che abbiamo progettato, questi (*i secondari*) sono molto maggiori che negli altri impianti. Vale la pena considerare quanto segue:

- riciclare una tonnellata di alluminio può risparmiare l’equivalente di 53.000 kWh;
- riciclare una tonnellata di tessili può far risparmiare l’equivalente di 15.000 kWh;
- riciclare una tonnellata di acciaio può far risparmiare l’equivalente di 4.700 kWh;
- riciclare una tonnellata di piombo può far risparmiare l’equivalente di 7.500 kWh;
- riciclare una tonnellata di vetro può far risparmiare l’equivalente di 900 kWh³⁹.

Esprimendoli come emissioni di gas serra, un lavoro recente di AEA Technology dà le seguenti stime⁴⁰:

- il riciclo di una tonnellata di alluminio può far risparmiare l’equivalente di 9.074 tonnellate di CO₂ equivalenti;
- il riciclo di una tonnellata di tessili può far risparmiare l’equivalente di 3.169 tonnellate di CO₂ equivalenti;
- il riciclo di una tonnellata di acciaio può far risparmiare l’equivalente di 1.487 tonnellate di CO₂ equivalenti;
- il riciclo di una tonnellata di plastica PET può far risparmiare l’equivalente di 1.761 tonnellate di CO₂ equivalenti;
- il riciclo di una tonnellata di carta può far risparmiare l’equivalente di 0.600 tonnellate di CO₂ equivalenti;

- il riciclo di una tonnellata di HDPE può far risparmiare l'equivalente di 0.491 tonnellate di CO₂ equivalenti;
- il riciclo di una tonnellata di vetro può far risparmiare l'equivalente di 0.253 tonnellate di CO₂ equivalenti;

Quindi riciclare può generare benefici significativi espressi come risparmi nell'uso di energia e nelle emissioni che possono cambiare il clima, maggiori di quanto si possa realizzare con l'energia derivata dall'incenerimento dei rifiuti. Questo è una parte della logica dell'argomento a favore della precedente asserzione di riciclare piuttosto che mandare i materiali allo smaltimento.

La Tabella 17 mostra il bilancio netto per le emissioni di gas serra da un impianto di TMB e per un inceneritore, in cui la fonte di elettricità evitata è il gas. Il risultato è che per ogni tonnellata trattata nell'impianto di TMB, si possono ottenere risparmi dell'ordine di 940 kg per tonnellata di CO₂ equivalente. Da una parte, queste stime sono conservative in quanto attribuiscono risparmi nella CO₂ solo ai materiali che hanno mercati certi. All'inceneritore si attribuiscono anche gli

stessi tassi di recupero dei materiali per l'acciaio che si hanno nell'impianto di TMB. Infine, si presuppone che non ci sia un'erogazione netta di energia dall'impianto di TMB. Facendo queste supposizioni e ipotizzando una sostituzione di 500 g di CO₂ equivalenti per kWh, le emissioni evitate nette sono largamente simili per i due impianti e dominano le emissioni dirette.

Se si pone che la fonte di elettricità evitata sia il carbone piuttosto che il gas, allora le emissioni evitate sono dell'ordine di 1 kg di CO₂ equivalenti per kWh. In questo scenario, il differenziale cala, ma è ancora di 674 kg di CO₂ equivalenti per tonnellata di rifiuti lavorati a favore dell'impianto di TMB. Persino se le emissioni dirette (da lavorazione) dell'impianto venissero triplicate, il bilancio netto sarebbe ancora a favore del TMB di 427 kg di CO₂ equivalenti per tonnellata di rifiuti lavorati. Tale triplicazione spiega ampiamente il fatto che la nostra analisi non ha considerato le emissioni di gas serra a termine molto lungo, comprese quelle che si hanno a seguito dell'uso di materiale da riempimento/ripristino paesaggistico.

Tabella 17: Bilancio dei gas serra per un impianto di TMB e per l'incenerimento

	TMB	Inceneritore	TMB CO₂ evitata	Inceneritore CO₂ evitata
Materiali	Tonnellate	Tonnellate	Tonnellate	Tonnellate
Acciaio	1.500	1.500	2.230	2.230
Alluminio	2.000		18.148	
Vetro	1.600		380	
Carta	10.300			
Plastiche dense	4.500		6.067	
Pellicola di plastica	5.700			
Materiale per paesaggio	6.200			
Elettricità (netta, gas sostituito)		539		26.950
CO ₂ totale evitata (tonnellate)			25.825	29.180
CO ₂ evitata (kg CO ₂ /tonnellata rifiuto)			258	292
			Emissioni dirette	Emissioni dirette
CO ₂			122	1.101

CH ₄			0,06	0,00
Totale delle emissioni dirette (CO ₂ equ)			124	1.101
Bilancio (CO₂ equ.)			-135	809
Differenziale (CO₂ equ.)			943	

6.4 Emissioni di acqua

6.4.1 Emissioni di acqua dall'impianto

L'impianto funzionerebbe senza alcun scarico di acqua di scarto. Le 18.000 t/a di acqua dal trattamento proveniente dalla digestione anaerobica vengono parzialmente riciclate nei percolatori (dopo nitrificazione / denitrificazione) e usate in parte per mantenere livelli di umidità appropriati nella fase di stabilizzazione, dove sono richieste quantità notevoli di acqua, mano a mano che l'aerazione tende a prosciugare il materiale. Ci sono un certo numero di altri impianti di TMB nuovi, che uniscono le tecnologie aerobiche e anaerobiche, che funzionano senza acqua di scarto^{41,42}.

6.4.2 Emissioni di acqua da discariche

Ehrig e Witz⁴³ affermano che sia la quantità, sia la composizione del percolato proveniente da discariche con i prodotti di TMB non siano significativamente diverse da quello proveniente da discariche con rifiuti non trattati. Tuttavia, questo non tiene conto della quantità ridotta di produzione in uscita da TMB, rispetto ai rifiuti residui non trattati. Altri studi, come Binner⁴⁴ concludono che la quantità e la qualità del percolato che si forma da materiale prodotto da TMB messo in discarica siano notevolmente diverse rispetto al percolato proveniente da rifiuti non trattati. Binner dimostra anche che le differenze dipendono significativamente dal tempo e dall'intensità del trattamento. Prendendo in considerazione le prove disponibili provenienti da una serie di studi, si può concludere che:

- il percolato prodotto da discariche TMB contiene circa il 50% meno di inquinanti del percolato da discariche con rifiuti non trattati;

- la quantità di percolato generato da una tonnellata di prodotti in uscita da TMB è inferiore di quello proveniente da una tonnellata di rifiuti non trattati. Anche se questa riduzione non può essere quantificata con precisione a questo punto, al massimo c'è non più di un quarto di percolato prodotto per tonnellata di rifiuti residui, se viene trattato nell'impianto di TMB presentato qui (dato che solo il 24% dei rifiuti residui necessitano di smaltimento).

Le emissioni di acqua da altri trattamenti non sono stati prese in considerazione. La questione delle emissioni a lungo termine provenienti da rifiuti messi in discarica, attualmente è uno dei temi più importanti nella modellistica dei cicli di vita, ma l'analisi è piena di difficoltà e incertezze. Tuttavia, i risultati fin qui ottenuti suggeriscono che le emissioni da rifiuti messi in discarica dopo pre- trattamenti TMB siano molto ridotte rispetto a quelle da rifiuti non trattati.

6.4.3 Crediti per emissioni di acqua da materiali riciclabili recuperati

Come nel caso delle emissioni in aria della sezione precedente, il beneficio netto è significativo. La piena estensione dei crediti andrebbe determinata in uno studio su scala più grande.

6.5 Uso di energia e bilancio

Si producono circa 40 – 50 m³ di biogas per tonnellata di rifiuti in ingresso. Ipotizzando un contenuto energetico di 6 kWh per m³ di biogas ed un'efficienza del 30% per la generazione di elettricità, si possono produrre circa 80 kWh⁴⁵ di elettricità per tonnellata di materiale in ingresso. L'uso interno di

elettricità negli impianti di trattamento dei rifiuti residui è dell'ordine di 50 -80 kWh/t in ingresso⁴⁶, quindi è probabile che l'impianto sia auto-sufficiente per quanto riguarda l'uso di elettricità. C'è bisogno di energia ulteriore sotto forma di combustibile diesel per far funzionare le attrezzature mobili. Ci può

7.0 Conclusioni

Forse la conclusione chiave di questo rapporto è che esistono dei modi di progettare impianti di trattamento che possono fornire soluzioni per scopi specifici. La varietà di tecnologie disponibili per lo screening, lo smistamento ed il trattamento dei materiali si prestano alla progettazione sempre più accurata di impianti, attraverso l'integrazione di elementi complementari.

L'impianto che abbiamo progettato fornisce dei contributi al recupero di materiali e di energia. Il contributo totale al recupero dei materiali dipende anche dai loro mercati. Per la composizione in ingresso si è presupposto un tasso di raccolta differenziata superiore al 60%. Sarebbe probabile un contributo aggiuntivo del 3-8% al tasso di riciclaggio/compostaggio.

Rispetto ai rifiuti in ingresso, circa il 25 -30% in peso del materiale avrebbe ancora bisogno di essere conferito in discarica. Tuttavia, il 63-74% di questo materiale sarebbe stabilizzato con un impatto ambientale molto ridotto una volta interrato. Un altro 16-20% sarebbe sabbia del digestore. Quindi, sia la quantità del materiale da mettere in discarica, che il suo potenziale inquinante sarebbero molto ridotti.

Le emissioni dirette in atmosfera sono basse, rispetto sia all'inceneritore, sia alla discarica. Dopo aver tenuto conto delle emissioni evitate, associate con il recupero di materiali ed energia, appaiono significativi i benefici netti rispetto all'incenerimento per quanto riguarda, ad esempio, le emissioni di CO₂, indipendentemente dalla fonte di energia che

essere l'opportunità di utilizzare il calore prodotto (vapore) nella generazione di elettricità, tuttavia questo dipenderà molto dal fatto se c'è richiesta di vapore molto vicino all'impianto.

si suppone sia sostituita dall'energia derivata dalla tecnologia dei rifiuti. Si dovrebbero intraprendere ulteriori analisi per accertare gli impatti pieni (in termini assoluti e comparativi) dell'impianto, com'è stato progettato qui.

Tuttavia, riteniamo che questo impianto esibisca un potenziale notevole, in quanto offre alle autorità locali un trattamento che:

- ha elevate prestazioni in termini ambientali;
- mostra una spiacevolezza visiva limitata;
- può funzionare su scale relativamente piccole, senza le significative diseconomie della piccola scala e;
- ha dei costi competitivi date le emissioni in atmosfera basse e le caratteristiche ambientali positive.

Questo tipo di trattamento dovrebbe essere di interesse notevole per le autorità che riconoscono quanto siano antipopolari l'incenerimento convenzionale e le altre tecnologie di trattamento termico dei rifiuti, e per quelle amministrazioni che si preoccupano di impiegare tecnologie compatibili dal punto di vista ambientale e relativamente flessibili per quanto riguarda la loro capacità di funzionare usando miscele di rifiuti diverse.

Un aspetto interessante dell'impianto è la sua compatibilità con l'uso di altri rifiuti in ingresso, come i fanghi di depurazione e altri rifiuti commerciali e industriali. Come tali, le modifiche nella produttività e nella composizione potrebbero anche essere fatte mediante modifica della miscela di materiali

in ingresso, tenendo sempre in mente che il primo scopo è quello di garantire che i materiali non siano inviati all'impianto in primo luogo.

Ci sono un certo numero di strumenti politici che potrebbero aiutare lo sviluppo di questo tipo di impianto. Il più pertinente, dato il pre-Budget Report, sarebbe una tassa sulle discariche progettata per incoraggiare il pre-trattamento piuttosto che la messa in discarica del materiale non trattato. Questo, a sua volta, richiederebbe un sistema di standard progettati per specificare i criteri (in termini di stabilità), ai quali i rifiuti dovrebbero conformarsi per essere sottoposti al minimo della tassa sulle discariche. Questa differenza (tra rifiuto trattato e non) aiuterebbe a spingere il pre-trattamento e ridurrebbe i problemi associati con la messa in discarica. Sarebbe inoltre opportuno che agli standard sul compost venisse dato un qualche fondamento conforme alla legge, in modo che i residui da impianti quali questo non vengano usati come 'compost', con tutto ciò che questo potrebbe implicare per l'accumulo a lungo termine di elementi potenzialmente tossici nel terreno. In questo contesto, la Comunicazione della Commissione Europea al Consiglio e al Parlamento

'Verso una Strategia Tematica per la Protezione del Suolo'; pubblicato nel 2002, dichiara:

Per la fine del 2004 si preparerà una Direttiva sul compost e altri biorifiuti, con lo scopo di controllare la contaminazione potenziale e per incoraggiare l'uso di compost certificato.

L'impianto proposto qui non è un 'impianto di trattamento del futuro'. E' di gran lunga un impianto attuale. L'impianto e i principi su cui si fonda fanno ben comprendere come (e

perché) abbiano senso prendere in considerazione le opzioni al di là delle tecniche 'prese dallo scaffale' (cioè confezionate), come l'incenerimento con combustione del "tal quale". Dovremmo entrare in un periodo di gestione dei rifiuti residui 'dopo Ford'. In questo periodo, le tecnologie di trattamento dei rifiuti residui non verrebbero scelte per il trattamento in massa di tutti i rifiuti in un unico procedimento, ma il rifiuto residuo sarà sempre di più suddiviso nelle parti costituenti per essere sottoposto a trattamenti su misura. Tali trattamenti non sostituiranno l'approccio della raccolta differenziata alla fonte. La raccolta differenziata garantirà la qualità dei materiali recuperati (specialmente per le frazioni più importanti, l'organico e la carta) e renderà possibile l'introduzione di misure incentivanti, come l'addebito, che incoraggia sia la riduzione dei rifiuti, sia la raccolta differenziata. Le tecnologie di gestione dei rifiuti residuali come il TMB dovrebbero essere di complemento alla raccolta differenziata e così facendo, dovrebbero ridurre l'impatto ambientale dei trattamenti dei rifiuti residuali e la richiesta di materie prime.

A favore di attività di raccolta differenziata intensiva, il riciclo anteposto a questo tipo di impianto e la perdita di umidità sempre da questo tipo di impianto, garantirebbero che a partire da 200.000 tonnellate di rifiuti in una data area, andrebbero soltanto messe in discarica, qualcosa come 25.000 -30.000 tonnellate. Questo illustra il potenziale che hanno i sistemi di trattamento non termici di fornire enormi riduzioni della quantità dei rifiuti da conferire in discarica, oltre che creare meno problematiche ambientali.

APPENDICE 1: La messa in discarica dei residui da TMB

Se la gestione dei rifiuti deve essere responsabile sul lungo periodo dell'ambiente, allora i siti di discariche dovrebbero essere sicuri a lungo termine.

Sia l'Austria che la Germania hanno dato a questo obiettivo un ruolo importante nello sviluppo delle loro legislazioni. Lo stesso tipo di legislazione sta emergendo in Italia (ed è già attuata nella regione Veneto).

Germania

Dal 2005, in Germania il TASI (*TA Siedlungsabfall* o il Foglio di Dati Tecnici per i Rifiuti Urbani) limita il contenuto di solidi organici volatili dei rifiuti destinati alla messa in discarica al 5% (valutato dalla perdita all'accensione). Perciò i rifiuti residui devono essere trattati e la frazione organica va raccolta (il TASI stabilisce anche che i rifiuti organici dovrebbero essere raccolti separatamente). Dal punto di vista tecnico, questo limite del 5% sarebbe stato raggiungibile solo mediante incenerimento. Tuttavia, dal 2001, il trattamento meccanico – biologico è stato ufficialmente accettato come procedimento di trattamento adeguato (in confronto all'incenerimento) per raggiungere l'obiettivo di un materiale da mettere in discarica stabile, attraverso la cosiddetta 'legge dell'equivalenza'. Nel 2001, oltre 20 impianti di pre-trattamento stavano trattando più di 1 milione di tonnellate di rifiuti residui e parecchi altri impianti sono attualmente in via di costruzione.

Austria

Il compost da RSU non può essere confuso con la produzione di rifiuti stabilizzati ottenuti attraverso trattamento meccanico biologico. Il compost derivato da rifiuti urbani

serve per la costruzione dello strato finale di ripristino dei siti di discarica. I rifiuti stabilizzati per mezzo del trattamento meccanico biologico sono smaltiti attraverso interrimento o, di parti di essi, indirizzate all'incenerimento. Entrambi i processi devono essere effettuati in impianti di TMB.

A seguito degli obiettivi stabiliti dalla *Direttiva europea sulle discariche*, l'*Ordinanza Austriaca*⁴⁷ stabilisce le restrizioni per lo smaltimento dei rifiuti in discarica:

'con un contenuto in carbonio organico maggiore del 5%/m/m' ad eccezione dei rifiuti 'che derivano da pre-trattamento meccanico biologico, che vengono smaltiti in aree separate all'interno di discariche, se il valore calorifico superiore raggiunto nella combustione della materia secca sia inferiore ai 6.000 J/kg. Non è consentita la miscelazione dei rifiuti derivanti da pre-trattamento meccanico – biologico con materiali o rifiuti di basso valore calorifico per non superare il valore limite.'

Per stabilire i criteri per un progetto sostenibile dal punto di vista ambientale e di idoneità del materiale da TMB secondo i requisiti dell'*Ordinanza Austriaca sulle Discariche*, un gruppo di lavoro presieduto dal Ministero per la Gestione di Agricoltura e Foreste, Ambiente e Acqua ha delineato le *Linee Guida per il Trattamento Meccanico Biologico dei rifiuti* (Ministero Federale per la Gestione di Agricoltura e Foreste, Ambiente e Acqua, 2001). I principali compiti e provvedimenti di queste linee guida sono elencati nella Tabella 18.

Tabella 18: Provvedimenti delle "Linee Guida per il Trattamento Meccanico Biologico dei Rifiuti"

Area/provvedimento	Campo d'azione/compito/obiettivi
Controllo sulla ricezione	<ul style="list-style-type: none">- controllo visivo alla ricezione prima di qualsiasi trattamento- rimozione e separazione di frazioni

	<p>eventualmente pericolose</p> <ul style="list-style-type: none"> - per fanghi e rifiuti industriali: benessere sull'origine e identità
Materiali in ingresso	<ul style="list-style-type: none"> - solo rifiuti non pericolosi - nessun rifiuto proveniente da sistemi di raccolta differenziata che possa essere riciclato - elenco dettagliato di rifiuti e materiali in ingresso permissibili. - Elenco A: rifiuti adatti senza restrizioni - Elenco B: rifiuti adatti con alcune restrizioni e requisiti aggiuntivi - Esclusione di rifiuti specificati che non possono venir trattati in un impianto di TMB
Requisiti per la costruzione, le attrezzature e la lavorazione	<ul style="list-style-type: none"> - Autorizzazione dell'impianto di TMB - Trasporto dei rifiuti all'interno dell'impianto - Requisiti per la limitazione delle emissioni in processi di trattamento fisico e meccanico - Requisiti per la limitazione delle emissioni in processi di trattamento biologico <ul style="list-style-type: none"> (a) sistema chiuso in silo e pulitura di tutta l'aria esausta almeno per le prime 4 settimane di trattamento aerobico; dopo quel periodo, può essere permessa, mediante un'autorizzazione individuale, una tecnica di putrefazione all'aperto, se l'attività respiratoria (AT₄) del materiale pre-trattato è inferiore a 20 mg di ossigeno/g dm. (b) Dopo pre-trattamento anaerobico si applicano gli stessi requisiti della fase di putrefazione aerobica e stabilizzazione
Limitazioni delle emissioni in aria dei rifiuti	<ul style="list-style-type: none"> - Composti organici totali: valore medio di mezza-giornata: 40mg/m³, valore medio di un giorno: 20 mg/m³; massa relativa: 100 g/t_{rifiuto} - Ossidi nitrosi (NO_x): calcolati come NO₂; valore medio di mezza giornata: 150 mg/m³; valore medio per 1 giorno: 100 mg/m³. - Ammoniaca (NH₄): 20 mg/m³. - Diossine/furani: per 2,3,7,8-TCDD equivalente (1-TEQ) ≤ 0,1 ng/m³. - Polveri ≤ 10 mg/m³. - Emissioni di odori: ≤ 500 unità di odore/m³.
Intercettazione e trattamento dell'acqua di scarto	<ul style="list-style-type: none"> - Requisiti in dettaglio per la raccolta, l'immagazzinamento e trattamento dell'acqua di scarto
Misura e controllo delle emissioni di aria esausta	<ul style="list-style-type: none"> - Definizione di misure singole e in continuo. - Requisiti per le misure in continuo per la

	<p>determinazione dei valori medi di mezza-giornata e di un giorno (vedi sopra)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Requisiti per misure discontinue per le polveri, NH₃, PCDD/PCDF e le emissioni di odori a seconda del materiale trattato nell'impianto
Requisiti per lo smaltimento dei rifiuti residui	<ul style="list-style-type: none"> - In aggiunta ai provvedimenti della legge-sulla-gestione-dei-rifiuti (carbonio organico ≤ 5%_{m/m}; valore calorifico superiore ≤ 6.000 kJ/kg). - Si applicano i seguenti criteri per la stabilità dei parametri: <ul style="list-style-type: none"> (a) attività respiratoria dopo 4 giorni (AT₄): ≤ 7mg O₂/g dm; (b) produzione di gas o test di fermentazione (incubazione di 21 giorni): ≤ 20 NI/kg dm. - provvedimenti per l'auto controllo dei metodi analitici e di monitoraggio esterno
Protezione del lavoro	
Protezione contro incendio ed esplosione	
Documentazione e registrazioni obbligatorie	
Monitoraggio esterno e misure di controllo effettuate dall'autorità responsabile	
Metodi analitici	

Italia – Bozza di Decreto sui materiali Bio – stabilizzati

Nel Decreto n.22/97, (l'attuale legge sulla Gestione dei Rifiuti Nazionale) sono previste nuove regole sull'applicazione dei materiali provenienti da TMB, che in realtà sono in fase di bozza, e quindi non sono ancora entrate in vigore. Quindi, come accennato sopra, la legge in vigore che riguarda l'applicazione dei materiali stabilizzati provenienti dal trattamento meccanico biologico di RSU indifferenziati, compresa la bonifica dei siti e il ripristino finale di quelli che in precedenza erano discariche, è la vecchia regolamentazione tecnica, il DCI 27/07/84, in cui si definivano:

- le caratteristiche del materiale compostato;
- le possibili applicazioni e i limiti;
- una quantità massima di impiego;
- una concentrazione massima consentita di metalli pesanti nel terreno e un carico annuale massimo di metalli pesanti mediante uso di compost e;
- una concentrazione massima di metalli pesanti e di materiale inerte nel compost.

L'obiettivo principale di tali provvedimenti è la tutela dell'ambiente e della salute umana. Alcuni provvedimenti in effetti trattano di caratteristiche agronomiche (ad esempio l'umidificazione e il contenuto di nutrienti), sebbene fossero principalmente dirette a giustificare un beneficio agronomico minimo nell'applicazione del compost e non costituiscono il corpo centrale della regolamentazione. La Tabella 20 e la Tabella 22 sottostanti mostrano i valori limite rilevanti.

Comunemente si ritiene che le nuove regole che devono essere attuate sulle frazioni organiche stabilizzate manterranno la struttura principale del DCI 27/07/84, vale a dire su questioni di salute e sicurezza, mentre i cambiamenti più importanti probabilmente includeranno:

- le possibili applicazioni (con limitazioni a coltivazioni non alimentari e a foraggi; gli unici usi consentiti sarebbero nella bonifica di terreni, nel ripristino di siti di discariche, ecc.);

- la formazione di humus (è probabile che questo non venga più incluso, data la sua bassa affidabilità; probabilmente sarà sostituito da parametri sulla stabilità);
- i nutrienti (probabilmente non verranno più incluse le quantità minime, per via della loro relativa mancanza di importanza come ammendante del suolo, inoltre l'azoto effettivamente costituisce una limitazione per i carichi di compost, a causa del suo potenziale rilascio nella falda idrica);
- i metalli pesanti (probabilmente verrà diminuita la concentrazione massima ammessa); e
- i carichi (verranno aumentati per applicazioni in progetti di bonifica di terreni, vedi più avanti).

Alcune regioni e province hanno già emesso delle linee guida e/o dei regolamenti tecnici per consentire l'uso di compost da RSU nella bonifica di terreni. I loro principi sono anche stati adottati dalla bozza di regolamento nazionale, che si prevede verrà emesso nel prossimo futuro. Tali regolamenti fanno assegnamento sull'ipotesi di applicazioni con alti carichi per promuovere attività biologiche negli strati superficiali del terreno in miniere sfruttate e in siti di discariche finite, in pendii da consolidare, barriere antirumore, ecc.

Per quanto riguarda i requisiti tecnici di tali applicazioni, i regolamenti rivolgono l'attenzione soprattutto alla necessità di controllare:

- sia i carichi di metalli pesanti;
- sia il carico di azoto.

E' necessario calcolare i carichi per mantenere le concentrazioni di metalli pesanti nel suolo entro i limiti massimi desiderabili, e

Tabella 19 Limiti nella concentrazione dei metalli pesanti nel compost e nei terreni e carico massimo annuale.

Elemento	Concentrazione massima permessa		Carico massimo g/ettaro per anno
	Nel compost	Nel terreno	
	Mg/kg/dm	Mg/kg/dm	
Arsenico	10	10	100
Cadmio	10	3	15
Cromo III	500	50	2.000

per impedire grossi rilasci di azoto nell'acqua di falda.

Segue una breve descrizione delle principali caratteristiche di tali regolamenti.

Aspetti chiave della bozza di Decreto

Il decreto verrà emesso in base all'Articolo 18 del Decreto 22/97, che richiede che il governo stabilisca delle regole tecniche per le attività di gestione dei rifiuti. Lo schema di Decreto è già stato approvato dal Ministero dell'Ambiente ed è stato discusso tra tutti i Ministeri coinvolti (Salute, Agricoltura, Industria, Ambiente) durante la passata legislatura per finalizzare la sua forma. Nell'ultima bozza di legge (aprile 2000) furono definiti due tipi di 'Biostabilizzato' o FOS (frazione organica stabilizzata)

FOS di 1° scelta: da usare come ammendante in progetti di bonifica dei terreni (quindi un uso agronomico);

FOS di 2° scelta: da essere messo in discarica o da usare come materiale di copertura quotidiana (secondo la necessità prevista di trattare i rifiuti prima di metterli in discarica).

I parametri fondamentali che qualificano i due tipi sono elencati qui sotto.

Inoltre, vengono elencati alcuni valori microbici limite, ma questi vengono ancora dibattuti con veemenza, a causa della mancanza di affidabilità dei metodi dei test di riferimento. Quindi i valori limite si stanno concentrando specialmente sulla questione della fermentabilità.

Cromo IV	10	3	15
Mercurio	10	2	15
Nichel	200	50	1.000
Piombo	500	100	500
Rame	600	100	3000
Zinco	2.500	300	10.000

Tabella 20: Caratteristiche fisiche, chimiche e microbiche del compost (DCI 27/7/1984)

Parametro	Limite	Parametro	Limite
Materiale inerte	≤ 3% dm	Relazione C/N	< 30
Vetro (dimensione)	≤ 3mm	N totale	< 1% dm
Vetro (quantità)	≤ 3 % dm	P ₂ O ₅	> 0,5% dm
Plastiche	≤ 1% dm	K ₂ O	> 0,4% dm
Metalli	≤ 0,5% dm	Dimensione della particella	0,5-25 mm
Umidità	< 45% fm	Salmonella	Assente in 50 g
Materia organica	> 20% dm	Semi di erbacce	Assenti in 50 g
OM umidificato	> 20% dm	pH	6-8,5

Nota: **dm** = materia secca; **fm** = materiale fresco

Tabella 21: Valori limite per FOS di 1° qualità:

parametro	Valore limite ¹
Cadmio	3 ppm dm
Cromo VI ²	3 ppm dm
Mercurio	3 ppm dm
Nichel	100 ppm dm
Piombo	280 ppm dm
Rame	300 ppm dm
Zinco	1.000 ppm dm
Plastiche	0,5% w/w
Materiali inerti (incluse le plastiche)	1% w/w

1. Molte persone nei centri e nelle istituzioni di ricerca stanno chiedendo che i valori limite per i metalli pesanti siano aumentati di almeno 1,5 (ad es. zinco:1500 ppm; rame 500 ppm), cosa che sarebbe molto più coerente con i valori limite che consentono l'uso di fanghiglia su terreni coltivati (zinco: 2.500 ppm; rame: 1.000 ppm; nichel: 300 – vedi anche più avanti i regolamenti emessi dalla Regione Veneto).

2. Molti tecnici e istituzioni propongono che il cromo totale venga considerato con un approccio più prudente e probabilmente il regolamento finale ne terrà conto.

Tabella 22: Valori limite per FOS di 2° qualità

Parametro	Valore limite
Umidità	Meno del 65%
Indice respiratorio (Metodo UNI)	Meno di 400 mg O ₂ /kg solidi volatili/ora

Uso dei FOS

Il FOS di prima qualità può essere usato, *secondo procedure autorizzate*, in progetti di ripristino del paesaggio e bonifica dei siti. Il

carico massimo specificato nella bozza di Decreto è 100 t/ettaro di materia secca. Molti tecnici e istituzioni stanno chiedendo un carico massimo più alto, basandosi su valutazioni scientifiche.

Le proposte includono:

- un carico massimo di 100 tonnellate di materia secca per ettaro, con l'unico requisito che il progetto di (*abbellimento*) del paesaggio sia soggetto a procedure autorizzative;
- carichi più elevati, fino a 300 t/ettaro di materia secca (c'è chi dice 500 t/ettaro) vanno sostenute da 'valutazione dei rischi', per stimare il rilascio di azoto e il suo trasporto alle faglie idriche e la sua diluizione, in base a condizioni geologiche specifiche del sito. Va fatto un ulteriore calcolo per stimare la concentrazione finale di metalli pesanti nel

terreno, sebbene in genere sia molto più alto il rischio associato all'azoto e quindi sia questo che più spesso definisce l'effettiva limitazione per il carico ammissibile.

Quest'ultima proposta è sostenuta da molte indagini scientifiche valide e dalla comprensione dei potenziali effetti. Il FOS di seconda scelta può essere usato, secondo le procedure autorizzate, come sostituto parziale o totale per materiali inerti usati come copertura giornaliera, secondo la pratica di 'buona abitudine' nella gestione di siti di discariche.

Tabella 23: Valori limite per il 'Biostabilizzato Maturo' ('FOS maturo', corrispondente al FOS di 1° scelta)

Parametro	Valore limite ¹
Cadmio	10 ppm dm
Cromo totale	500 ppm dm
Mercurio	10 ppm dm
Nichel	200 ppm dm
Piombo	500 ppm dm
Rame	600 ppm dm
Zinco	2500 ppm dm
Plastiche	0,5% w/w
Materiali inerti (incluse le plastiche)	3% w/w

Tabella 24: Valori limite per il 'Biostabilizzato da Discarica' ('FOS per discarica', corrispondente al FOS di 2° scelta)

Parametro	Valore limite
Umidità	Tra 30 ¹ e 65%
Indice respiratorio (metodo UNI)	Meno di 600 mg O ₂ /volatili/ora

1. Per contenuti di umidità inferiori il materiale diventa troppo polveroso, quindi il trasporto dal sito diventa più problematico.

Ordinanza della Regione Veneto, 766/2000

L'approccio della bozza di Decreto si può già trovare nel DGR (Ordinanza Regionale) # 766, 10 marzo 2000, emesso dalla Regione Veneto. I carichi massimi per l'uso *agronomico* di FOS sono stabiliti a 200 tonnellate/ettaro (materia fresca), senza altra procedura che l'autorizzazione del progetto, e fino a 2000 tonnellate/ettaro (materia fresca) quando ciò è accompagnato da una

valutazione del rischio. I valori limite per il cosiddetto 'Biostabilizzato Maturo' (FOS maturo, corrispondente al FOS di 1° classe) sono mostrati nella Tabella 23.

La tabella mostra che ai metalli pesanti si applicano gli stessi valori limiti dei fanghi e vengono usati gli stessi valori limite per i materiali inerti della legislazione precedente

sull'uso controllato" di compost da RSU indifferenziati.

Un "biostabilizzato da discarica" (FOS per siti di discarica, corrispondente a FOS di 2° qualità) viene definito facendo riferimento ai valori limite mostrati nella Tabella 26.

Commissione Europea

La seconda bozza della Direttiva sui biorifiuti contiene anche al suo interno specifici provvedimenti riguardanti i materiali trattati mediante TMB. Il documento afferma, riguardo ai "Rifiuti urbani Residui":

La quantità e la contaminazione dei rifiuti urbano residui dovrebbero essere ridotte al minimo possibile mediante la raccolta differenziata delle frazioni di rifiuti urbani come l'organico, gli imballaggi, carta e cartone, vetro, metalli e rifiuti pericolosi.

Se i rifiuti urbani residui vengono sottoposti ad un trattamento meccanico/biologico prima della messa in discarica, il raggiungimento di una Attività Respiratoria dopo quattro giorni (AT_4) inferiore a $10 \text{ mg O}_2/\text{g dm o}$ di un indice Respiratorio Dinamico inferiore a $1.000 \text{ mg O}_2/\text{kg VS/ora}$ indica che i rifiuti urbani residui trattati non sono più rifiuti biodegradabili secondo il significato dell'Articolo 2 (m) della Direttiva 1999/31/EC.

Se i rifiuti urbani residui vengono inceneriti prima della messa in discarica, il raggiungimento di un valore del Carbonio Organico Totale inferiore al 5% significa che i rifiuti urbani residui inceneriti non sono più rifiuti biodegradabili secondo il significato dell'Articolo 2(m) della direttiva 1999/31/EC.

Emissioni gassose da discariche e connessioni con la stabilità

Dopo il pre-trattamento meccanico-biologico, oltre al materiale inerte minerale o biologico, rimane sempre una certa proporzione di sostanze organiche che possono essere decomposte biologicamente. Quindi, sono ancora possibili emissioni di gas e aumento di temperatura una volta che il materiale viene

messo in discarica, anche se a un tasso molto ridotto.

Inoltre, i rifiuti pre-trattati contengono ancora una serie di inquinanti organici ed inorganici, che potrebbero essere emessi attraverso forme gassose e idriche. Per questa ragione, per la progettazione, la gestione e la successiva manutenzione di siti di discariche con rifiuti pre-trattati sono necessarie informazioni sui carichi di inquinanti previsti nel lungo termine (potenziale delle emissioni) e sulla loro velocità di rilascio (cinetiche delle emissioni), che dipendono dalle condizioni ambientali del sito e di quelle di confine.

Tra i parametri biologici, la misura dell'attività respiratoria del compost è indubbiamente un parametro importante per la valutazione della stabilità. I microrganismi aerobici, usando la sostanza organica del substrato come fonte di energia e nutrimento, consumano ossigeno ed emettono anidride carbonica. Il metabolismo è più intenso quando i composti organici sono più facilmente biodegradabili, mentre è lento in presenza di sostanze organiche con una complessità molecolare e strutturale più elevata, come le sostanze del humus presenti nel compost maturo. Per questo, la misura della biodegradabilità delle sostanze organiche presenti nel materiale è un indice del grado di evoluzione del prodotto o della sua stabilità.

Il test respirometrico valuta la stabilità del contenuto organico mediante la determinazione della sua frazione più facilmente degradabile. Rispetto ad altri metodi, questo consente di calcolare la velocità di trasformazione, che altrimenti sarebbe possibile determinare solo attraverso un controllo continuo del consumo di ossigeno, cosa che consente di valutare il periodo nel quale la velocità di degradazione è al massimo.

In questo modo, il test ci consente di giudicare non solo la quantità di sostanze organiche, ma anche la capacità biologica del

materiale, indicata dalla presenza e dall'attività dei microrganismi.

Come viene indicato nella Sezione 2, la durata del procedimento di compostaggio finché siano raggiunti i criteri di maturazione alternativi (RS₄, GF₂₁, TOC) dipende dalla gestione del funzionamento e dal sistema scelto. Di regola vale quanto segue:

- più dinamico è il processo, più breve sarà il tempo di compostaggio necessario per raggiungere un dato livello di stabilità;
- più breve sarà il tempo nel sistema (quasi) dinamico, più lungo sarà il compostaggio secondario richiesto nel sistema statico per raggiungere lo stesso livello di stabilità.

Sfortunatamente, a causa di una metodologia di analisi non coordinata, non standardizzata o applicata in maniera differenziale, il confronto di misure di vari impianti e laboratori continua ad essere impedito. Inoltre si dibatte ancora su che cosa costituisca una adeguata misura della stabilità.

Dalla precedente Sezione, risulta ben chiaro che paesi differenti usano criteri diversi per valutare la stabilità dei biorifiuti nel pre-trattamento TMB, che precede la messa in discarica. Gli italiani tendono ad usare un indice dinamico, l'Indice di Respirazione Dinamica. Questo è anche stato preso in considerazione nel Documento di Lavoro sul Trattamento Biologico della CE, accanto al AT4 tedesco (Atmungsaktivitaet vier = attività respiratoria relativa a quattro giorni). L'Austria, invece, usa AT7.

La Tabella 25 mostra le potenziali riduzioni nelle caratteristiche di emissioni chiave associate ai rifiuti pre-trattati biologicamente. L'effettivo livello di riduzione del potenziale di generazione di gas e di altri fattori è significativamente influenzato dal tempo in cui il materiale viene trattato e dalla natura del trattamento. E' importante capire, tuttavia,

che la misura in cui vengono raggiunte nel tempo le riduzioni nel potenziale di generare gas, segue qualcosa di simile ad una curva di decadimento esponenziale. Questo significa che le successive riduzioni si realizzeranno in periodi progressivamente più lunghi. Questo ha delle implicazioni per i costi del pre-trattamento. Quindi, rimane un dibattito riguardo agli standard appropriati da porre per la stabilità.

Il punto cruciale di questo dibattito è concisamente racchiuso nel confronto tra gli standard tedeschi ed italiani mostrato nella Tabella 26. Dal punto di vista italiano, i valori soglia sia tedeschi che austriaci sono troppo bassi (severi), ed entrambi richiedono tempi di maturazione molto lunghi (in casi eccezionali fino ad otto mesi). Questo ha l'effetto di aumentare i costi del TMB, dove l'intenzione è di mandare parte della massa residua in discarica per recuperi paesaggistici\riempimenti ecc. Il valore soglia italiano (DRI = 1000 mg O₂/kg VS/ora) richiede periodi di tempo più brevi, dipendenti dall'ottimizzazione del procedimento. Questo riduce la produzione di gas dell'80% (valutata mediante il metodo Generation Sum test method) (ciò è relativo a una massa ridotta, quindi il beneficio ambientale globale è persino più alto rispetto alla messa in discarica diretta).

Le ragioni di ciò sono illustrate chiaramente nei grafici relativi al comportamento di rifiuti da TMB messi in discarica, osservati in esperimenti austriaci. La Figura 13 sottostante mostra come la produzione di gas varia con la lunghezza del tempo del processo di pre-trattamento in diversi impianti. La generazione di gas si riduce in modo significativo con l'aumento della durata del trattamento. Tuttavia, è da notare anche che l'incremento della riduzione nel potenziale di formazione di gas, cala con l'aumentare del tempo. Anche questo è mostrato in Figura 14.

Tabella 25: Gli effetti del pre-trattamento biologico

Caratteristica	Risultato finale [fonte bibliografica]	Riduzione % (rispetto a quella iniziale)
----------------	--	--

Tasso respiratorio	5mgO ₂ /gdm(96ore) [1] Circa 400mg O ₂ /kg VS.ora [2]	89-90%
COD	< 100 mg/l [1]	Circa 90%
Azoto totale nel percolato	< 200 mg/l [1]	
Comportamento nella produzione di gas	20-40l/kg dm [1] [2]	90%
Volume	Densità finale (compattata): 1,2-1,4t/m ³ [1] Perdita di massa (conseguente alla mineralizzazione): 20-40% [1]	fino a 60%

Fonte: Adani F. (2001) comunicazione personale con E. Favonio; Lelkam K.,Stegman R. (1997). "Comportamento in discarica dei rifiuti dopo pre-trattamento meccanico-biologico".ISWA Times, numero 3/97, pp 23-27; Wiemer K., Kein M.: Trattamento meccanico-biologico dei rifiuti residui bsato sul metodo dello stabilizzato secco., in Abfait-Wirtschaft: Neues aus Forschung und Praxis, Witzenhausen, Germania,1995.

Tabella 26: Confronto degli Standard tedeschi e italiani relativi alla Stabilità dei prodotti in uscita da TMB

Standard di stabilità	Biogas residuo (kg TS-1)	Riduzione nel biogas (%)	Durata del trattamento
Germania 5000 mg kg TS 96 ore ⁻¹	20	90-95	2-6 mesi
Italia (proposta) 1000 mg O ₂ kg VS ⁻¹ ora ⁻¹	60-80	95-85	15-40 giorni

Fonte: Adani et al. (2002) Indici respiratori statici e dinamici- Studi e Ricerche italiane. Saggio inviato al Workshop tecnico sui biorifiuti della Commissione Europea.

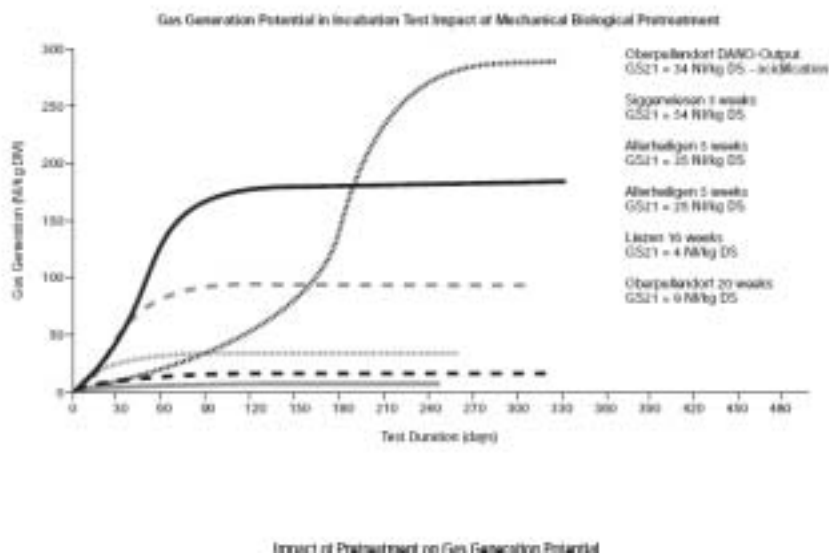


Figure 13: Impact of MBT on Gas Generation Potential as Measured in Incubation Tests. Source: Erwin Binner (2002) The Impact of Mechanical-Biological Pre-treatment on Landfill Behaviour, Paper Presented to the European Commission Sewerage Workshop, May 2002.

Figura 13: Impatto del TMB sul potenziale di generazione di gas, come risulta da misure in test di incubazione.

Fonte: Erwin Binner (2002) L'impatto del pre-trattamento Meccanico – Biologico sul comportamento della Discarica. Lavoro presentato al Workshop sui Biorifiuti della Commissione Europea, maggio 2002.

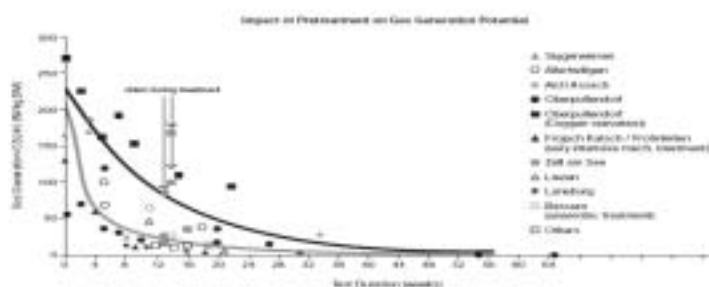


Figure 14: Illustration of Impact of Length of Pre-treatment on Gas-Generation Potential. Source: Erwin Binner (2002) The Impact of Mechanical-Biological Pre-treatment on Landfill Behavior. Paper Presented to the European Conference Business Workshop, May 2002.

Figura 14: Illustrazione dell’impatto della lunghezza del Pre-trattamento sul potenziale di Generazione di Gas

Fonte: Erwin Binner (2002) L’impatto del pre-trattamento Meccanico-Biologico sul Comportamento della Discarica, Lavoro presentato al Workshop sui Biorifiuti della Commissione Europea, maggio 2002.

Ricordando la discussione riguardante i limiti di stabilità, le implicazioni per i costi dello stabilire uno standard a un livello o ad un altro sono più chiare. Più il tempo di pre-trattamento è lungo, più è alto il suo costo. Tuttavia, come menzionato sopra, la riduzione incrementale della potenziale produzione di gas cala nel tempo con l’aumento della durata del pre-trattamento. In effetti, si ottengono dei profitti marginali decrescenti laddove il guadagno, espresso come potenziale ridotto di generazione di gas, supera i costi di tali ulteriori riduzioni. Questo è l’argomento usato dagli italiani per sostenere il loro standard – i costi per raggiungere tale standard sono significativamente più bassi di quelli richiesti per soddisfare quelli tedeschi e austriaci sulla stabilità, anche se il vantaggio ambientale non è significativamente inferiore.

Questi risultati sono ampiamente conformi a quelli di studi tedeschi, in cui i test di fermentazione venivano eseguiti per valutare la generazione di gas⁴⁸. Secondo le regole tedesche, la formazione di gas (GF) dovrebbe essere osservata per almeno 21 giorni = GF₂₁. Cosa importante, dato il basso livello di fermentabilità dei rifiuti dopo TMB, non è stata considerata possibile alcuna asserzione relativa alla produzione di gas durante questo periodo.

E’ interessante che, in questi test, il campione di rifiuti “stabilizzato estensivamente” dopo 8 settimane dava una produzione di gas non più misurabile. Fino a questo punto nel tempo, in media si formavano 2,69NI/kg DS. Alla fine del test, il contenuto in metano era di circa 40 vol%. Nella Figura 15 sottostante, il volume di gas prodotto è stato espresso in relazione alla materia secca organica (oDS), dato che solo questo può essere potenzialmente convertito in gas di discarica. Così facendo, si possono confrontare meglio i risultati dei test. I grafici si riferiscono ai prodotti in uscita da impianti che raggiungono livelli diversi di stabilizzazione. La forma delle curve è simile a quella di Binner qui sopra (Figure 13 e 14).

La Figura 15 dimostra che i tassi di formazione di gas dei rifiuti “meno bene stabilizzati”, MB-QB2, MB-HP1 E MB-LF1 mostrano ordini di grandezza simili e inizialmente sono nella regione di circa 0,15 – 0,6 NI/kg oDS x d.

Si è anche misurata la formazione di gas dai materiali in esame sotto alta compressione in reattori di simulazione della discarica (pressione di compressione = 250kN/m²). I test furono eseguiti in condizioni mesofile a 35°C e con un contenuto medio di acqua nel reattore di 30 – 35 wt % (WS). I materiali in questo esperimento furono, per la maggior

parte, incorporati con il loro contenuto d'acqua originale e, in conseguenza del suo rilascio durante i test di infiltrazione, furono saturati del contenuto idrico riferito sopra.

La Figura 16 mostra un confronto delle misure relative alla formazione di gas sui materiali organici secchi. La formazione di gas nei test di discarica con i rifiuti "meno bene stabilizzati", MB-QB2-D-1, MB-LF1-D-1, e MB-WS1-D-1, inizialmente era tra 0,01 e 0,15 NI/kg oDS x d. Un confronto delle due figure mostra che i risultati nel test di fermentazione a 35°C e 90 wt.% (WS) di contenuto di acqua, che dovrebbe imitare le "condizioni reali", rivelano che i tassi di formazione iniziale di gas nel test di fermentazione sono più bassi di un fattore da 4 -15 (le proiezioni lineari che delimitano i tracciati nelle due figure mostrano dei gradienti molto più bassi nella Figura 15 che nella Figura 16).

Una delle misure di stabilità, l'indice dinamico di respirazione (DRI) mira a valutare la stabilità con un test rapido dei materiali. Nella Tabella 29 sono mostrati i DRI per diversi materiali. Questo mostra chiaramente l'effetto della raccolta differenziata sulla fermentabilità del materiale residuo nei sistemi di gestione dei rifiuti italiani. Inoltre, mostra che i sistemi di raccolta differenziata porta a porta riducono il DRI dei rifiuti residui molto più efficacemente dei sistemi basati su contenitori stradali (in effetti dei sistemi di conferimento comunale). Viceversa, il DRI delle frazioni organiche separate derivanti da sistemi porta a porta è molto maggiore di quelli dove l'approccio alla raccolta è tramite contenitori stradali. Quindi, la Tabella relativa a DRI non solo illustra il valore della stabilizzazione dei rifiuti residui mediante TMB/BMT, ma mostra anche come la raccolta differenziata possa alterare significativamente la natura dei rifiuti residui, riducendo il contenuto organico nei rifiuti residuali.

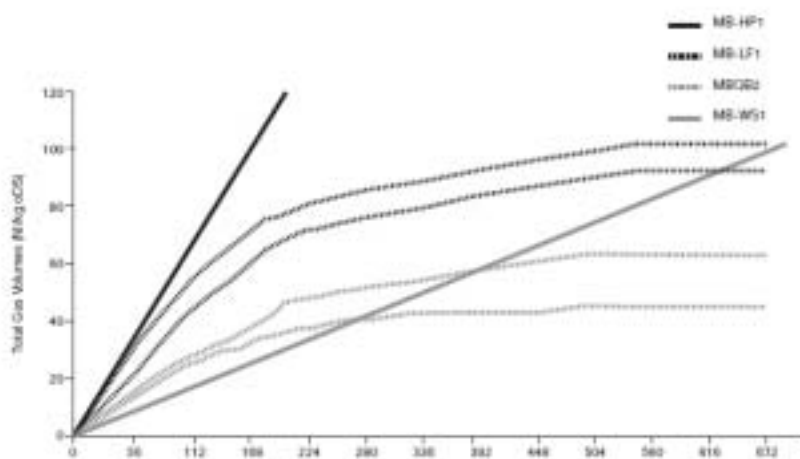


Figure 15: Comparison of the fermentation test with reference value oDS. Source: Zechner-Lahl et al. (2009) *Mikrobiell-Biologische Abfallbehandlung in Europa*. Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH

MS-QB2-D1 und D2

Figure 16: Comparison of the gas formation of the landfill tests

Figura 15: Confronto del test di fermentazione con valore di riferimento di oDS

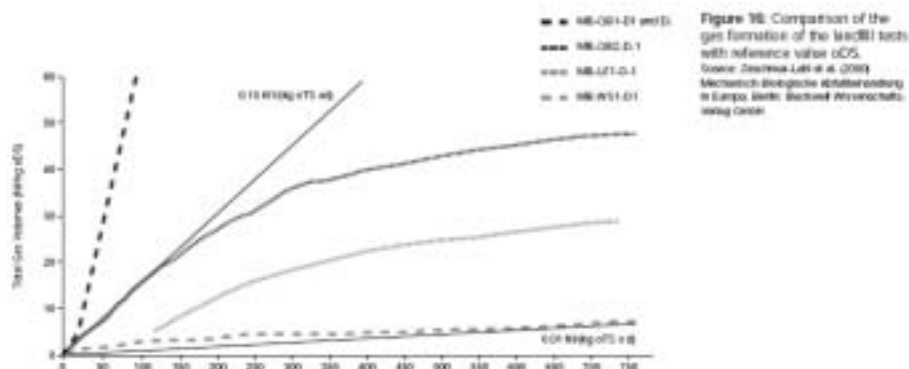


Figura 16: Confronto della formazione di gas nei test di discarica con valore di riferimento oDS

Tabella 27: Indici respiratori dinamici (DRI) per diverse frazioni di rifiuti

DRI (mg O ₂ kg VS-1ora ⁻¹)	Tipologia
70-150	RSU messi in discarica (età: 20 anni)
200-500	Compost maturo (OMEI > 0,6)
300-400	Rifiuti residui della raccolta differenziata porta a porta (frazioni secche)
500-700	RSU Biosecco/biostabilizzato (10-12 giorni)
800-1000	Rifiuti residui da contenitori stradali doppi (frazioni secche)
800-1200	OM (<i>sostanza organica</i>) stabilizzata proveniente da separazione meccanica (15-30 giorni)
1000-1300	Rifiuti residui da contenitori stradali (frazioni secche + umide - ? RSU)
2000-2800	Materia organica dalla separazione meccanica dei RSU ($\phi < 50-60$ mm)
2500-3500	Raccolta separata di materia organica/legno cellulosa (2:1 p/p)
4000-5000	Raccolta separata (OM-80-85 % p/p)

Fonte: Adani et al. (2002) Indici respiratori statici e dinamici. Studi e Ricerche italiane. Lavoro per il Workshop Tecnico sui Biorifiuti per l'Commissione Europea.

Emissioni di percolato da discarica

La AEA Technology riferisce che si è predetto il comportamento a lungo termine del residuo da TMB altamente stabilizzato grazie a una serie di esperimenti dettagliati, usando reattori di simulazione di discarica⁴⁹. In accordo con la discussione riportata sopra, i risultati mostrarono che:

1) il TMB riduce il potenziale di emissione di gas da discarica del 90% rispetto ai RSU non trattati. Il potenziale di emissione rimanente è caratterizzato da emivite di 15 -

30 anni, circa 10 volte più lunghe che per i RSU non trattati. Gli autori concludono che il tasso lento di emissione residuale di CH₄ indica che gli organismi, che ossidano il metano nel terreno superficiale, con tutta probabilità ossideranno tutto il CH₄ rilasciato (come discusso in precedenza, questo andrebbe contestualizzato alla conoscenza della durata del processo di pre-trattamento);
2) I rifiuti che residuano da TMB possono essere compattati nelle discariche fino a densità molto elevate (ca 1,5 tonnellate/m³, che porta a conduttività idrauliche molto

basse (nell'intervallo da 1×10^{-10} a 5×10^{-9} m/s). In conseguenza della bassa infiltrazione di acqua, viene minimizzata la produzione di percolato ed il suo contenuto in azoto e carbonio totali è ridotto rispettivamente fino al 95% e al 80-90%.

Quest'ultimi risultati sono confermati da Binner, che riferisce della diminuita permeabilità dei rifiuti messi in discarica dopo pre-trattamento meccanico biologico⁵⁰. Tuttavia, questo può portare a problemi di collocamento e stabilità per grosse quantità del materiale, vista che la misura più piccola delle particelle riduce l'angolo di frizione.

Di seguito mostriamo alcune illustrazioni attinte dal rapporto di Binner. La prima mostra che il pre-trattamento meccanico biologico (PMB) riduce significativamente le concentrazioni di azoto ammoniacale nel percolato rispetto alla situazione in cui non si

ha pre-trattamento. Le concentrazioni sono anche influenzate dall'età del sito.

Anche gli studi del Ministero Federale tedesco dell'Educazione e della Ricerca (BMBF) e dello stato di Hessen, discussi precedentemente nel contesto della formazione di gas, hanno indagato l'inquinamento da percolato prodotto in volumi compatti di rifiuti pre-trattati in modo meccanico-biologico⁵¹. Durante i test in reattori di simulazione di discarica, le concentrazioni di metalli pesanti nel percolato diminuivano nel corso dei test, con tutti i materiali. Tuttavia, con le sostanze organiche contenute nel percolato, il COD (richiesta chimica di ossigeno), i parametri dell'azoto e le componenti di sali anionici, le concentrazioni relative sono ancora rilevabili nel percolato nelle fasi più tardive dei test, in tutti i casi.

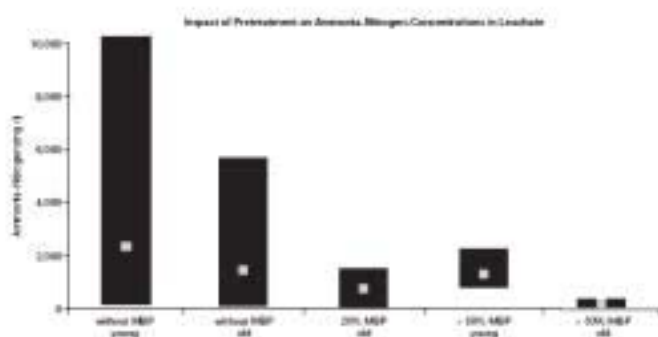


Figure 21: Impact of Mechanical Biological Pre-treatment on $\text{NH}_3\text{-N}$ Concentrations in Leachate
Source: Binner (2002); The Impact of Mechanical Biological Pre-treatment on Landfill Leachate. Paper presented to the European Commission Brussels Workshop, May 2002.

Figura 21: Impatto del pre-trattamento Meccanico Biologico sulle concentrazioni di $\text{NH}_3\text{-N}$ nel percolato.

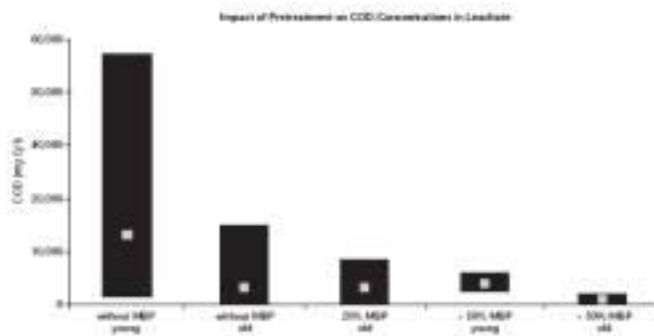


Figure 22: Impact of Mechanical Biological Pre-treatment on COD Concentrations in Leachate
Source: Erwin Borne (2003). The Impact of Mechanical Biological Pre-treatment on Leachate Characterisation. Paper Presented to the European Commission Slovenia Workshop, May 2002.

Figura 22: Impatto del pre-trattamento Meccanico Biologico sulle concentrazioni di COD nel percolato.

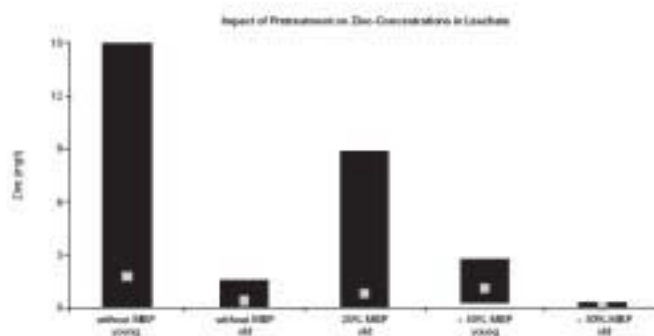


Figure 24: Impact of Mechanical Biological Pre-treatment on Zinc Concentrations in Leachate
Source: Erwin Borne (2003). The Impact of Mechanical Biological Pre-treatment on Leachate Characterisation. Paper Presented to the European Commission Slovenia Workshop, May 2002.

Figura 24: Impatto del pre-trattamento Meccanico Biologico sulle concentrazioni dello zinco nel percolato.

Caratteristiche Fisiche

Rispetto ai rifiuti urbani non trattati, i rifiuti sottoposti a TMB diventano una miscela relativamente omogenea, che otticamente è un poco simile ai compost derivati da materiali provenienti da raccolta differenziata. I rifiuti dopo TMB potrebbero essere differenziati dal compost solo per una proporzione aumentata di materiali vari, sintetici e tessili. Persino quando questo materiale influenza l'aspetto dei rifiuti, la sua proporzione rispetto alla grande massa dei rifiuti è relativamente bassa (0,5-3 wt. % del DS o circa 3-10 wt. % del oDS). Una stima matematica della frazione sintetica prima del pretrattamento produce una proporzione più grande dell'ordine di 5-8

wt. % del DS o circa 15-25 wt. % del oDS. Questo comporta dei problemi, poiché chiaramente la contaminazione 'invisibile', espressa come qualità specifica di attinenza ambientale e agronomica per l'uso di tale materiale, suggerisce che i residui da TMB siano assai diversi dal compost ottenuto da rifiuti organici (e quindi, i residui dovrebbero essere limitati nel modo in cui possono essere usati, come di fatto lo sono in molti paesi con standard per compost di qualità)⁵². Esiste una chiara necessità di definire tipi di standard.

La Tabella 28 fornisce una panoramica dei valori caratteristici di incorporazione di test con reattore provenienti da studi del Ministero

Federale Tedesco dell'Educazione e della Ricerca (BMBF) e dallo stato di Hessen⁵³, Germania. Permeabilità proporzionalmente elevate sono state misurate nei corpi dei rifiuti, che erano stati pressati in una condizione relativamente asciutta. Colonne diverse hanno attinenza con pre-trattamenti diversi per concezioni e durate.

Con i rifiuti che sono stati pressati in condizioni umide, generalmente si trovano valori di permeabilità molto bassi, da $4,2 \times 10^{-8}$ a $1,0 \times 10^{-10}$ m/s (vedo Tabella 29). Tuttavia, da questa si deve supporre che la permeabilità all'acqua probabilmente sarà maggiore nelle condizioni della discarica rispetto ai valori misurati in condizioni di laboratorio.

Con i rifiuti che sono stati pressati in una condizione umida, dall'inizio in poi si trovarono alte saturazioni di acqua, talvolta >90 vol.%. Con alcuni di questi test l'acqua di consolidamento veniva fuori durante la compressione. Stime matematiche hanno rivelato che, con le densità di pressatura date, si può avere una saturazione completa da un contenuto d'acqua di circa 35 wt. % (WS). In casi eccezionali, quali MB-WS1 persino da circa 30 wt. % (WS) (vedi il contenuto d'acqua con saturazione piena nella Tabella 29). Questo significa che con l'incorporazione e la compattazione dei materiali con un contenuto d'acqua di circa 30-35 wt. % (WS), ci si deve aspettare un rilascio di acqua di compressione, cosa che è anche stata confermata nei test.

Considerazioni di modellistica hanno, anche, mostrato che con una bassa conduttività idraulica della massa dei rifiuti, c'è pericolo di assestamenti dovuti al consolidamento nel lungo periodo. Con dei test si è stimato che questo pericolo può essere chiaramente ridotto mediante la riduzione del contenuto di acqua prima dell'incorporazione dei rifiuti.

Le condizioni di incorporazione hanno, anche, conseguenze sulla permeabilità ai gas. Questa dipende molto dalla proporzione di pori presenti nel rifiuto in ingresso alla discarica.

Fattori di resistenza alla diffusione, determinati sperimentalmente, per rifiuti compressi sono nella regione tra 30-50 con proporzioni di pori per i gas di 30-40 vol. %. La quantità di pori diminuisce con un contenuto d'acqua crescente. Con alti contenuti idrici, il fattore di resistenza alla diffusione aumenta fino a valori che stanno uno o due ordini di grandezza sopra questo valore. In particolare, con una saturazione elevata (circa >80% volume totale dei pori), un degassamento attivo del corpo della discarica diventa scomodo. Calcoli con modelli mostrano che persino in siti di discarica con rifiuti da TMB senza un isolamento superficiale e con tassi di respirazione molto bassi di $25 \text{ mg O}_2/\text{kg DS} \times \text{d}$ (RS_4 – valore di $0,1 \text{ mg O}_2/\text{g DS}$), ci si devono aspettare condizioni anaerobiche nel corpo di discarica.

Si consiglia la progettazione di un degassamento attivo convenzionale, sulla base dei tassi di formazione e permeabilità ai gas bassi. Ci si può aspettare che un degassamento attivo per una discarica TMB con rifiuti "ben stabilizzati" non sia praticabile. Per questa ragione, pare più promettente attuare un degassamento passivo mediante drenaggio del gas alla superficie e alla base della discarica. Con altezze della discarica elevate e con permeabilità molto bassa si dovrebbero anche immaginare elementi di degassamento piatti o canali nella massa dei rifiuti.

Binner riferisce che, rispetto ai rifiuti non trattati, i rifiuti pre-trattati attraverso TMB hanno:

- capacità di compattazione più elevata (1,3 t/m³, facilitando una riduzione nel volume)
- permeabilità più bassa (10^{-10} m/s, riduzione del percolato)
- dimensione delle particelle piccola (<15-35 mm, valore calorifico)
- problemi nel collocamento (pioggia)
- problemi di stabilità strutturale (si trova una riduzione dell'angolo di frizione in relazione con la dimensione più piccola delle particelle, nel modo seguente)
 $< 12 \text{ mm} \rightarrow \theta = 31^\circ$

< 25 mm → $\phi = 32^\circ$
 < 40 mm → $\phi = 37^\circ$
 < 80 mm → $\phi = 40^\circ$ ⁵⁴

Quindi i rifiuti pre-trattati con TMB sperimentano cambiamenti che sono positivi, come pure cambiamenti che richiedono nuovi approcci nella gestione.

Tabella 28: Valori delle caratteristiche dell'incorporazione di masse di compost all'inizio del test

Lotto di rifiuti	Test	MB-MH 1		MB-QB 1		MB-QB2	MB-LF1	MB-WS1
		D-1	D-2	D-1	D-2	D-1	D-1	D-1
Contenuto di acqua		Secco	Originario	Secco	Originario	Originario	Originario	Originario
Peso umido <i>ww</i>	Peso%	7,4	34,0	16,9	30,1	27,7	35,6	27,8
Peso secco <i>wd</i>	Peso %	8,0	51,5	20,3	43	38,3	55,3	38,5
<i>Densità di incorporazione</i>								
Densità umida <i>Qw</i>	kg/m ³	1.032	1.385	1.062	1.218	1.155	1.479	1.610
Densità secca <i>Qd</i>	kg/m ³	956	914	883	852	835	952	1.163
<i>Livello dei pori</i>								
Pori totali Ψ_{tot}	vol. %	52,4	54,5	50,4	52,1	55,4	52,9	49,0
Pori per il gas Ψ_g	vol. %	44,7	7,4	32,5	15,5	23,4	0,2	4,3
(assoluto)								
Avg saturazione <i>S</i>								
<i>w a saturazione piena</i>	vol %	14,6	86,5	35,6	70,3	57,7	99,5	91,3
Peso umido	wt %	35,4	37,3	36,4	38,0	39,9	35,7	29,6
<i>ww, massimo</i>								
Peso secco	wt %	54,8	59,6	57,1	61,2	66,3	55,6	42,1
<i>wd, massimo</i>								
Altezza dei rifiuti Δz	M	0,71	0,70	0,60	0,73	0,67	0,64	0,62
Scarico d'acqua di consolidamento al momento dell'incorporazione		No	Si	No	No	No	Si	si

Fonte: Zeschmar-Lahl et al. (2000) Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung in Europa. Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH

Tabella 29: Coefficiente di permeabilità e permeabilità all'aggiunta di acqua

Lotto dei rifiuti	Test	MB-MH1		MB-QB1		MB-QB2	MB-LF1	MB-WS1
		D-1	D-2	D-1	D-2	D-1	D-1	D-1
permeabilità	m/s	2,0E-06	7,2E-09	8,0E-09	4,9E-10	4,0E-06	>1,0E-10	4,5E-08
Coefficiente <i>ko.w</i>								
Permeabilità <i>ko</i>	m ²	2,4E-13	8,6E-16	9,6E-16	5,9E-17	4,8E-13	<1,2E-17	5,4E-15
Abbassamento idraulico <i>I</i>		2,7	3,3	7,2	7,3	6,5	6,9	7,0

Fonte: Zeschmar-Lahl et al. (2000) Mechanische- Biologische Abfallbehandlung in Europa. Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH

Sommario dell'Appendice

Le discariche TMB possono ancora rilasciare, per un certo periodo di tempo, un'emissione potenziale residua (sia verso l'atmosfera, sia verso l'acqua), ma ad un livello molto più basso di quello dei rifiuti non trattati. Si dovrà tener conto di ciò nel concetto futuro di discarica e nella legislazione emergente, particolarmente perché riguarda questioni ambientali. Questi fattori dovrebbero anche influenzare la scelta di gestione dei rifiuti residuali.

Le ricerche suggeriscono che il pre-trattamento dei rifiuti mediante TMB prima della messa in discarica porta a:

- riduzione e stabilizzazione dei solidi organici;
- un miglior controllo di ciò che entra nelle discariche;
- riduzione della generazione di gas;
- riduzione del percolato (sia nella quantità, sia nelle concentrazioni)
- un assestamento più basso; e
- riduzione delle sostanze dannose.

La bassa permeabilità ai gas e all'acqua hanno conseguenze attinenti alla conduzione della discarica. In casi isolati in Germania sono già sorti alcuni problemi seri di ingegneria, dopo

aver conferito il prodotto di TMB in discarica. In Baviera, ad esempio, nella primavera del 1998, circa 100 m² di un argine collocato ripidamente, costruito con prodotti TMB scivolarono al sito della discarica Bad Tolz/Wolfratshausen. L'argine è stato poi collocato meno ripidamente, e non ci sono stati più problemi.

Le suddette considerazioni sottolineano il fatto che il TMB dovrebbe essere visto come parte di una concezione alterata della discarica. Combinazioni di questioni correlate a questo nuovo concetto e messe in evidenza da Zeschmar-Lahl e altri comprendono quelle di:

- controllo della stabilità strutturale,
- incorporazione con contenuto d'acqua controllato,
- nuove concezioni di contenimento del percolato, di drenaggio dei gas e di isolamento superficiale,
- valutazione tossicologica ed ecotossicologica delle sostanze individuali nel TOC del percolato, e
- riduzione delle emissioni residue di metano (mediante procedure di gestione)⁵⁵.

Bibliografia

AEA Technology (2001) Waste Management Options and Climate Change, Final Report to the European Commission, DG Environment, July 2001.

Austrian Ministry for Agriculture and Environment (2002): MBT Guideline

AWS, IFIP & GUA (2000) Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen mit dem Ziel der nachsorgefreien Deponie – BEWEND. Unpublished case study Institute for Water Quality and Waste Management TU Vienna, Institute for Public Finance and Infrastructure Policy TU Vienna & Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH, Vienna, Austria

BSI, WRAP and Composting Association (2002) PAS 100 – Specification for Composted Materials, London: British Standards Institution.

BZL (2000) Thermisch-Regenerative Abgasreinigung für die mechanisch-biologische Abfallbehandlung.

Erwin Binner (2002) The Impact of Mechanical-Biological Pre-treatment on Landfill Behaviour, Paper Presented to the European Commission Biowaste Workshop, May 2002.

C. Cuhls, H. Doedens et al. (1999) Bilanzierung von Umweltchemikalien bei der mechanischbiologischen Abfallbehandlung (Balancing Environmental Chemicals in Mechanical-Biological Waste Treatment), in: Verbundvorhaben mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen, Ergebnispräsentation 7.-8.Sept. 1999, gefördert vom BMBF, Hrsg. Universität Potsdam, Zentrum für Umweltwissenschaften, Potsdam 1999.

H. Doedens, C. Cuhls and F. Monkeberg (1998) Bilanzierung von Umweltchemikalien bei der biologischen Vorbehandlung von Restabfällen, BMBF-Statusseminar, Potsdam, March 1998.

H. Doedens et al. (2000) Mechanisch-biologische Vorbehandlung von Restabfällen in Niedersachsen – Abschlussbericht.

H.-J. Ehrig et al. (1998) Verbundvorhaben "Mechanisch-Biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen, Teilvorhaben _: Anforderungen an und Bewertung von biologischen Vorbehandlungen für die Ablagerung

H.-J. Ehrig and U. Witz (2002) Aufkommen und Behandlung von Sicker- und Oberflächenwässern von Deponien mit MBA-Material

EnBW (2000) Innovation Report 2000. Generation and Utilization of C-Plus Material.

K. Fricke, W. Müller, M. Turk and R. Wallmann (1997) Stand der Technik der mechanischbiologischen Restabfallbehandlung, in BWKArbeitsgruppe 'Restabfallbehandlung', B. Bilitewski and R. Stegmann (eds) Mechanisch-biologische Verfahren zur stoffspezifischen Abfallbeseitigung. Beihefte zu Mull und Abfall, 33: 26-56.S.

Hellweg (2000) Time-and Site-Dependent Life-Cycle Assessment of Thermal Waste Treatment Processes, Dissertation submitted to the Swiss Federal Institute Of Technology.

Hoering, K, Kruempelbeck, I and Ehrig, H.-J. (1999) Long-term emission behaviour of mechanicalbiological pre-treated municipal solid waste. In: Proceedings Sardinia 99. Seventh International Waste Management and Landfill Symposium. S Margherita di Pula, Caligari, Italy, 4-8 October 1999. pp 409-418.

D. Hogg, D. Mansell and Network Recycling (2002) Maximising Recycling, Dealing with Residuals, Final Report to the Community Recycling Network.

D. Hogg et al (2002) Comparison of Compost Standards within the EU, North America and Australasia, Final Report to WRAP.

K. Ketelsen and C. Cuhls (1999) Emissionen bei der mechanisch-biologischen Behandlung von Restabfällen und deren Minimierung bei gekapselten MBS-Systemen, in Bio- und Restabfallbehandlung III, M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhausen.

U. Lahl, B. Zeschmarr-Lahl and T. Angerer (2000) Entwicklungspotentiale der Mechanischbiologischen Abfallbehandlung: Eine Ökologische Analyse, Umweltbundesamt: Wien

O. Muck (2002) Restmüllverwertung mit dem BTA-Verfahren, in Thome-Kozmiensky (2002) Reformbedarf in der Abfallwirtschaft.

Nolan-ITU (1999) Residual Waste Stabilisation: Comparison of Generic Technologies, for the Southern Sydney Waste Board.

Öko-Institut (1998) Systemvergleich unterschiedlicher Verfahren der Restabfallbehandlung für die Stadt Münster (Residual Waste Treatment for the City of Münster – System Comparison).

W. Plehn (1989) FCKW zur Kunststoffverschäumung, in UBA (eds.) Verzicht aus Verantwortung, UBAberichte 7/89.

Ch. Quittek (2002) Vergärung nach dem VALORGAVerfahren, in: Thome-Kozmiensky: Reformbedarf in der Abfallwirtschaft.

Th. Seifermann (2002) MBA ISKA Buchen mit Perkolat, in K. Wiemer and M. Kern (2002) Biound Restabfallbehandlung VI.

P. Schalk (2002) Das BIOPERCOLAT-Verfahren in der Restabfallbehandlung, in K. Wiemer and M. Kern (2002) Bio- und Restabfallbehandlung VI.

SORTEC 3 Technology: DKR Deutsche Gesellschaft für Kunststoffrecycling (www.dkr.de)

L. Wanholt (1999) Biological Treatment of Domestic Waste in Closed Plants in Europe – Plant Visit Reports, RVF Report 98:8, RVF, Malmo.

K. Wiemer (1995) Mechanical Biological Treatment of Residual Waste based on the Dry-Stabilate Method, Witzenhausen, 1995.

B. Zeschmar-Lahl et al. (2000) Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung in Europa, Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH.

Fonti

- 1 D. Hogg, D. Mansell and Network Recycling (2002) *Maximising Recycling, Dealing with Residuals*, Final Report by Eunomia, Avon Friends of the Earth and Network Recycling to the Community Recycling Network.
- 2 IBA GmbH, Hannover, BZL GmbH, Oyten, CUTEC GmbH, Clausthal-Zellerfeld (1998) *Möglichkeiten der Kombination von mechanischbiologischer und thermischer Behandlung von Restabfällen*, F + E Vorhaben Nr.1471 114 im Auftrag des BMBF/UBA.
- 3 U. Lahl, B. Zeschmar-Lahl and T. Angerer (2000) *Entwicklungspotentiale der Mechanisch-biologischen Abfallbehandlung: Eine Ökologische Analyse*, Umweltbundesamt: Wien.
- 4 Nolan-ITU (1999): Residual Waste Stabilisation. Comparison of Generic Technologies. For the Southern Sydney Waste Board.
- 5 L. Wanholt (1999) Biological Treatment of Domestic Waste in Closed Plants in Europe – Plant Visit Reports, RVF Report 98:8, RVF, Malmo.
- 6 K. Ketelsen and C. Cuhls (1999) Emissionen bei der mechanischbiologischen Behandlung von Restabfällen und deren Minimierung bei gekapselten MBS-Systemen, in *Biound Restabfallbehandlung III*, M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhausen.
- 7 U. Lahl, B. Zeschmar-Lahl and T. Angerer (2000) *Entwicklungspotentiale der Mechanisch-biologischen Abfallbehandlung: Eine Ökologische Analyse*, Umweltbundesamt: Wien
- 8 AEA Technology (2001) *Waste Management Options and Climate Change*, Final Report to the European Commission, DG Environment, July 2001.
- 9 AWS, IFIP & GUA (2000) *Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen mit dem Ziel der nachsorgefreien Deponie – BEWEND*. Unpublished case study Institute for Water Quality and Waste Management TU Vienna, Institute for Public Finance and Infrastructure Policy TU Vienna & Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH, Vienna, Austria.
- 10 K. Fricke, W. Müller, M. Turk and R. Wallmann (1997) Stand der Technik der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung, in BWKArbeitsgruppe ‘Restabfallbehandlung’, B. Bilitewski and R. Stegmann, Mechanisch-biologische Verfahren zur stoffspezifischen Abfallbeseitigung. Beihefte zu Müll und Abfall, 33: 26-56.
- 11 H. Doedens, C. Cuhls and F. Monkeberg (1998) Bilanzierung von Umweltchemikalien bei der biologischem Vorbehandlung von Restabfällen, BMBF-Statusseminar, Potsdam, March 1998.
- 12 Zeschmar-Lahl et al. (2000) *Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung in Europa*, Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH.
- 13 NMVOC = non-methane volatile organic compounds.
- 14 W. Plehn (1989) FCKW zur Kunststoffverschäumung, in UBA (eds.) Verzicht aus Verantwortung. UBABerichte 7/89.
- 15 Seifermann Th. MBA ISKA Buchen mit Perkolation, in
- Wiemer K., Kern M. (2002) Bio- und Restabfallbehandlung VI. ISBN3-928673-38-6.
- 16 Komptech Waste Processing Facility in operation in Padova/Italy
- 17 Vagron Plant, Belgium. Raba Plant, Germany (for details refer to Appendix A)
- 18 NECS (2001): Environmental Impact Statement for proposed UR-3R facility at Eastern Creek, Sydney
- 19 SORTEC 3 Technology: DKR Deutsche Gesellschaft für Kunststoffrecycling (www.dkr.de)
- 20 EnBW (2000): Innovation Report 2000. Generation and Utilization of C-Plus Material.
- 21 Seifermann Th. MBA ISKA Buchen mit Perkolation, in Wiemer K., Kern M. (2002) Bio- und Restabfallbehandlung VI. ISBN3-928673-38-6.
- 22 Schalk P. (2002): Das BIoPERCOLATVVerfahren in der Restabfallbehandlung, in Wiemer K., Kern M. (2002) Bio- und Restabfallbehandlung VI. ISBN3-928673-38-6.
- 23 Komptech Waste Processing Facility in operation in Padova/Italy.
- 24 Austrian Ministry for Agriculture and Environment (2002): MBT Guideline
- 25 Strictly interpreted, things may not be so clearcut since the definition of the ‘compost’ and ‘composting’ under the Animal By-products Order suggests something which includes MBT plants, so that the

- fate of the waste is potentially irrelevant. The interpretation in the main body of the text is based on discussions with DEFRA officials.
- 26 European Council Directive 1999/31/EC. Based on this, national implementation eg German and Austrian Landfill Ordinances – see Section 4 above. It should be noted that the time period here is time to meet the Austrian requirements, for which the requirements are especially stringent. A shorter time period might be reasonable to meet Italian standards, reducing unit costs somewhat (because of the shorter maturation time required).
- 27 Trials for the City of Vienna, as part of the development of additional residual waste treatment facilities.
- 28 Seifermann Th. (2001): MBA ISKABuchen mit Perkolation – Anlagenbeschreibung und Allgemeines Verfahrenskonzept. In: Wiemer K, Kern M (2001): *Bio- und Restabfallbehandlung V*. ISBN 3-928673-34-3
- 29 Öko-Institut (1998): Systemvergleich unterschiedlicher Verfahren der Restabfallbehandlung für die Stadt Münster (Residual Waste Treatment for the City of Münster – System Comparison).
- 30 BSI, WRAP and Composting Association (2002) PAS 100 – *Specification for Composted Materials*, London: British Standards Institution.
- 31 Ehrig et al. (1998): Verbundvorhaben "Mechanisch-Biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen, Teilvorhaben _: Anforderungen an und Bewertung von biologischen Vorbehandlungen für die Ablagerung
- 32 Bundesimmissionsschutzverordnung
- (German National Immissions Ordinance)
- 33 BZL (2000): Thermisch-Regenerative Abgasreinigung für die mechanischbiologische Abfallbehandlung.
- 34 Doedens et al. (2000) Mechanischbiologische Vorbehandlung von Restabfällen in Niedersachsen – Abschlussbericht.
- 35 Derived from: C.Cuhls, H. Doedens et al. (1999): Bilanzierung von Umweltschadstoffen bei der mechanischbiologischen Abfallbehandlung (*Balancing Environmental Chemicals in Mechanical-Biological Waste Treatment*), in: Verbundvorhaben mechanischbiologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen, Ergebnispräsentation 7.-8.Sept. 1999, gefördert vom BMBF, Hrsg. Universität Potsdam, Zentrum für Umweltwissenschaften, Potsdam 1999.
- 36 Doedens et al. (2000): Mechanischbiologische Vorbehandlung von Restabfällen in Niedersachsen – Abschlussbericht.
- 37 Nolan-ITU (1999): Residual Waste Stabilisation. Comparison of Generic Technologies. For the Southern Sydney Waste Board.
- 38 See D. Hogg, D. Mansell and Network Recycling (2002) *Maximising Recycling, Dealing with Residuals*, Final Report to the Community Recycling Network.
- 39 Sources are: GEMIS Database (maintained by Öko Institut, Darmstadt, Germany) (metals other than steel); IISI Life Cycle Inventories (steel); and AEA Technology (2001) *Waste Management Options and Climate Change, Final Report to the European Commission*, DG Environment, July 2001 (textiles).
- 40 AEA Technology (2001) *Waste Management Options and Climate Change, Final Report to the European Commission*, DG Environment, July 2001.
- 41 Muck O. (2002): Restmüllverwertung mit dem BTA-Verfahren, in: Thome-Kozmiensky: Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. ISBN 3-935317-05-0.
- 42 Quittek Ch. (200) Vergärung nach dem VALORGA-Verfahren, in: Thome-Kozmiensky: Reformbedarf in der Abfallwirtschaft. ISBN 3-935317-05-0.
- 43 Ehrig H.-J., Witz U. (2002) Aufkommen und Behandlung von Sicker- und Oberflächenwässern von Deponien mit MBA-Material
- 44 Binner E. (2002): *The Impact of Mechanical-Biological Treatment on the Landfill Behaviour*. Paper at the EU Biowaste Workshop, Brussels, April 2002.
- 45 Aumonier (1997): Life Cycle Assessment of Anaerobic Digestion.
- 46 White et. al (1999): IWM-2 Model Guide.
- 47 National Law Gazette 325/1990 rev. NLG 164/1996.
- 48 The studies are reviewed in Zeschmar-Lahl et al. (2000) *Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung in Europa*, Berlin: Blackwell Wissenschafts-VerlagGmbH., which we rely upon here for the key results.
- 49 Hoering, K, Kruempelbeck, I and Ehrig, H-J. (1999) Long-term emission behaviour of mechanical-biological pretreated municipal solid waste. In: Proceedings Sardinia 99. *Seventh International Waste Management and Landfill Symposium*. S Margherita di Pula, Caligari, Italy, 4-8 October 1999. pp 409-418.

50 Erwin Binner (2002) *The Impact of Mechanical-Biological Pre-treatment on Landfill Behaviour*, Paper Presented to the European Commission Biowaste Workshop, May 2002.

51 Again, we refer to the review in Zeschmar-Lahl et al. (2000) *Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung in Europa*, Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH., for the key results.

52 See D. Hogg et al (2002) *Comparison of Compost Standards within the EU, North America and Australasia*, Final Report to WRAP.

53 Again, we refer to the review in Zeschmar-Lahl et al. (2000) *Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung in Europa*, Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH., for the key results.

54 Erwin Binner (2002) *The Impact of Mechanical-Biological Pre-treatment on Landfill Behaviour*, Paper Presented to the European Commission Biowaste Workshop, May 2002.

55 Zeschmar-Lahl et al. (2000) *Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung in Europa*, Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH