

# INDICE

## ATTIVITA' B

**Analisi delle tecnologie emergenti inerenti il trattamento della frazione organica presente nei rifiuti solidi urbani, con particolare riferimento a quelle attualmente in fase di sperimentazione sul territorio nazionale ed a quelle di pre-trattamento della frazione umida da RD in carenza di materiale lignocellulosico; valutazione di massima relative al rapporto costi-benefici economici delle tecnologie suddette, nonché dei risultati dell'attività sperimentale in corso e/o svolta**

Premessa.....	2
<b>1. BIO-OSSIDAZIONE ACCELERATA: TECNOLOGIE PRESENTI E PROPOSTE SUL TERRITORIO NAZIONALE.....</b>	<b>2</b>
1.1 INTRODUZIONE.....	2
1.2 IL COMPOSTAGGIO IN AMBIENTE CONFINATO.....	2
1.3 PROPOSTE TECNOLOGICHE PER IL COMPOSTAGGIO IN AMBIENTE CONFINATO: SCHEDE TECNICO-DESCRITTIVE ..	3
1.4 CONCLUSIONI.....	21
<b>2. LA SITUAZIONE IMPIANTISTICA ITALIANA.....</b>	<b>22</b>
2.1 PREMESSA: IL COMPOSTAGGIO DEGLI SCARTI ORGANICI IN EUROPA.....	22
2.1.1 <i>Un termine di paragone: il compostaggio di rifiuti organici preselezionati in Germania e in Austria</i> .....	25
2.2 STATO DELL'ARTE DEL COMPOSTAGGIO IN ITALIA.....	27
2.3 TECNOLOGIE DI COMPOSTAGGIO PRESENTI SUL TERRITORIO ITALIANO .....	29
2.3.1 <i>Premessa</i> .....	29
2.3.2 <i>Pretrattamenti</i> .....	30
2.3.3 <i>Fase di degradazione biologica o fase di bio-ossidazione</i> .....	34
2.3.4 <i>Fase di maturazione</i> .....	43
2.3.5 <i>Raffinazione e nobilitazione del prodotto</i> .....	43
2.3.6 <i>Elenco ditte produttrici di macchine e tecnologie per il compostaggio</i> .....	45
2.4 RASSEGNA DI IMPIANTI ITALIANI.....	67
2.5 VALUTAZIONI ECONOMICHE.....	79
2.5.1 <i>Premessa</i> .....	79
2.5.2 <i>Costi di investimento: ipotesi di base</i> .....	80
2.5.3 <i>Costi di investimento: risultati</i> .....	83
2.5.4 <i>Spazi occupati</i> .....	88
2.5.5 <i>Potenze elettriche installate e relativi consumi elettrici</i> .....	89
<b>3. SISTEMI INTEGRATI ANAEROBICI/AEROBICI DI TRATTAMENTO DEI RIFIUTI ORGANICI ED ALTRE BIOMASSE.....</b>	<b>92</b>
3.1 LA DIGESTIONE ANAEROBICA.....	92
3.2 STATO DELL'ARTE DELLA STABILIZZAZIONE E VALORIZZAZIONE AEROBICA ED ANAEROBICA DEI RIFIUTI ORGANICI IN EUROPA .....	95
3.2.1 <i>La situazione in Italia della digestione anaerobica</i> .....	96
3.3 INTEGRAZIONE TRA SISTEMA ANAEROBICO E AEROBICO: VANTAGGI E SVANTAGGI .....	97
3.4 ESEMPI DI SISTEMI INTEGRATI ANAEROBICI/AEROBICI REALIZZATI E/O IN PROGETTO.....	100
3.4.1 <i>L'impianto di Camposampiero (PD)</i> .....	100
3.4.2 <i>L'impianto di "Braunschweig-Watenbüttel" (Germania)</i> .....	102
3.4.3 <i>L'impianto consortile di Marsciano (PG)</i> .....	106
<b>4. PRETRATTAMENTO DELLA FRAZIONE UMIDA DA RACCOLTA DIFFERENZIATA IN CARENZA DI MATERIALE LIGNEOCELLULOSICO.....</b>	<b>111</b>
4.1 ESEMPIO APPLICATIVO.....	112
<b>5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....</b>	<b>119</b>

## Premessa

Essendo l'argomento "tecnologie di compostaggio" alquanto ampio e complesso, si è ritenuto opportuno sviluppare il documento nel modo di seguito indicato. Si affronta subito, in modo da dare ad esso la giusta rilevanza, il tema centrale dello studio, cioè le tecnologie emergenti; ad esse, infatti, è dedicato il capitolo 1, nel quale si descrivono i sistemi di compostaggio al momento proposti e/o da poco realizzati sul territorio nazionale.

Nel capitolo 2 si allarga il raggio di azione e si delinea il settore compostaggio in tutte le sue componenti. Si esamina lo stato dell'arte del compostaggio in Italia e in Europa; si passano in rassegna le tecnologie e le attrezzature per il compostaggio presenti e disponibili a livello nazionale e si riporta una descrizione schematica di un cospicuo numero di impianti funzionanti. Conclude il capitolo una serie di valutazioni economiche relative agli investimenti per la realizzazione di impianti di compostaggio con tecnologie diversificate in funzione della potenzialità di trattamento.

Il capitolo 3 è dedicato alle nuove linee di sviluppo e integrazione del settore compostaggio. Il tema centrale è l'integrazione tra il sistema di trattamento aerobico degli scarti organici e il trattamento aerobico; oltre a definire vantaggi e svantaggi dell'integrazione dei due sistemi e delineare lo stato della digestione anaerobica in Italia, si riporta la descrizione di alcuni casi reali realizzati in Europa e in Italia.

Chiudono il lavoro il capitolo 4, che affronta l'argomento del trattamento di rifiuti umidi in carenza di materiale ligneocellulosico e il capitolo 5 che riporta un'ampia bibliografia di riferimento per gli argomenti trattati.

## 1. Bio-ossidazione accelerata: tecnologie presenti e proposte sul territorio nazionale

### 1.1 Introduzione

Come poco sopra enunciato, questo capitolo si pone l'obiettivo di illustrare sinteticamente, tra le numerose disponibili, le tecnologie di compostaggio proposte per il trattamento della frazione organica da raccolta differenziata (FORSU) che in questi ultimi tempi stanno suscitando maggiore interesse, ovvero i "sistemi confinati o chiusi" quali biocelle, biocontainers, biotunnel, ecc..

A livello nazionale sono questi, infatti, i sistemi che prevalgono negli impianti di recente realizzazione, in quelli in fase di ampliamento e in diversi progetti in fase di approvazione.

Nel trattamento di compostaggio la fase di bio-ossidazione accelerata è la fase più problematica in relazione alla ottimizzazione del processo e all'impatto ambientale (odori e percolati), soprattutto quando si opera con matrici umide e ricche di sostanza organica ad elevata fermentescibilità, quali la FORSU. In generale, pertanto, il confinamento di tale fase in spazi coperti e tamponati o in veri e propri reattori chiusi a tenuta consente un più adeguato controllo del processo e il contenimento dell'impatto sull'ambiente circostante.

### 1.2 Il compostaggio in ambiente confinato

Le motivazioni alla base del forte impulso che, rispetto a pochi anni fa, stanno avendo i sistemi chiusi sono verosimilmente le seguenti:

- consentono lo svolgimento della prima fase di bio-ossidazione in ambiente confinato con controllo dei parametri di processo e trattamento delle arie esauste. Ciò permette, tra l'altro, il rispetto delle prescrizioni (*tabella 1*) previste dalle norme tecniche del D.M. 5 febbraio '98 per il recupero dei rifiuti non pericolosi al punto 16 (matrici compostabili) e il conseguente avvio dell'attività secondo le procedure semplificate (art. 31 e 33 del D.Lgs 22/97);
- il confinamento della massa in trasformazione in spazi contenuti, sino al minimo consentito come nei reattori a tenuta stagna e la modularità di tali sistemi offrono l'opportunità agli impianti in esercizio di aumentare la potenzialità di trattamento di scarti umidi e putrescibili, pur disponendo di spazi ristretti, nel pieno rispetto delle normative vigenti. Con tali sistemi, tra l'altro, si ha in genere il massimo contenimento del flusso di arie esauste avviato a trattamento. Ciò comporta risparmi in termini di dimensioni dei biofiltri e dei relativi costi di gestione;
- molti di tali sistemi sono modulari e, quindi, adottabili per il trattamento di flussi di modesta entità (al di sotto delle 5.000 t/anno) in contesti particolarmente delicati dal punto di vista ambientale, quali, ad esempio, le località turistiche;
- il loro inserimento in impianti esistenti di tipo semplificato, quali quelli destinati al trattamento di scarti vegetali (platee scoperte e coperte) permette il ritiro di matrici umide più problematiche quali la FORSU con incremento della potenzialità di trattamento, senza peraltro peggiorare l'impatto sull'ambiente circostante e nel pieno rispetto delle prescrizioni di legge (conduzione della fase più intensa del processo in ambiente confinato).

Prima di entrare nel dettaglio, preme evidenziare che nel ciclo di compostaggio la fase di bio-ossidazione accelerata in sistemi confinati, solitamente protratta per tempi variabili dai 7 ai 21 giorni, costituisce una modesta frazione del tempo complessivo di permanenza delle matrici; restano pertanto invariate tutte le restanti zone funzionali di cui l'impianto di compostaggio deve essere dotato.

***Tabella 1 - Requisiti impiantistici richiesti (punto 16.1.3 del D.M. 05/02/98) per lo svolgimento dell'attività di compostaggio in regime di procedura semplificata ai sensi degli artt. 31 e 33 del Dlgs 22/97***

1. Ciclo di compostaggio: almeno 90 giorni
2. Stoccaggio delle matrici e fase di bioossidazione in "ambiente confinato"
3. Contenimento e controllo di polveri e odori mediante idonee misure e sistemi di abbattimento

I punti 2 e 3 NON sono obbligatori per gli impianti che trattano unicamente:

- b) rifiuti vegetali di produzioni agricole;
- c) segatura, trucioli, frammenti di legno, di sughero;
- h) scarti di legno non impregnato;
- l) scarti ligneocellulosici da manutenzione del verde ornamentale.

Tutte le fasi di trattamento devono avvenire su superficie impermeabilizzate con sistemi di raccolta acque reflue di processo

### **1.3 Proposte tecnologiche per il compostaggio in ambiente confinato: schede tecnico-descrittive**

Di seguito si riporta, *in ordine alfabetico*, una descrizione sintetica delle tecnologie proposte per la prima fase del processo di compostaggio di scarti organici selezionati alla fonte.

La *tabella 2* riporta i dettagli tecnici essenziali; nella parte descrittiva si illustrano brevemente le peculiarità di ciascuna. *Tutte le informazioni riportate sono state desunte dalla documentazione*

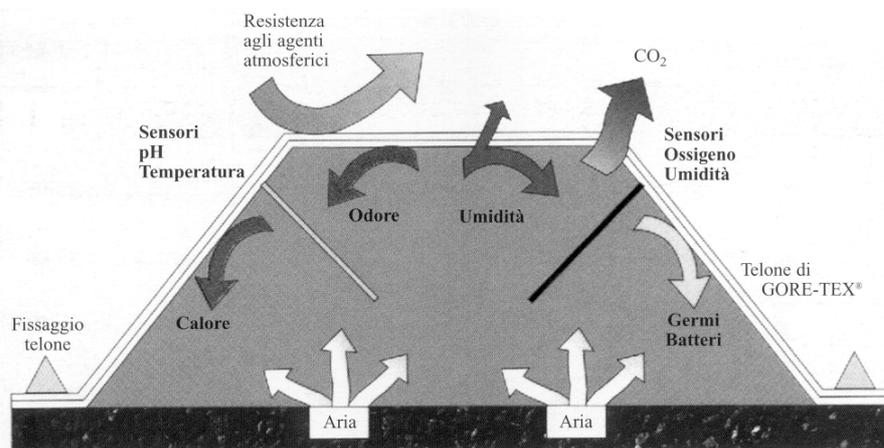
tecnica fornita direttamente dalla ditta proponente e aggiornate al luglio 2001. Le informazioni relative alle soluzioni impiantistiche e tecnologiche che le ditte citate propongono per le restanti zone funzionali dell'impianto di compostaggio sono state volutamente omesse.

### SISTEMA "BIOE CONTROL" - BIOE, MILANO

Il sistema si basa sulla tecnica del compostaggio statico aerato con un ciclo di trattamento di circa 15-20 giorni. Il cuore del sistema è l'impiego di teli Gore-Tex distesi a copertura di cumuli di rifiuti organici, sia di cumuli a sezione trapezoidale sistemati su platea pavimentata oppure, per quantità più consistenti, di trincee. Ogni cumulo o corsia è dotata di ventilatore proprio con inverter, che alimenta la canalizzazione disposta in senso longitudinale, il cui funzionamento è governato da un sistema computerizzato di controllo che elabora i dati di processo. La copertura con telo a membrana Gore-Tex (figura 1), da un lato, consente il passaggio in atmosfera di anidride carbonica e parte dell'acqua, dall'altro, impedisce la fuoriuscita dei composti intermedi di degradazione responsabili degli odori e il passaggio delle acque meteoriche (verifiche condotte in Germania dall'Università di Stoccarda e in Italia dall'Istituto Mario Negri di Milano confermano una buona efficienza di contenimento delle emissioni maleodoranti). Ciò consente la conduzione del processo di stabilizzazione in un sistema "chiuso" pur operando su semplice platea pavimentata con minimizzazione degli investimenti in termini di strutture fisse.

In caso di quantitativi significativi da trattare è possibile ricorrere a corsie in calcestruzzo con muretti di contenimento di altezza pari 1,60 m. Una centinatura, ancorata ai muretti e alta 2,9 m, permette la copertura con telo Gore-Tex ben teso e a tenuta (figura 2).

**Figura 1 - Principio di funzionamento del telo Gore-Tex (Documentazione tecnica BIOE)**



**Figura 2 – Esempio di trincea con sistema di copertura con telo Gore-Tex (Documentazione tecnica BIOE)**



Il sistema BioE Control è disponibile in forma di noleggio con assistenza e garanzia sul prodotto in uscita per periodi minimi di 36 mesi. Il telo Gore-Tex non è vendibile separatamente.

I costi di noleggio (*anno 2000*) per il sistema a cumuli trapezoidali variano significativamente in funzione della quantità di rifiuti trattati: si passa dalle 59 L/kg per quantità modeste (1000-3000 t/anno) alle 22 L/kg per quantità elevate (oltre 50.000 t/anno). Tali costi comprendono, oltre alle opere elettromeccaniche, anche la realizzazione della platea in calcestruzzo (esclusa la preparazione del sottofondo). A richiesta, il sistema potrà essere ceduto in vendita, ma comunque con contratto di assistenza.

#### **SISTEMA “BIO.GE.CO” – BIO.GE.CO, S. ROCCO AL PORTO (LO)**

L'unità di trattamento è costituita da una reattore a pianta rettangolare in cemento armato prefabbricato a tenuta. Particolarità del reattore sono la sezione, più larga alla base per impedire la formazione di vie preferenziali all'aria insufflata dal fondo e il soffitto inclinato in senso longitudinale (l'altezza varia da 5,5 m all'ingresso sino a 6,7 nella parte terminale) che favorisce l'allontanamento del vapore acqueo presente nell'aria esausta (*figura 3*).

Il sistema di aerazione forzata prevede 1 ventilatore per ciascuna biocella che insuffla aria nella massa attraverso una rete di tubi in PVC opportunamente additivato dotati di ugelli conici anti-intasanti. L'aspirazione delle arie esauste è assicurata da un gruppo modulare costituito da 2 ventilatori, 2 scrubber e 2 biofiltri, con linee di estrazione distinte ma intercambiabili, in caso di interventi di manutenzione.



### SISTEMA “IL GIRASOLE” – CESARO MAC.IMPORT, JESOLO (VE)

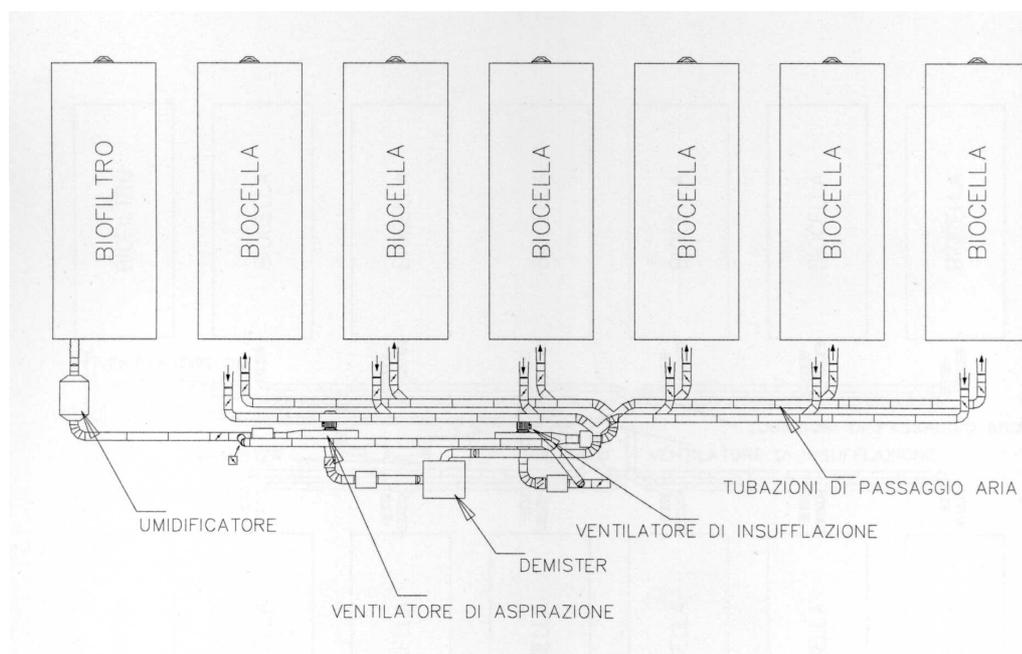
L'unità di trattamento è un reattore chiuso realizzato in cemento armato o in acciaio inox di superficie variabile, in funzione della potenzialità desiderata, da 400 a 1.600 m<sup>2</sup>, cui corrisponde un volume utile sino a circa 4000 m<sup>3</sup>.

L'aria, fornita per insufflazione attraverso ugelli troncoconici posti su tubi in PVC annegati nella pavimentazione, una volta attraversata la massa in compostaggio, viene aspirata dal condotto di uscita e nuovamente reinviata nella pavimentazione e quindi ricircolata nella massa. Il sistema computerizzato di gestione del processo stabilisce la miscelazione dell'aria di processo con aria fresca e la sua umidificazione con acqua (irrorazione dell'ambiente del tunnel). Il fluido impiegato nello scrubber per il lavaggio dell'aria esausta è costituito da percolati e condense prodotti dalla massa in trasformazione, opportunamente raccolti in serbatoio posto sotto lo scrubber stesso e da acqua di rete.

### SISTEMA “BIO-DE.CO” – DE.CO. ENGINEERING, CASELLE (TO)

Sono proposti due sistemi, uno a biocelle statiche ed uno a containers scarrabili. Il sistema a biocelle statiche prevede più reattori chiusi realizzate in muratura con dimensioni prestabilite. Il sistema di aerazione prevede un ventilatore al servizio di 3 biocelle.

**Figura 4 – Schema del sistema a containers scarrabili BIO-DE.CO (Documentazione tecnica DE.CO Engineering)**



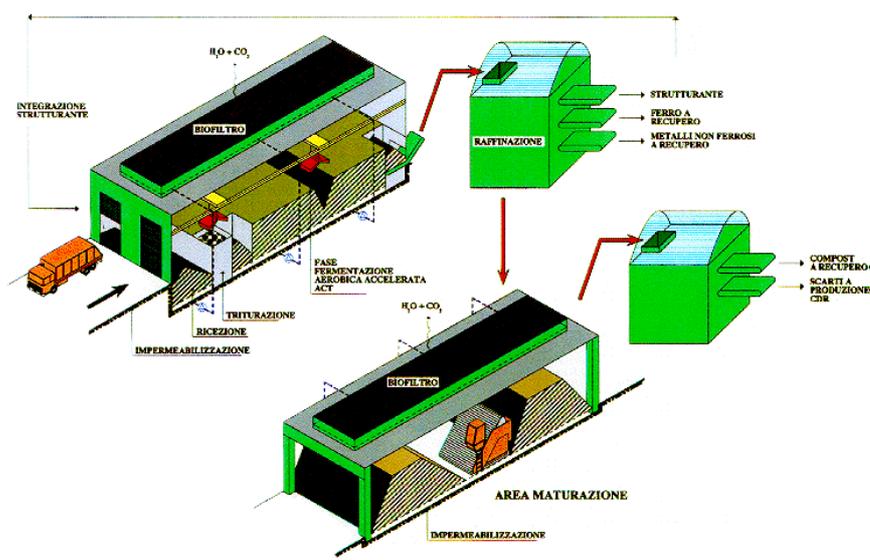
La linea di depressione per le biocelle prevede invece un unico ventilatore dimensionato sulla base del volume libero di ciascuna che assicura 2 ricambi all'ora. Alle unità per la bio-ossidazione accelerata viene affiancata una biocella riempita con scarti ligneocellulosici triturati, destinata al recupero dei percolati raccolti dalle canalette sottostanti le masse in compostaggio e delle acque di condensa dell'aria aspirata dai locali. I percolati, previa raccolta in apposite vasche di decantazione (complete di ossigenatore), vengono irrorati dall'alto sulla massa legnosa, periodicamente sostituita.

Il sistema modulare a containers scarrabili è costituito da 6 unità di compostaggio, gestibili in modo autonomo, del volume unitario di 40 m<sup>3</sup>. Il gruppo di aspirazione e insufflazione dell'aria e il biofiltro (figura 4) sono comuni ai 6 containers. La capacità di trattamento del modulo, con un tempo di ritenzione di 14 giorni, è pari a circa 2.500-3.000 t/anno.

**SISTEMA “BIOCUBI” – ECODECO, GIUSSAGO (PV)**

Tale sistema, riconducibile al tipo “a reattore orizzontale a ciclo continuo” prevede la sistemazione degli scarti organici adeguatamente miscelati mediante benna su carro ponte in un unico grande cumulo sistemato in un edificio chiuso (figura 5) con dimensioni standard.

**Figura 5 - Schema dell'impianto “BIOCUBI” per la bioessiccazione della frazione umida (Documentazione tecnica ECODECO)**



Due benne a polipo scorrevoli su carro ponte assicurano la messa a parco giornaliera del materiale, la movimentazione periodica della massa (1-2 volte/ciclo) mediante piccoli spostamenti in avanti e lo scarico a fine ciclo. Il tempo di ritenzione è pari a 21 giorni; la prima movimentazione, con inversione degli strati del cumulo, avviene dopo circa 10 giorni di processo. L'aerazione forzata della massa è garantita da 23 ventilatori, ognuno dei quali al servizio di una sezione trasversale di 3,5 m di larghezza, che operano in aspirazione dal plenum posto sotto la pavimentazione fessurata in cemento. La sistemazione tra la massa in compostaggio e la pavimentazione di uno strato di materiale poroso funge da biofiltro aggiuntivo, oltre a quello previsto.

I ventilatori sono posti direttamente sul tetto dell'edificio, così come il biofiltro; le arie esauste aspirate sono prima convogliate in una camera di omogeneizzazione e poi redistribuite da apposita tubazione nei plenum dei biofiltri, di tipo prefabbricato. La conduzione e il controllo delle varie fasi di processo è completamente automatizzata e gestita dalla sala comando.

Gli eventuali reflui liquidi prodotti sono captati e inviati alla rete fognaria interna.

Il modulo standard consente il trattamento di quantitativi annui di 25.000-40.000 t/anno; per quantità superiori (50.000 – 80.000 t/anno) si ha il raddoppio dell'impianto.

#### **SISTEMA "THONI TDM" A BIOCELLA DINAMICA – ECOTECH SYSTEM, LAGUNDO (BZ)**

La singola unità di trattamento è costituita da un reattore a tenuta realizzato in acciaio inox coibentato esternamente, il cui volume utile è pari a 100 m<sup>3</sup>. Si tratta di containers sigillati di volume significativo collocati a punto fisso in 2 o più unità (*figure 6,8*). Alle unità di bioossidazione sono affiancati il container di comando che racchiude i sistemi di gestione e controllo del processo e il container logistico dove trova alloggio l'impiantistica connessa (ventilatori, pompe, ...).

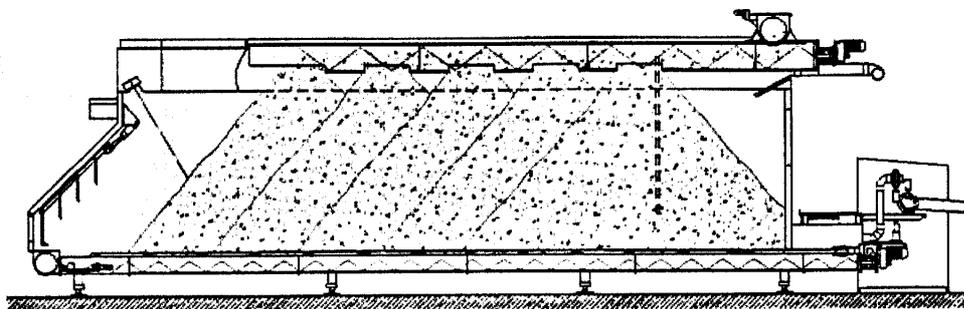
La sistemazione dei rifiuti organici nei reattori avviene automaticamente mediante un unico sistema di carico. Risulta pertanto importante il pretrattamento dei rifiuti; essi devono essere adeguatamente omogeneizzati mediante miscelatore-tritratore e successivamente sottoposti a vagliatura grossolana per l'allontanare eventuali materiali estranei che possono danneggiare i sistemi di movimentazione che provvedono al carico/scarico e al periodico rivoltamento.

La miscela di scarti in uscita dalla sezione di pre-trattamento viene immessa direttamente in una tramoggia distributrice-dosatrice dalla quale, mediante un sistema di trasporto a coclea senza perno (tre trasportatori, di cui uno trasversale inferiore, uno inclinato ed uno trasversale superiore ed un alimentatore), raggiunge i reattori. L'alimentatore a coclea senza perno, posto superiormente in una condotta e dotato di 5 aperture distanziate, assicura il riempimento omogeneo di ciascuna biocella (*figura 7*).

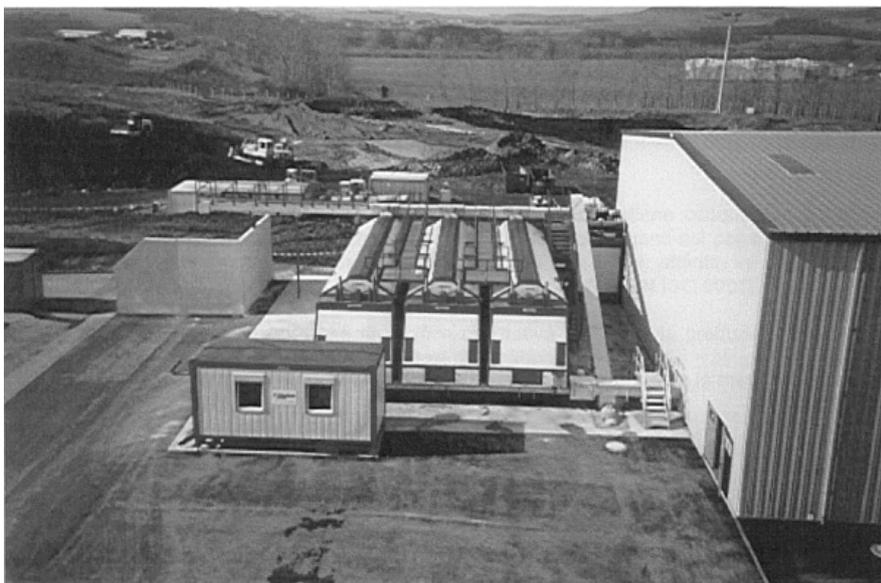
**Figura 6 – Biocelle dinamiche Thöni TDM (Documentazione tecnica Ecotec System - Thöni)**



**Figura 7 – Biocella dinamica Thöni TDM: modalità di riempimento (Documentazione tecnica Ecotec System - Thöni)**



**Figura 8 – Biocelle dinamiche Thöni TDM: impianto di Gera (D) (Documentazione tecnica Ecotec System - Thöni)**



La movimentazione del materiale nella biocella è resa possibile grazie alla presenza del fondo mobile. Questo è composto da due telai orizzontali mobili provvisti di elementi di spinta a cuneo che imprimono il movimento necessario all'avanzamento del materiale verso uno dei lati minori; qui viene avviato agli stessi trasportatori a coclea usati per il caricamento. L'operazione di movimentazione o rivoltamento viene comandata dal software di gestione del processo in funzione dei valori di temperatura ( $T > 68^{\circ}\text{C}$ ) e/o del tenore di  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$  nell'aria esausta (solitamente 3 movimentazioni in 14 giorni). Trascorso il ciclo di bio-ossidazione (10-14 giorni) avviene lo scarico con lo stesso sistema di trasportatori a coclea e l'invio alla zona di maturazione. La perdita di peso risulta mediamente compresa tra il 20 e il 30% a seconda delle caratteristiche della miscela in ingresso.

Il sistema di controllo dell'umidità relativa permette infine di attivare il sistema di umidificazione in modo da inumidire il materiale durante le operazioni di rivoltamento; allo scopo possono essere riutilizzati percolati e acque di condensa.

L'aerazione forzata del materiale è assicurata dalla presenza di 2 ventilatori che insufflano dal fondo costituito da 10 segmenti forati. L'apporto di aria è regolato automaticamente in funzione della temperatura (misurata dentro e sopra la massa) e, a richiesta del contenuto di CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> nell'aria esausta. Allo scopo può essere impiegata sia aria fresca che aria ricircolata

L'aria esausta è estratta da un apposito ventilatore che opera in aspirazione e invia a biofiltrazione. Il sistema di deodorizzazione delle arie esauste prevede un preliminare sistema di lavaggio (ad acqua o ad acido) e il successivo invio al sistema biofiltrante; questo è modulare e costituito da biofiltri, di tipo a container scarrabili, presenti in numero variabile a seconda del numero dei reattori.

Il sistema può essere composto da 2 o più moduli; la capacità di trattamento con 2 moduli è di circa 6.000 – 7.000 t/anno. Il relativo prezzo di listino (2 unità di trattamento, sistema di carico, biofiltro e sistema automatizzato di gestione) ammonta a circa 1.500 milioni di lire (anno 2000). In termini unitari, il costo di investimento varia dalle 200.000 alle 250.000 L/t in ingresso.

#### **SISTEMA A REATTORI MOBILI “LE COCCINELLE” - ENTSORGA ITALIA, TORTONA (AL)**

Il sistema di compostaggio ENTSORGA prevede più reattori costituiti da containers scarrabili, coibentati e trattati con prodotti anticorrosione, del volume utile di 25 m<sup>3</sup> ciascuno.

Il singolo reattore, gestibile in modo autonomo sulla base dei conferimenti giornalieri di scarti umidi, una volta opportunamente posizionato all'aperto su platea, deve essere collegato alla linea di processo (figura 9) che contiene gli apparati centralizzati di aerazione, di asportazione del percolato e di trattamento delle arie esauste (biofiltro). Ogni linea di processo è realizzata per la gestione di 8 reattori ed è completa di un container adibito a biofiltro

La capacità di trattamento del singolo modulo varia dalle 3.000 alle 5.000 t/anno in funzione del tempo di ritenzione e della tipologia delle matrici trattate (figura 10). Il tempo di ritenzione può variare da 8 a 14 giorni.

Ogni modulo è dotato di un impianto di aerazione costituito da 2 ventilatori, di cui uno operante in mandata sotto i pavimenti grigliati dei reattori ed uno operante in aspirazione per l'invio delle arie esauste al biofiltro.

**Figura 9 – Sistema di compostaggio “LE COCCINELLE” a biocontainer mobili (Documentazione tecnica Entsorga Italia)**

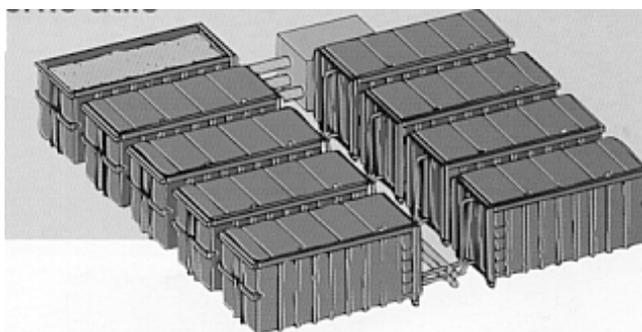
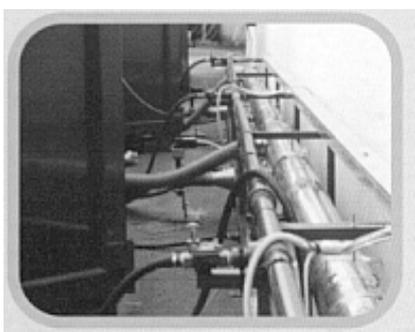
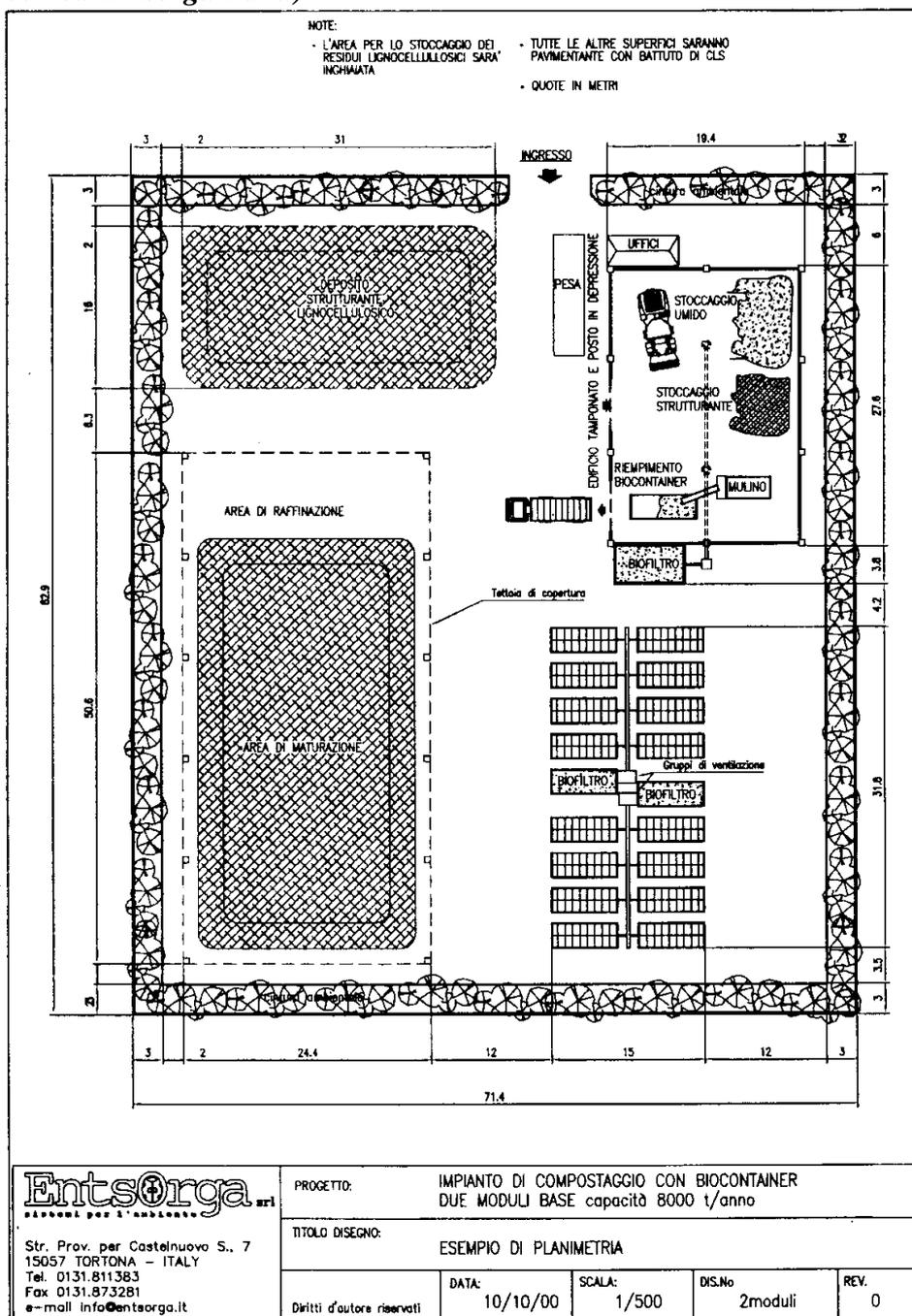


Figura 10 – Esempio di impianto con due moduli “LE COCCINELLE” (Documentazione tecnica Entsorga Italia)



La portata d'aria massima installata varia da 1.700 a 3.400 m<sup>3</sup>/h in funzione delle tipologia di matrici che si intendono trattare. La portata d'aria insufflata in ciascun reattore è regolata da un'apposita elettrovalvola posta sul tubo di mandata.

La potenza elettrica mediamente assorbita in continuo dall'impianto di aerazione di un modulo è pari a circa 4,5 kW; l'impianto di umidificazione consuma circa 100-150 l/giorno di acqua per ciascun container. E' comunque possibile recuperare e ricircolare i percolati raccolti dai container e nelle varie zone funzionali dell'impianto (zona ricezione matrici umide e miscelazione) con riduzione dei consumi di acqua di circa l'80%.

Il biofiltro è dotato di sistema di umidificazione e di raccolta percolati. L'azione di umidificazione è regolata in modo automatico in funzione dei valori di umidità registrati da un'apposita sonda (brevetto ENTSORGA) posta nella massa biofiltrante.

Il sistema è stato oggetto di una campagna di monitoraggio per più cicli condotta dalla Scuola Agraria del Parco di Monza. Gli aspetti di sostanza evidenziati sono i seguenti; con un tempo di ritenzione di 14 giorni miscele di FORSU con quantità crescenti di coformulanti legnosi (dal 40 all'100% in peso) hanno raggiunto un sufficiente grado di stabilizzazione, in quanto caratterizzate da un indice di respirazione dinamico inferiore a 1.000 mg O<sub>2</sub>/kg SV\*h (l'indice statico è risultato invece inferiore a 500 mg O<sub>2</sub>/kg SV\*h), in accordo a quanto previsto dalle Linee Guida della Regione Lombardia. Il calo ponderale evidenziato in termini di sostanza secca è risultato variabile dal 10 al 13%.

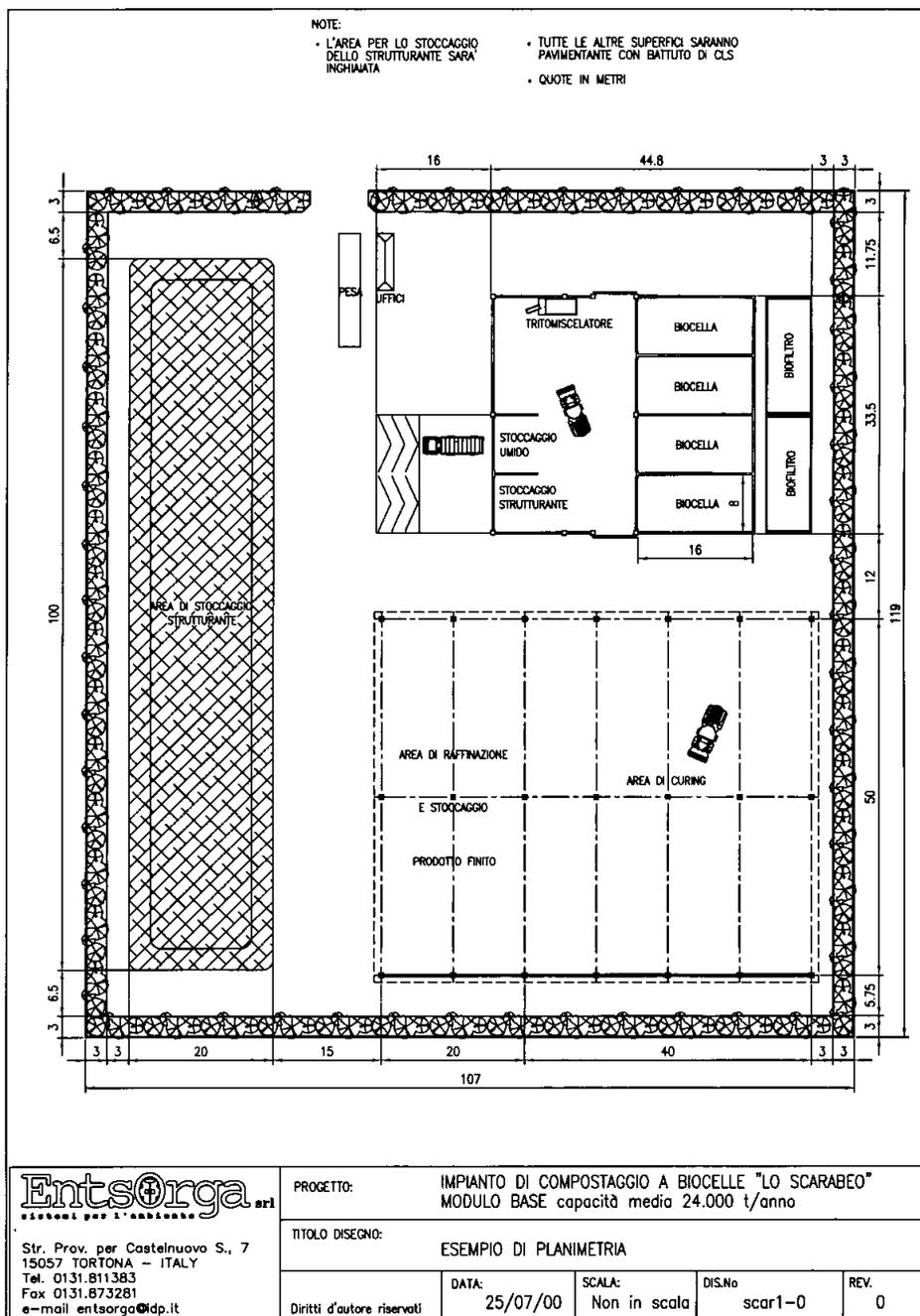
Il prezzo di listino "chiavi in mano" (anno 2000) di un modulo (8 container + biofiltro, impiantistica dedicata e sistema computerizzato di gestione) è pari a 460 milioni di lire e comprende l'assistenza all'avvio (istruzione del personale, definizione delle miscele, ecc.).

#### **SISTEMA "SCARABEO" - ENTSORGA ITALIA, TORTONA (AL)**

Il sistema "Scarabeo" è modulare: un modulo è costituito da 4 biocelle e relativo biofiltro per il trattamento degli effluenti gassosi (*figura 11*). Le biocelle, dotate di pavimentazione con canalizzazione per l'aria e la raccolta delle acque di percolazione, sono realizzate con pareti perimetrali in c.a. prefabbricato rivestite da vernice epossidica.

La capacità di trattamento della singola unità è pari a circa 250 t/ciclo; ipotizzando un tempo di ritenzione di 10-14 giorni, la capacità annua si aggira sulle 6.000 t per biocella. Ogni modulo è quindi in grado di trattare circa 20.000-24.000 t/anno di miscela in ingresso.

Figura 11 – Esempio di impianto a biocelle con modulo base “Scarabeo” (Documentazione tecnica Entsorga Italia)



Ciascuna biocella è dotata di 2 ventilatori ad inverter; di questi, uno provvede all'insufflazione in funzione dell'esigenze stechiometriche di ossigeno della massa in compostaggio, il secondo aspira e ricircola nella biocella stessa, previo passaggio in uno scambiatore di calore, o invia al biofiltro in funzione delle esigenze di controllo della temperatura nella massa e in aria. La quota di aria ricircolata è stabilita automaticamente dal sistema di controllo del processo in funzione del livello minimo di ossigeno che l'aria di ricircolo deve possedere.

La potenza elettrica assorbita in continuo dall'impianto di aerazione di un modulo è pari a circa 12 kW. L'impianto di umidificazione consuma circa 4.800 l/giorno di acqua per modulo; se allo scopo si utilizzano i percolati raccolti nelle varie zone funzionali dell'impianto si ha una riduzione dei consumi di acqua di circa l'80%.

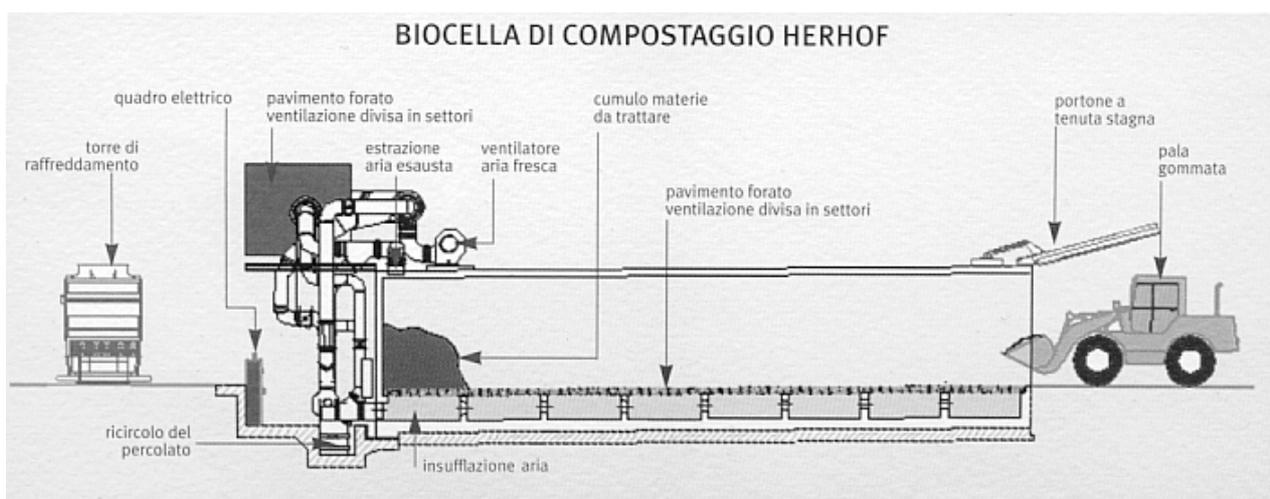
Il prezzo di listino di un modulo (4 biocelle, biofiltro, impiantistica dedicata e sistema di gestione e controllo) è pari a 1.256 milioni di lire (*anno 2000*). In termini unitari il costo di investimento ammonta a circa 52.000-63.000 L/t in ingresso.

#### SISTEMA A BIOCELLE "HERHOF" – LADURNER, LANA (BZ)

Il sistema è costituito da "biocelle" o reattori di forma rettangolare in cemento ed isolati termicamente con uno strato di polistirolo espanso di 10 cm di spessore, il cui volume unitario utile arriva sino a 320 m<sup>3</sup>.

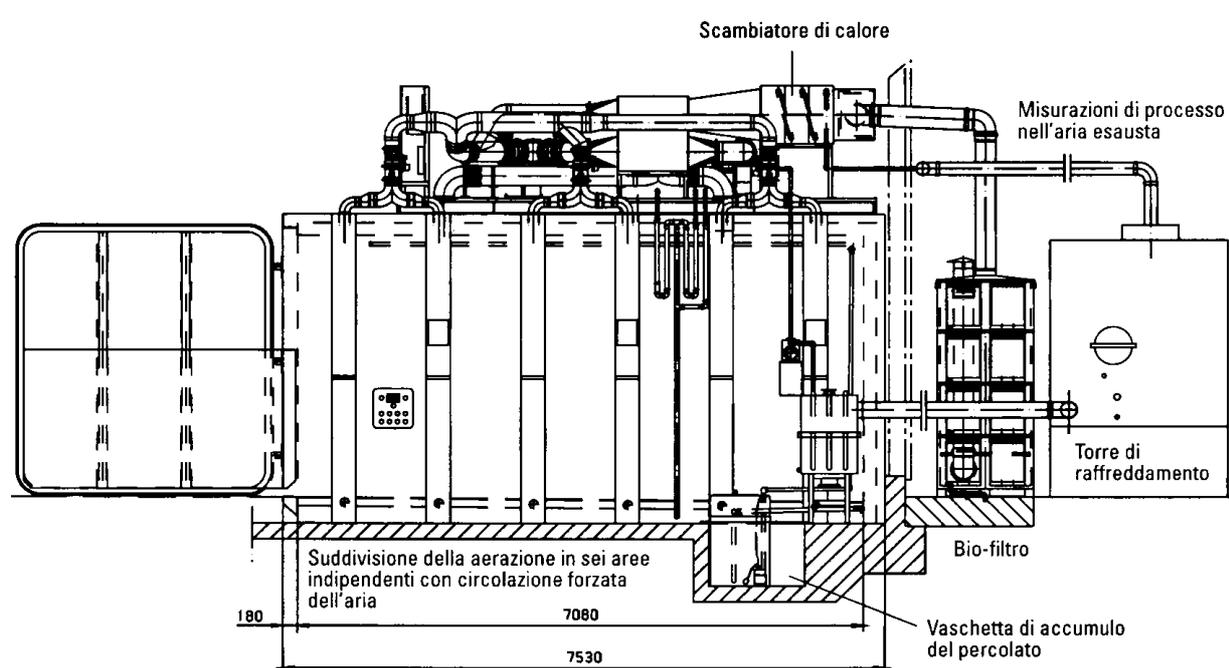
L'ossigenazione della massa è assicurata, attraverso il pavimento grigliato, da un sistema di aerazione forzata che consente la eventuale parzializzazione in settori in caso di conferimenti discontinui (*figura 12*).

**Figura 12 – Sezione della Biocella di compostaggio Herhof. (Documentazione tecnica Ladurner – Herhof)**



L'aria esausta, aspirata dalla parte superiore della biocella, viene continuamente reimmessa nella parte bassa (*figura 13*). Prima del ricircolo, allo scopo di allontanare i metaboliti di processo e l'umidità e regolare la temperatura nella biomassa, l'aria esausta passa attraverso due scambiatori di calore (1 aria-aria e 1 aria-acqua). Si genera così un liquido a basso carico organico avviato a depurazione. In ogni caso, per soddisfare la richiesta di ossigeno del processo, nella condotta dell'aria di ricircolo è possibile l'immissione di aria fresca, che può a sua volta essere riscaldata o raffreddata secondo necessità. La quota immessa risulta correlata al fabbisogno di ossigeno nella massa in trasformazione; maggiore è la richiesta di ossigeno, maggiore è la quota di aria fresca introdotta.

**Figura 13 – Schema della biocella di compostaggio Herhof. (Documentazione tecnica Ladurner – Herhof)**



Mediamente, della portata oraria (circa 3.200-3.600 m<sup>3</sup>/h per l'unità di volume utile di 320 m<sup>3</sup>) che investe la massa di rifiuti durante la permanenza nella biocella, solo il 20% viene scaricata e avviata a biofiltro; la quota restante è continuamente ricircolata.

I percolati eventualmente prodotti nei primi giorni sono raccolti in un apposito pozzetto e riutilizzati all'interno della biocella per l'umidificazione della massa.

Il processo bio-ossidativo (il tempo di ritenzione è compreso tra i 7 e i 10 giorni) è tenuto sotto controllo attraverso il monitoraggio della CO<sub>2</sub> emessa e della temperatura, misurate nell'aria in estrazione; il flusso d'aria immessa è regolato in modo automatico (secondo logica "Fuzzy") a seguito della elaborazione dei dati rilevati mediante un software installato su PC. Il sistema di gestione e controllo del processo è impostato in modo tale da assicurare alla massa in fase di bio-ossidazione la permanenza a condizioni di temperatura prestabilite.

La potenza elettrica installata varia da un minimo di 6 kW per l'unità da 60 m<sup>3</sup> per arrivare a circa 63 kW per biocella di volume utile di 320 m<sup>3</sup>.

Il sistema è modulare ed ogni biocella ha funzionamento autonomo. La funzionalità del sistema presuppone la presenza di almeno due biocelle; in funzione della volumetria unitaria, la relativa capacità di trattamento varia da 2.500-3.000 t/anno a 6.000-8.000 t/anno. La gestione ottimale del sistema è quella che prevede il riempimento di una biocella ogni giorno o, al massimo, ogni due giorni.

Il costo di investimento (anno 2000) per l'unità di maggiore dimensione (320 m<sup>3</sup> utili) completa del sistema di aerazione, di trattamento delle arie esauste e di governo del processo, ammonta a circa 800 milioni di lire.

In condizioni ottimali (presenza di 4-5 biocelle di volume maggiore), il costo unitario di investimento si aggira sulle 120.000 – 150.000 L/t di rifiuto in ingresso.

**SISTEMA “HUMIX” – SORAIN CECCHINI AMBIENTE SCA, ROMA**

Si tratta di un sistema modulare con reattore orizzontale a ciclo continuo di tipo semplificato (*figura 14*); l'installazione infatti non richiede opere civili di rilievo. Il reattore è delimitato da pareti prefabbricate in cemento armato; la larghezza è fissa (10 m), la lunghezza varia in funzione della potenzialità desiderata (da 5 a 50 t/giorno). Esso viene installato su platea pavimentata e chiuso in una tensostruttura di copertura.

La miscelazione ed il rivoltamento del materiale sono eseguite in maniera del tutto automatizzata da una coppia di coclee inclinate, supportate da un ponte traslante sulle vie di corsa inserite sulle pareti del box.

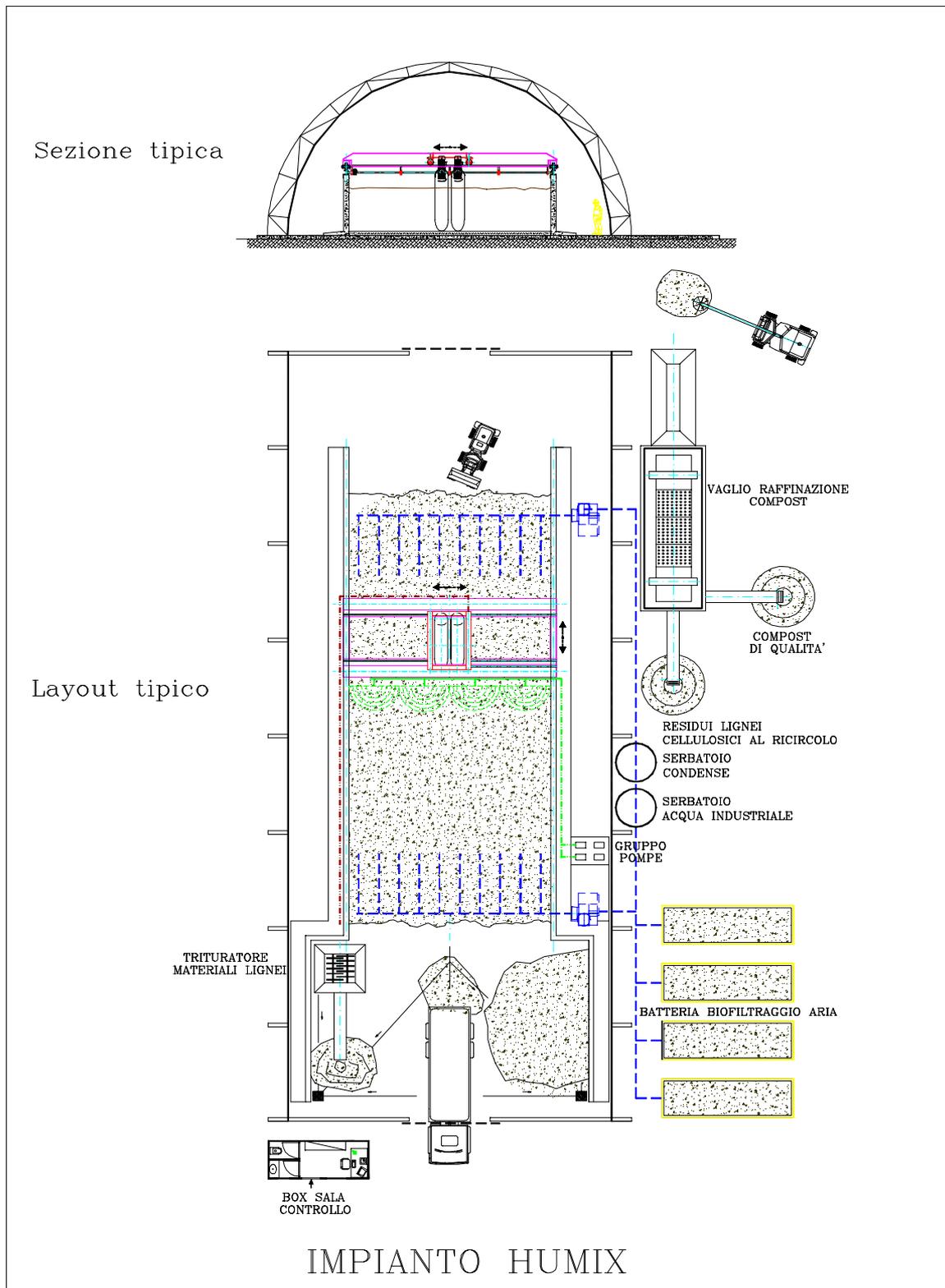
Il giusto apporto di ossigeno al materiale in fase di compostaggio, avviene mediante elettroventilatori con inverter, comandati da sonde di temperatura che garantiscono costantemente il controllo ed il mantenimento della temperatura ottimale per il processo bio-ossidativo e provvedono a mantenere in leggera depressione l'impianto.

Le condense che si producono durante il ciclo di compostaggio vengono raccolte e ricircolate, rendendo sostanzialmente nulla l'eccedenza di acqua di processo e riducendone sensibilmente il fabbisogno per l'umidificazione del compost.

**Tutto il processo è automatizzato e regolato mediante un apposito software installato su un PC di supervisione.**

Nell'impianto di taglia maggiore (50 t/giorno), la potenza installata è pari a 60 kW; il prezzo di listino (*anno 2001*) è pari a 2.000 milioni di lire. I termini unitari il costo di investimento è pari a circa 130.000 lire/t anno di materiale in ingresso.

Figura 14 – Esempio di impianto con sistema HUMIX (Documentazione tecnica Sorain Cecchini Ambiente)



**Tabella 2 – Caratteristiche salienti dei sistemi di compostaggio descritti (ca: cemento armato; ac: acciaio)**

	<b>BIOE BIOE CONTROL</b>	<b>BIO.GE.CO BIO.GE.CO</b>	<b>CESARO IL GIRASOLE</b>	<b>DE.CO Bio-DE.CO</b>	<b>DE.CO Bio-DE.CO</b>
Miscelatore	sì	sì	sì	--	sì
Carico/scarico	pala	pala	pala	pala	pala
<b>TIPOLOGIA</b>	<b>cumulo statico</b>	<b>biocella statica</b>	<b>biocella statica</b>	<b>biocella statica</b>	<b>container scarrabile</b>
<i>Unità di bio-ossidazione</i>					
Materiale	telo Gore-Tex	ca	ca/ac	ca	ca
Larghezza (m)	a richiesta	6,5	4,5-6,0	5	2,5
Lunghezza (m)	a richiesta	30	20 - 40	15	6,5
Altezza tot/utile (m)	--	5,5 - 6,7/2,5	5/2,5	4	2,5
Vol. tot/utile (m <sup>3</sup> )	--	1190/490	/1000-4000	300/	38/
Movimentazioni	no	no	no	no	no
Tempo rit. (giorni)	15-20	15-21	14	14	14-18
Modulo minimo (n° unità)	--	--	--	3 unità	6 unità
Capac. modulo (t/a)	--	--	10-40.000	7.500	2.500-3.000
<b>SISTEMA AERAZIONE</b>					
Processo: n° vent.	1/cumulo	1/unità	1/unità	1 ogni 3 unità	1/modulo
Ambiente.: n° vent.	--	2	--	unico	1/modulo
Ricircolo aria	no	no	sì	sì	no
Scambiat. di calore:	no	no	no	no	no
<b>Controllo processo</b>					
Parametri	T, U e O <sub>2</sub>	T e O <sub>2</sub>	T, U e O <sub>2</sub>	T, U e O <sub>2</sub>	T
Sito di misura:	massa	massa	aria e massa	massa	massa
Umidificaz. massa	no	no	sì	no	no
Ricircolo percolato	no	no	sì, per scrubber	sì, unità ad hoc	no
<b>TRATTAMENTO ARIE ESAUSTE</b>					
Scrubber	no	2 ad acqua	sì, ad acqua	--	no
Biofiltro	no	2	1/unità	unico	1/modulo

*segue*

**Tabella 2 – Caratteristiche salienti dei sistemi di compostaggio descritti (ca: cemento armato; ac: acciaio; opz: opzionale)**

	<b>ECODECO</b> <b>BIOCUBI</b>	<b>ECOTEC</b> <b>SYSTEM</b> <b>THONI</b>	<b>ENTSORGA</b>  <b>LE COC-</b> <b>CINELLE</b>	<b>ENTSORGA</b>  <b>SCARABEO</b>	<b>LADURNER</b>  <b>HERHOF</b>	<b>SORAIN</b> <b>CECCHINI</b> <b>HUMIX</b>
Miscelatore Carico/scarico	Sì Automatico	sì+vagliatura automatico	sì pala	sì pala	sì pala	sì pala
<b>TIPOLOGIA</b>	<b>Bacino a ciclo continuo</b>	<b>biocella dinamica</b>	<b>container scarrabile</b>	<b>biocella statica</b>	<b>biocella statica</b>	<b>bacino a ciclo continuo</b>
<i>Unità di bio-ossidazione</i>						
Materiale	Ca	ac	ac	ca	ca	ca
Larghezza (m)	20	--	2,5	8	4	10
Lunghezza (m)	80-100	--	6,5	16	30	10 – 40
Altezza tot/utile (m)	13/3,0	--	2,65/1,5	4,5/	3,45/	3,5/2,5
Vol. tot/utile (m <sup>3</sup> )	26000/6000	--/100	43/25	580/--	410/320	/250-1000
Movimentazioni	Sì	sì	no	no	no	sì
Tempo ritenz. (d)	20	10-14	7-14	10-14	8-10	30
Modulo minimo (n° unità)	1	2 unità	8 unità	4 unità	2 unità	1
Capacità modulo (t/anno)	25-40.000	6.000-7.000	3.000-5.000	20-24.000	6.000-8.000	5.000-15.000
<b>SISTEMA DI AERAZIONE</b>						
Processo: n° vent.	23 in aspir	1/unità	1/modulo	1/unità	1/unità	2
Ambiente: n° vent.	--	1/unità	1/modulo	1/unità	1/unità	opz.
Ricircolo aria	No	sì	no	sì	si	opz.
Scambiat. di calore:	no	no	no	1	2	opz.
<b>Controllo processo</b>						
Parametri	T	T [O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> ]	T	T e O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> e T	T
Sito di misura:	aria	massa	massa	aria e massa	aria	aria e massa
Umidificaz. massa	Sì	sì	sì	sì	sì	sì
Ricircolo percolato	Sì	sì	sì	sì	sì	sì
<b>TRATTAMENTO ARIE ESAUSTE</b>						
Scrubber	no	sì, ad acqua	no	no	unico	opt.
Biofiltro	1	multipli, scarrab.	1/modulo	1/modulo		multipli

## 1.4 Conclusioni

Da un punto di vista tecnico e operativo con l'adozione di sistemi chiusi illustrati, si ottengono i seguenti risultati:

- l'avvio immediato a trattamento con massimo contenimento delle emissioni maleodoranti nelle fasi più delicate di ricezione delle matrici e prima fase di compostaggio;
- l'igienizzazione del materiale e una iniziale stabilizzazione del materiale, tanto più spinta quanto più lungo è il tempo di ritenzione;
- un discreto calo ponderale (dal 10 al 30% circa) e volumetrico e del contenuto di umidità;
- un discreto calo della fermentescibilità e quindi della possibilità di avere emissioni maleodoranti, che permette poi la prosecuzione del trattamento della massa in condizioni meno "controllate".

In ogni caso, si precisa che il prodotto in uscita è ancora ricco di sostanza organica facilmente degradabile; deve essere pertanto considerato un materiale non ancora sufficientemente stabilizzato, che necessita di un adeguato tempo di maturazione e di eventuali opportuni condizionamenti (umidificazione, rivoltamento) per giungere ad un adeguato grado di stabilizzazione. Sicuramente la fase successiva di maturazione dovrà essere gestita con tanta più cura quanto minore è il tempo di permanenza nello stadio di bio-ossidazione accelerata. In proposito non bisogna dimenticare che il compostaggio è prima di tutto un processo biologico, legato quindi a cicli vitali naturali che con la tecnologia possono sì essere ottimizzati, ma non possono essere spinti oltre certi limiti.

Al momento della valutazione della convenienza tecnico-economica di adozione di tali sistemi, restano infine alcuni aspetti da tenere in considerazione e sui cui si ritiene importante focalizzare l'attenzione:

- trattandosi, con poche eccezioni, di sistemi di trattamento statici con altezze utili elevate, risulta essenziale in primo luogo la predisposizione di una miscela omogenea e sufficientemente porosa (adeguate quantità di materiali strutturanti e/o adeguata "disidratazione" della FORSU, come si inizia a sperimentare in alcuni impianti); secondariamente, nella fase successiva alla stasi in reattore occorre prevedere periodici rivoltamenti, necessari per disaggregare e omogeneizzare la massa;
- l'importanza che l'aerazione ha nei sistemi statici impone un'attenta analisi del relativo impianto in termini di portate, prevalenze e perdite di carico;
- sono sistemi a maggiore contenuto tecnologico che, come tali, comportano una riduzione del personale. La presenza di addetti all'interno dei reattori è limitata a pochi momenti specifici, quali il carico/scarico o, comunque, ridotta agli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria. Di contro, il personale tecnico deve essere adeguatamente formato;
- il sistema di biofiltrazione annesso deve essere adeguatamente dimensionato e, ancora più, gestito con attenzione, in quanto i sistemi statici generano flussi di arie esauste di modesta entità, ma ad elevata carica odorigena;
- i costi di investimento sono mediamente elevati e vanno comunque valutati globalmente, in relazione alle restanti parti funzionali dell'impianto;
- i costi energetici sono significativi; i costi di gestione variano considerevolmente in funzione della dimensione dell'impianto e risultano sensibili alle economie di scala.

## 2. La situazione impiantistica italiana

### 2.1 Premessa: il compostaggio degli scarti organici in Europa

A livello europeo la valorizzazione degli scarti organici mediante compostaggio è ormai una pratica diffusa. Soprattutto i Paesi dell'Europa Centrale hanno da tempo introdotto, progressivamente e massicciamente, la separazione dello scarto organico come priorità operativa nei sistemi integrati di gestione dei rifiuti.

La Germania, ad es., ha introdotto massicciamente la separazione alla fonte del “rifiuto biologico” dalla metà degli anni '80, allo scopo di trovare soluzione al problema della contaminazione in microinquinanti relativamente elevata che si era riscontrata nei primi tentativi di recupero della frazione organica del RU mediante selezione meccanica dello stesso (Grueneklee, 1997; Favoino et al., 2000).

Nella *tabella 3* viene riportato il confronto tra quantitativi di scarti organici effettivamente differenziati e compostati in ogni Stato Membro dell'UE e il potenziale complessivo di recupero.

La tabella riporta, ove possibile, i dati “*splittati*” tra scarti biologici (inclusivo degli scarti alimentari, ma non sempre in via esclusiva) e scarto verde. E' interessante notare che i valori assoluti della capacità di recupero mettono l'Italia ai primissimi posti a livello comunitario, anche se i parametri unitari vedono Austria, Olanda, Danimarca, Germania e Fiandre con una maggiore intercettazione specifica e capacità operativa pro/capite (grazie alla maggiore copertura della popolazione da parte dei circuiti di raccolta differenziata ed al maggiore contributo specifico dello scarto verde).

Per avere alcune indicazioni significative sullo stato di fatto rispetto ai traguardi di medio-lungo termine, è significativo valutare la capacità specifica di intercettazione di scarti organici del sistema (in  $\text{kg ab}^{-1} \text{anno}^{-1}$ ); sotto tale punto di vista, i dati dell'Italia sono ancora lontani dai circa 75 kg della Germania o gli oltre 100 di Olanda, Danimarca ed Austria. Il dato italiano è comunque tipico di una situazione in sviluppo recente ma sostenuto, e la pongono un gradino sopra altri Paesi che ancora possono essere descritti nella “fase di partenza”, quali Inghilterra, Francia, Spagna (ove comunque la Catalunya già prevede l'adozione obbligatoria della raccolta secco-umido in tutti i Comuni sopra i 5000 abitanti).

**Tabella 3 - Scarto “biologico”<sup>1)</sup> e scarto “verde” raccolto e compostato annualmente in Europa (da Barth, J., 2000 “European Compost Production - Sources, Quantities, Qualities and Use in Selected Countries” modificato)**

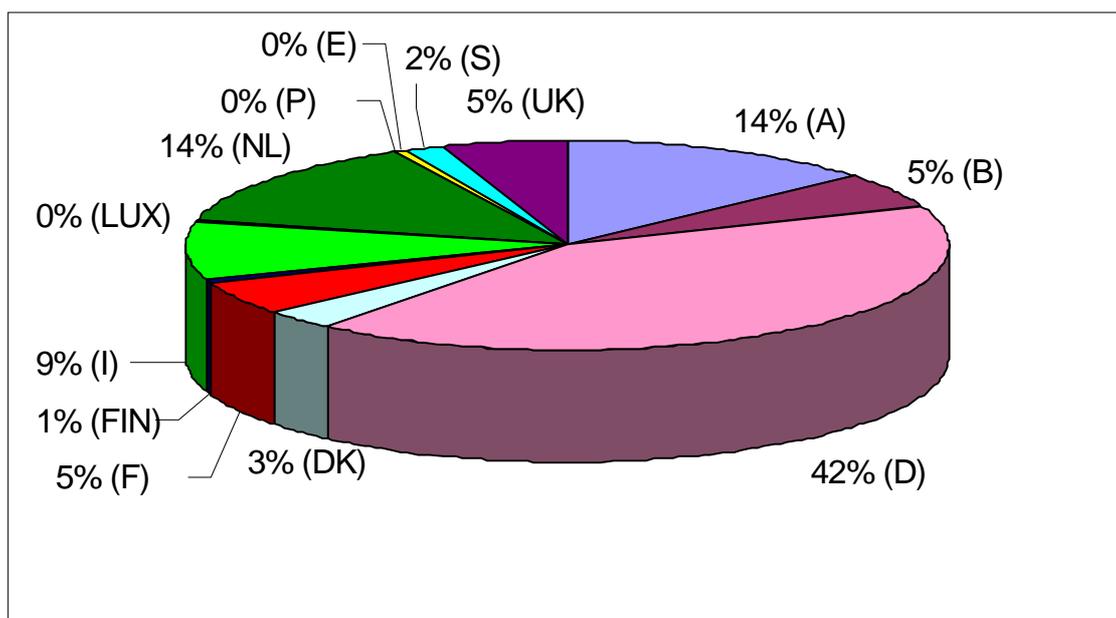
Paese	Scarti organici differenziati e compostati [ton x 10 <sup>6</sup> ]		Potenziale complessivo di recupero di scarti organici <sup>2)</sup> [ton x 10 <sup>6</sup> ]		
	Scarto biologico	Scarto verde	Scarto biologico	Scarto verde	TOTALE
A (1996)	0,88 +0,58 agroindustriale	0,85	1,22	1,02	2,24
B (1998) Fiandre	0,33	0,39			1,3
B (1994) Vallonia	0,12				0,16 in 2002
D (1998)	7,0				9
DK (1997)	0,028	0,49	0,05	0,55	0,6 in 2004
F (1998)	0,08	0,76	5,25	3,5	8,75
Fi (1998)	0,1				0,6
GR (1995)					1,8
I (1999)	1,5				9
IRE (1998)					0,44
Lux (1998)	0,03				0,06
NL (1996)	1,5	0,8	2,5	1	3,5
P (1995)		0,01			1,3
ES (1998)	0,06 (Catalunya)				6,6
S (1997)	0,13	0,15	0,98	0,53	1,5
UK (1998)	0,039	0,86			3,2 in 2006
<b>Totale</b>	<b>12,4</b>	<b>4,3</b>			<b>50</b>
Scarto biologico + verde trattato			Potenziale teorico di recupero		
16,7 x 10 <sup>6</sup> ton			50 x 10 <sup>6</sup> ton		

1) La dizione di “rifiuto biologico” o “scarto biologico” (Bioabfall, Biowaste, ecc.) è quella maggiormente usata in Europa per definire lo scarto organico domestico, compreso, in via non esclusiva, quello alimentare. In realtà spesso nei modelli di raccolta sviluppati in Europa Centrale lo “scarto biologico” è già una miscela di scarto alimentare (il nostro “umido”) e scarto di giardino; quote addizionali di scarto di giardino vengono invece consegnate alle Stazioni Ecologiche, e rientrano nella statistica come “scarto verde”

La produzione di compost a livello europeo ha subito negli ultimi anni un costante incremento, grazie all'estendersi della separazione dello scarto organico come priorità operativa nei sistemi integrati di gestione dei rifiuti. Il caso più eclatante è costituito dalla Germania che, estendendo la separazione alla fonte del "rifiuto biologico" a partire dalla metà degli anni '80, è il paese che conta il maggior numero di impianti, una situazione di mercato consolidata e una certificazione di prodotto che sta spingendo gli operatori ad adeguarsi ai criteri di qualità imposti al processo e al prodotto.

Nella *figura 15* (Centemero e Caimi, 2001) sono riportati i dati europei suddivisi per paese relativi alla produzione di compost di qualità (dati relativi solo a compost da scarti alimentari e scarti verdi). A questi dati sono da aggiungere i quantitativi di compost derivato dal trattamento di fanghi in miscela con altre matrici (lignocellulosico, scarti agroindustriali, ecc.). E' interessante notare (cfr. *figura 15*), come si sottolineava sopra, che delle circa 6.000.000 t totali, più del 40% del compost commercializzato in Europa proviene dalla Germania che, con l'Olanda e l'Austria, produce il 70% del compost dell'EU.

**Figura 15 – Produzione di compost in EU: importanza relativa degli stati membri**



### 2.1.1 Un termine di paragone: il compostaggio di rifiuti organici preselezionati in Germania e in Austria

#### GERMANIA

In Germania nel 1997 la produzione totale di Rifiuti Urbani (RU) è stata di circa 43.500.000 t (ANPA, 1998), circa il 63% in più della produzione italiana. Gli scarti organici raccolti in maniera differenziata ed avviati a compostaggio sono stati circa 6.400.000 t (circa il 14,7% degli RU totali)

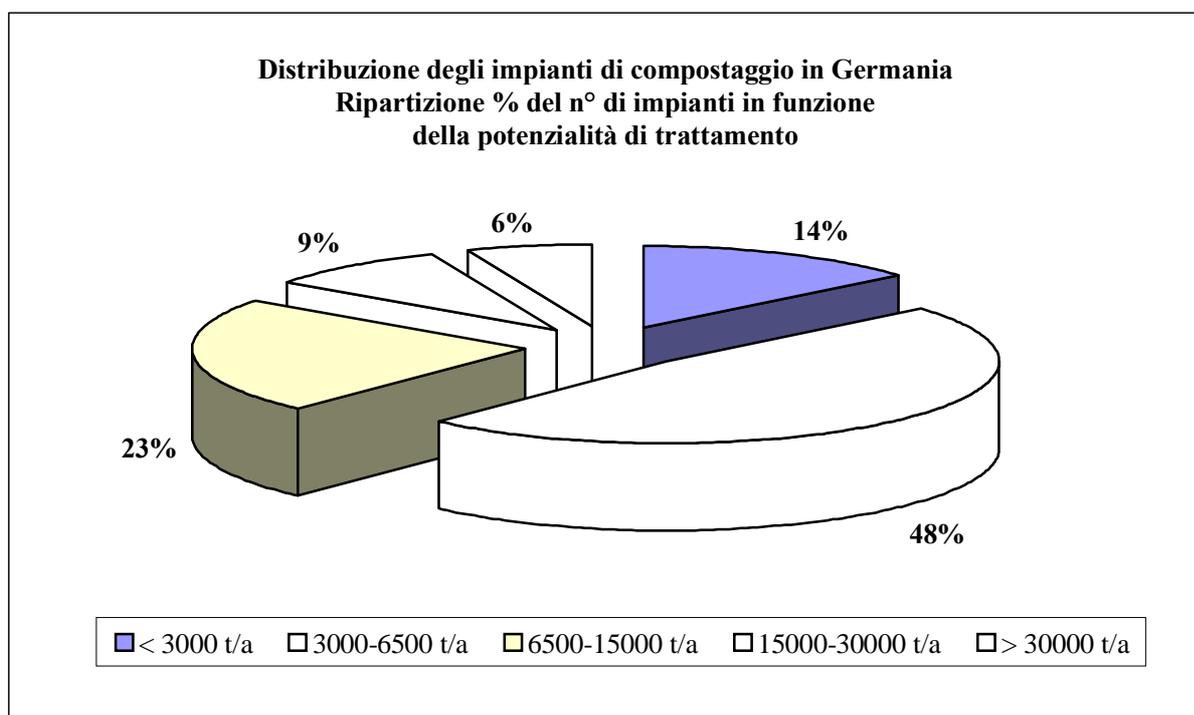
In Germania dal 1985, anno di attivazione su ampia scala della raccolta differenziata del materiale organico, il numero di impianti e la relativa quantità di scarti compostati sono aumentati progressivamente. In *tabella 4* è riportato il trend degli impianti di compostaggio nel periodo 1995-97.

**Tabella 4 – Compostaggio in Germania**

Anno	Impianti (n°)	Quantità trattata (t/a)	Media impianto (t/a)
1995	379	4.075.540	10.236
1996	474	5.475.983	11.553
1997	517	6.400.000	15.340

La suddivisione degli impianti in funzione della potenzialità di trattamento è evidenziata nel grafico di *figura 16*.

**Figura 16 –**



Nel 1998 è stata pubblicata la Legge Quadro Federale (BioAbfV del 21/9/98) per la valorizzazione dei rifiuti organici tramite compostaggio ed il riutilizzo in campo agricolo, forestale e florovivaistico del compost prodotto.

Rilevazioni recenti (fonte: Kehres, B.(BGK) BHE-Report, Lecture in Oldenburg, 2000) ci informano che:

- la capacità totale autorizzata degli impianti di compostaggio è di circa 8-9 milioni di tonnellate di scarto organico (biowaste) all'anno;
- la quantità di scarto organico raccolto in modo differenziato ed effettivamente compostato ammonta a circa 6-8 milioni di t/anno; tale raccolta coinvolge ormai circa il 60% della popolazione tedesca;
- gli impianti di compostaggio con marchio di qualità RAL sono 403;
- il numero totale di impianti di compostaggio, comprese le piccole piattaforme rurali di compostaggio del solo scarto verde (green waste), è superiore a 700.

La produzione totale di compost in Germania è attualmente di circa 3-4 milioni di t/anno di cui circa 2,5 milioni di t/anno sono compost con marchio RAL-quality. Il compost viene in larga parte utilizzato nell'agricoltura di pieno campo, nel florovivaismo hobbystico e nella paesaggistica

## AUSTRIA

Nel 1995 è stata emessa dal Ministero dell'Ambiente e della Famiglia l'*Ordinanza sui rifiuti organici* che stabilisce che i rifiuti organici di origine domestica debbano essere obbligatoriamente raccolti in maniera differenziata su tutto il territorio austriaco.

In aggiunta a questa disposizione è stata emessa anche l'*Ordinanza sullo smaltimento in discarica* che stabilisce che per la collocazione a discarica il rifiuto deve prima subire una buona stabilizzazione, da determinare attraverso la valutazione dell'attività respirometrica (AT7); se il rifiuto proviene da incenerimento deve avere una percentuale massima di incombusti (SV) pari al 5%. Inoltre si proibisce lo smaltimento in discarica di rifiuti con un potere calorifico inferiore (P.C.I.) superiore a 6000 Kj/Kg.

Queste ordinanze hanno dato un forte impulso anche al decentramento delle iniziative di compostaggio, e alla promozione del compostaggio domestico comunale o comprensoriale. Molti comuni, infatti, hanno contribuito all'incentivazione economica del compostaggio domestico azzerando nel caso in cui venga effettuato in ambito familiare il pagamento della tassa sullo smaltimento dei rifiuti organici e mantenendo la tariffazione solo sullo smaltimento del rifiuto residuo.

Allo stato attuale, dal momento che attraverso la Raccolta Differenziata, ed il relativo compostaggio delle frazioni organiche sono stati raggiunti risultati eccellenti in termini quali-quantitativi, gli sforzi sono principalmente concentrati sul trattamento del rifiuto residuo (*restabfallbehandlung*) sul quale si stanno sviluppando nuove ricerche e sperimentazioni.

In *tabella 5* è riportata la situazione degli impianti di compostaggio in Austria aggiornata al 2000 (fonte: F. Amlinger, St. Peyr and J. Geszti: "*Compost Management in Austria – Quantities and Qualities*", Proc. 'Biowaste Conference' 15 – 17 May 2001, St. Pölten/Wien. Ed.: State Government of Niederösterreich (Lower Austria) – Dep. RU3; City of Vienna – Dep. MA 48)

**Tabella 5 - Capacità di trattamento e numero di impianti di compostaggio in Austria**

Capacità classi	Capacità [t a <sup>-1</sup> ]		Numero di impianti		Capacità [%]		Impianti [%]	
	Tutti gli impianti	Solo impiant. rurali	Tutti gli impiant	Solo impiant. rurali	Tutti gli impiant	Solo impiant. rurali	Tutti gli impiant	Solo impiant. rurali
= 5000	424.000	23.000	31	4	53,3	8,5	6,7	1,2
2000 – 5000	172.000	85.000	61	32	21,7	31,3	13,3	9,3
500 – 2000	153.000	125.000	167	137	19,2	45,9	36,2	39,8
50 - 500	47.000	39.000	202	171	5,8	14,3	43,8	49,7
Σ	795.000	271.000	461	344	100	100	100	100

Impianti rurali: compostaggio in impianti/piattaforme realizzate in aziende agricole.

Dalla tabella emerge l'importanza degli impianti di compostaggio rurali che trattano circa un terzo degli scarti organici avviati a compostaggio.

Importante è anche la diffusione del compostaggio domestico che si stima tratti circa 770.000 t/anno di scarti organici e verdi .domestici.

Lo scarto organico alimentare (biowaste ) trattato ammonta a circa 385.000 t/anno, lo scarto verde (green waste) a circa 192.000 t/anno. I fanghi di depurazione avviati a compostaggio ammontano a circa 178.000 t/anno.

## 2.2 Stato dell'arte del compostaggio in Italia

In Italia il compostaggio ed il trattamento biologico dei rifiuti urbani stanno registrando un periodo di veloce sviluppo, a seguito delle strategie delineate dal D.lgs. 22/97. Il Decreto, infatti, introduce anche in Italia, in coerenza con le disposizioni delle Direttive e dei Piani di Azione Comunitari e come sta avvenendo nei Paesi dell'Europa Settentrionale e Centrale, il concetto di "Gestione Integrata dei Rifiuti": la priorità d'azione viene assegnata, oltre che alla riduzione all'origine dei rifiuti, alla raccolta differenziata intesa al recupero di materia, incluso il compostaggio degli scarti organici.

In *tabella 6* viene riportato il numero di impianti di compostaggio di qualità presenti sul territorio nazionale, sulla base del recente Rapporto Rifiuti 2001 predisposto da ANPA e ONR.

**Tabella 6 - Impianti di compostaggio di qualità in Italia (fonte ANPA, ONR-Rapporto Rifiuti 2001)**

Regione	Impianti in esercizio	Rifiuto trattato	Potenzialità totale
	N°	t/anno	t/anno
Piemonte	37	213.916	354.290
Lombardia	39	328.067	515.050
Veneto	10	348.428	370.000
Trentino Alto Adige	15	36.917	96.568
Friuli Venezia Giulia	3	7.258	---
Emilia Romagna	15	200.389	351.060
Liguria	2	10.909	26.000
Toscana	9	91.979	105.148
Marche	2	42.861	65.000
Abruzzo	2	11.199	73.539
Puglia	2	65.681	213.250
Campania	1	3.000	3.000
<b>Totale</b>	<b>137</b>	<b>1.360.604</b>	<b>2.175.155</b>

La quantità complessiva trattata assomma a ca. 1.400.000 ton/anno, e corrisponde a ca. 30 kg/ab.anno sulla popolazione nazionale totale (ancorché concentrata soprattutto al centro-nord), va comparata ad es. con le 7.000.000 t/anno che costituiscono, secondo alcune delle stime più recenti (Bart, 1999), il potenziale operativo complessivo della Germania (ca. 80 kg/ab.anno di capacità di trattamento di scarti compostabili).

La crescita ulteriore del settore, necessaria per il pieno conseguimento degli obiettivi del D.lgs. 22/97 e di una dimensione veramente “europea” nel recupero degli scarti organici, è *fortemente condizionata, dunque dalla crescita di numero e potenzialità complessiva degli impianti dedicati.*

Va inoltre considerato il ruolo sinergico, all’interno della strategia integrata di gestione dei rifiuti, coperto dal trattamento meccanico-biologico del rifiuto indifferenziato (o meglio, “residuo delle raccolte differenziate”). Il D.lgs. 22/97 prevede, infatti, in prospettiva la collocazione a discarica del solo rifiuto “trattato” in coerenza con le disposizioni della Direttiva Discariche (Dir. 1999/31/CE).

**Tabella 7 - Impianti di selezione e compostaggio RU (fonte ANPA, ONR - Rapporto Rifiuti 2001)**

Regione	Impianti in esercizio (n°)	Rifiuto trattato (t/anno)	Potenzialità totale (t/anno)
Abruzzo	3	71.892	124.000
Basilicata	1	22.000	36.000
Calabria	3	49.162	230.000
Campania	1	34.618	75.000
Emilia Romagna	2	129.840	164.500
Friuli Venezia Giulia	2	29.919	140.520
Lazio	3	393.500	499.200
Lombardia	6	586.800	1.068.600
Marche	3	75.979	197.000
Piemonte	2	72.941	116.000
Sardegna	2	58.938	90.000
Toscana	4	167.345	264.650
Trentino Alto Adige	2	14.000	19.000
Umbria	3	296.097	325.000
Veneto	4	31.243	150.000
<b>TOTALE</b>	<b>41</b>	<b>2.209.045</b>	<b>3.777.470</b>

Il trattamento meccanico-biologico, nelle sue diverse varianti (stabilizzazione pre-discarica, bioessiccazione, produzione di frazioni stabilizzate per applicazioni paesistico-ambientali) contribuisce da tempo in misura sostanziale alla gestione del rifiuto residuo da raccolte differenziate nei Paesi Centroeuropei (*Favoino, 1998*). In Italia ANPA e ONR (*ANPA, ONR Rapporto Rifiuti 2001*) hanno censito recentemente 41 impianti dedicati alla produzione di CDR ed al trattamento biologico del sottovaglio, per una quantità di RU trattato di circa 2.200.000 t/anno e una potenzialità complessiva di circa 3.800.000 t/anno (*tabella 7*). Molti di questi hanno registrato una storia operativa invero travagliata, e spesso il fattore scatenante delle *impasse* operative sono stati gli standard ambientali delle sezioni di trattamento biologico, non adeguatamente progettati o gestiti.

## 2.3 Tecnologie di compostaggio presenti sul territorio italiano

### 2.3.1 Premessa

Nella presente relazione vengono illustrati i sistemi di compostaggio presenti in Italia; con la terminologia “sistema” si intende l’insieme di strutture, macchine e attrezzature che permettono lo svolgimento dell’intero ciclo di stabilizzazione mediante compostaggio di matrici organiche di scarto.

Nell’impianto di compostaggio, indipendentemente dalla tecnica adottata, è prevista una serie di operazioni che possono essere aggregate in quattro fasi distinte:

1. *preselezione e preparazione della miscela di partenza*. Tale fase risulta strettamente correlata alle tipologie di residui trattati;
2. *fase di degradazione biologica o fase bio-ossidativa*. Rappresenta il cuore dell’impianto e può essere attuata ricorrendo a sistemi semplificati oppure più o meno complessi in funzione delle quantità e del tipo di matrici in gioco;

3. *fase di maturazione*. Consiste nel completamento della fase di trasformazione e stabilizzazione del prodotto ed è di norma attuata con sistemi semplici (in cumulo);
4. *raffinazione e nobilitazione del prodotto*. Sono comprese tutte quelle operazioni necessarie per ottenere un prodotto finito con caratteristiche qualitative costanti nel tempo e i requisiti commerciali richiesti dal settore di destinazione.

Per meglio comprendere come si articola un ciclo di compostaggio in *figura 17* è riportato un esempio di schema di flusso. Risulta facilmente intuibile come la fase di degradazione biologica sia quella che più condiziona e caratterizza l'impianto di compostaggio. Tale fase, infatti, è quella per la quale sono numerose le tecnologie proposte. Nei paragrafi che seguono sono riassunte le caratteristiche essenziali di macchine e attrezzature necessarie per l'esecuzione delle varie fasi di processo sopra descritte.

***In merito alla fase di degradazione biologica o fase di bio-ossidazione sono descritte le tecnologie presenti sul territorio nazionale, ad eccezione di quelle adottate più recentemente e considerate innovative o comunque emergenti, trattate nel capitolo 1.***

### **2.3.2 Pretrattamenti**

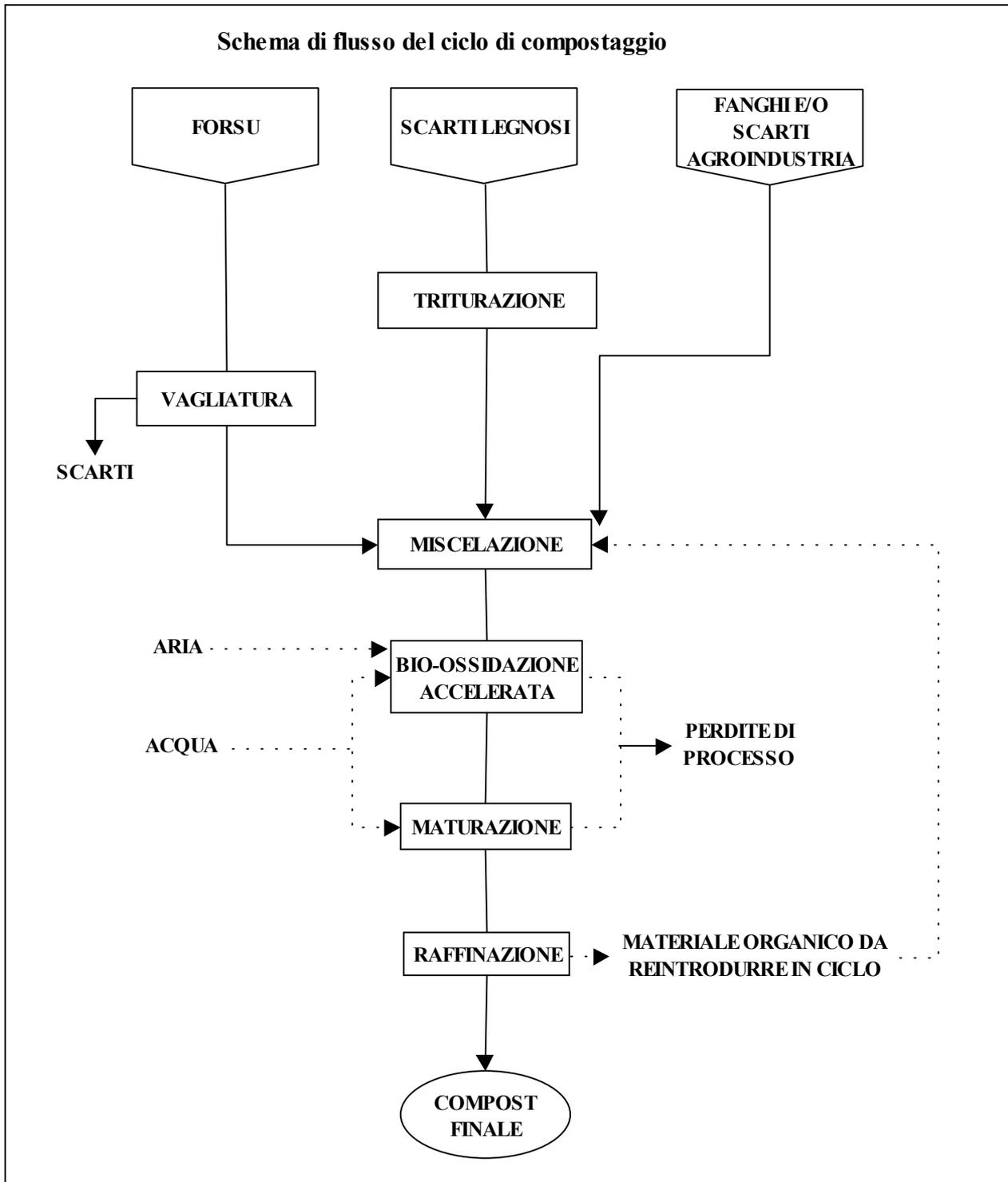
Si intendono tutte le operazioni necessarie per predisporre una miscela di scarti organici che presenti le caratteristiche chimico-fisiche ottimali ai fini dell'avvio a compostaggio.

Quando si opera con matrici selezionate alla fonte solitamente i trattamenti preliminari sono essenzialmente due:

- la triturazione degli scarti lignocellulosici, quali potature, ramaglie, foglie, pallets di scarti, tavolame, ecc.;
- la miscelazione tra scarti ad elevato tenore di umidità (frazione organica da raccolta differenziata, fanghi di depurazione, scarti vegetali vari, ecc.) e scarti a basso tenore di umidità (gli scarti lignocellulosici triturati).

Nel caso in cui sia necessario procedere alla separazione di corpi estranei di dimensioni macroscopiche presenti in quantità ritenute eccessive, può rendersi necessario operare una vagliatura primaria degli scarti in gioco. Ciò giova al funzionamento delle attrezzature e alla qualità del prodotto finito.

Figura 17 – Schema del ciclo di compostaggio



### 2.3.2.1 La triturazione degli scarti ligneocellulosici

Con la triturazione si esegue la rottura e la sfibratura dei residui ligneocellulosici. Tale operazione permette di perseguire due importanti scopi: ottenere un materiale caratterizzato da una pezzatura sufficientemente minuta, ma anche eterogenea, tale da garantire la necessaria permeabilità all'aria alla massa in compostaggio e favorire la decomposizione degli scarti legnosi stessi grazie alla maggiore superficie esposta all'attacco della flora microbica (rapporto superficie volume più elevato possibile).

La triturazione degli scarti ligneocellulosici può avvenire con macchine **tritratrici** o **sminuzzatrici** appositamente concepite per il successivo avvio a compostaggio.

Da tempo presenti sul mercato per la riduzione di volume degli scarti legnosi, sono invece le macchine **cippatrici**. Simili ai trituratori per tipo di azione che svolgono, sono utilizzate per il trattamento di tronchi e rami di grosso diametro oppure per modeste quantità; alimentate manualmente, sono spesso utilizzate nei cantieri di potatura delle alberature stradali, ecc.. La presenza di un tubo convogliatore per lo scarico rende infatti agevole lo scarico diretto del cippato su camion e il suo allontanamento immediato. A differenza delle macchine sminuzzatrici, generano un prodotto (cippato) che ha pezzatura più fine ed omogenea, ma presenta superfici di taglio nette ed è meno sfibrato.

I trituratori rappresentano la tipologia di macchina più diffusa tra quelle specifiche per il compostaggio; in generale possono essere suddivisi in:

- trituratori a martelli;
- trituratori a lame;
- trituratori a coclee.

I **tritratrici a martelli** sono i più diffusi nel settore del compostaggio; azionati da motore proprio (diesel o elettrico) o dalla presa di potenza del trattore, sono composti dalle seguenti sezioni:

- apparato di alimentazione, costituito da un'ampia tramoggia, al cui interno è posto un nastro di alimentazione ed uno o più rulli adduttori che alimentano la sezione di triturazione. Ciò consente un'agevole alimentazione anche con scarti molto voluminosi. Soprattutto nei modelli di tipo professionale è importante la presenza di sistemi di regolazione della velocità di avanzamento del nastro di alimentazione e di sistemi anti-ingolfamento (frizione anti-stress) per impedire il sovraccarico del motore;
- apparato di triturazione, costituito da uno o più rotori orizzontali, ad elevata velocità di rotazione (1000 - 2000 giri/minuto), dotati di martelli o mazze oscillanti in numero e forma variabile a seconda del modello;
- sistema di scarico del materiale sminuzzato. Questo può avvenire direttamente a terra oppure con l'ausilio di un nastro di scarico completo di carter protettivo.

I **tritratrici a lame** differiscono per l'apparato trituratore costituito da un rotore a bassa rotazione e da una serie di lame fisse; il materiale in uscita si presenta meno sfibrato, ma di granulometria più omogenea, grazie alla presenza di griglia che ne regola la pezzatura. Si tratta peraltro di macchine presenti sul mercato con un limitato numero di modelli.

La grande diffusione dei trituratori a martelli è legata a diversi fattori, tra cui si ricordano i seguenti:

- il tipo di sfibratura che esercitano sui residui legnosi è la più idonea ai fini del compostaggio;
- montati su rimorchi omologati per la circolazione stradale, possono essere facilmente spostati e quindi possono essere asserviti a più impianti (tritratrice per conto di terzi);

- l'ampia gamma disponibile consente di soddisfare le esigenze più differenziate, sia in termini di capacità di lavoro, che in termini di dimensioni massime triturabili.

Di contro, gli inconvenienti legati a tale genere di macchine sono essenzialmente i seguenti:

- difficoltà di regolare e/o mantenere costante la pezzatura dello sminuzzato. A valle del sistema di triturazione non sempre sono presenti griglie per regolare la pezzatura del materiale in uscita;
- elevata usura dei martelli, i quali devono essere sostituiti in toto o in parte ad intervalli variabili (50-250 ore), in funzione del tipo e della quantità di residui trattati. L'usura comporta una variazione nel tempo della pezzatura in uscita e un decremento della capacità di lavoro.

La capacità oraria di lavoro risulta variabile, a seconda del modello considerato, da pochi metri cubi all'ora per quelli hobbistici sino a 100-150 m<sup>3</sup>/h e oltre per quelli professionali; la potenza motrice installata può arrivare a oltre 400 kW. I modelli presenti sul mercato italiano sono numerosi, sia di costruzione italiana che estera.

Nei **triturator** **a coclee** la tramoggia di carico è posta direttamente sopra l'apparato di triturazione, costituito appunto da coclee, solitamente pari a tre ad asse orizzontale, affiancate e/o sovrapposte. Sono macchine azionate da motore diesel o elettrico, per lo più operanti a punto fisso. La trasmissione è solitamente idraulica ed è generalmente prevista l'inversione del moto di rotazione per favorire lo sblocco in caso di ingolfamento. Esse svolgono una vera e propria azione di sfibratura e, grazie al basso regime di rotazione (minore di 100 giri/minuto), non pongono problemi di intasamento. Risultano pertanto idonei per il trattamento di residui di grandi dimensioni e/o a più elevato tenore di umidità.

L'alimentazione delle macchine sopra descritte può avvenire con l'ausilio di una gru con benna a valve (in alcuni modelli viene applicata direttamente al trituratore) oppure con pala meccanica la cui benna sia dotata di pinza prensile.

### 2.3.2.2 La miscelazione o omogeneizzazione

Residui "umidi" (apportatori di sostanza organica fermentescibile: forsu, fanghi, ecc.) e residui legnosi (agenti di supporto o strutturanti) devono essere preventivamente mescolati secondo opportuni rapporti in peso in modo da ottenere una massa il più possibile uniforme in termini di struttura fisica e di composizione chimica, al fine di garantire un pronto innesco e un regolare svolgimento del processo di compostaggio.

Per tale operazione sono proposte macchine chiamate **miscelatori**, costituiti da un'ampia tramoggia di carico all'interno della quale sono alloggiati 2-4 coclee o rotori distanziati, ad asse orizzontale, dotati di lame di varia sagomatura. Possono essere montati su telaio fisso oppure su rimorchio e sono azionati da motore elettrico o diesel oppure dalla presa di potenza del trattore. Numerosi modelli italiani derivano dall'adattamento dei carri miscelatori utilizzati in zootecnia per l'alimentazione dei bovini.

I più adatti alle diverse tipologie impiantistiche sono quelli a funzionamento discontinuo. Il carico dei materiali avviene con pala; l'eventuale presenza di sistemi elettronici di pesatura consente il controllo immediato dei quantitativi caricati. La miscelazione viene protratta a discrezione dell'operatore; solitamente varia dai 3 ai 5-6 minuti. Dopodiché si procede allo scarico con l'ausilio di un apposito nastro, mediante l'apertura del portello posto sul fondo e/o lateralmente.

La presenza di una centralina elettronica e di un telecomando permette all'operatore di compiere il lavoro senza scendere dal mezzo impiegato per il carico e l'allontanamento del miscelato.

Sul mercato sono disponibili decine di modelli, la maggior parte dei quali di costruzione italiana e con tramoggia di volume compreso tra 8 e 20 m<sup>3</sup>. Le potenze richieste o installate variano dai 40 ai 200 kW.

Circa la necessità di adottare il miscelatore per la preparazione della miscela di partenza, si rammenta quanto segue. Il ricorso della pala gommata consente comunque di ottenere buoni risultati, sia in termini di qualità di miscelazione che in termini di controllo dei rapporti tra residui diversi. Tale è infatti il sistema ancora usato in molti impianti, soprattutto in quelli di taglia medio-piccola.

Nel caso in cui si trattino matrici particolarmente putrescibili, quale la frazione organica da raccolta differenziata, spesso contenuta in sacchetti di plastica biodegradabile, può essere opportuno ricorrere al miscelatore, soprattutto se le quantità in gioco non sono trascurabili. Questo infatti consente di condurre l'operazione in un sistema chiuso e aggredire immediatamente il materiale putrescibile e maleodorante in ingresso all'impianto, con notevoli vantaggi in termini di riduzione di emissioni odorose indesiderate. Una buona miscelazione delle matrici e la rottura dei sacchi eventualmente presenti rendono inoltre più agevole il successivo rivoltamento e preservano la macchina rivoltatrice da rotture, ingolfamenti, ecc. Il ricorso al miscelatore, infine, risulta conveniente quando si realizza la fase di ricezione delle matrici in struttura chiusa, in quanto consente di ottimizzare la superficie impegnata.

### **2.3.2.3 La vagliatura primaria**

Prima dell'avvio a compostaggio, può rendersi necessario operare una vagliatura primaria degli scarti per allontanare corpi estranei macroscopici presenti in quantità ritenute eccessive; in questo caso si adottano vagli con maglie di dimensioni comprese di norma tra 40 e 100 mm. Tale operazione, ripetuta anche con maglie di dimensione diversa, è sempre prevista quando si trattano RU indifferenziati. Quando si trattano frazioni organiche da raccolta differenziata degli RU, è invece praticata quando il contenuto di materiali indesiderati è ritenuto troppo elevato (ad esempio, 5-7%, invece del 1-3%). In questo modo, unitamente alla vagliatura finale, si garantisce la purezza merceologica del prodotto finito ed una minore usura di tutte le attrezzature che vengono a diretto contatto con il materiale in trasformazione. Le attrezzature utilizzabili sono essenzialmente i vagli a tamburo rotante, descritti in seguito.

### ***2.3.3 Fase di degradazione biologica o fase di bio-ossidazione***

La conduzione della fase più importante del processo di compostaggio, la fase bio-ossidativa, può avvenire in sistemi di compostaggio a diverso grado di complessità:

- compostaggio in cumulo o andana aerato e/o rivoltato meccanicamente. I cumuli sono disposti su platea scoperta (impianti di tipo semplificato per scarti prevalentemente ligneocellulosici) o coperta, ma solitamente non tamponata. Sono i sistemi che vengono anche definiti "sistemi aperti";
- compostaggio in reattori di tipo orizzontale, posti in spazi coperti e tamponati (capannoni). Definiti anche "sistemi semiaperti", sono per lo più reattori di tipo a trincea e a bacino;
- compostaggio in reattori chiusi e a tenuta stagna. Definiti anche "sistemi chiusi", sono costituiti da biocelle, biocontainers, bioreattori orizzontali e verticali.

La scelta del sistema è funzione del tipo, della quantità di scarti organici da trattare, della localizzazione dell'impianto e dell'iter amministrativo prescelto.

Nei sistemi aperti, l'aerazione della massa disposta in cumulo è assicurata con l'operazione di rivoltamento meccanico, essenziale anche per rimescolare e rendere omogeneo il processo nel cumulo. Premesso che l'operazione di rivoltamento in caso di necessità può essere eseguita comunque con la pala gommata o con gru dotata di benna a valve, le macchine appositamente realizzate sono ormai numerose.

### 2.3.3.1 Le macchine per il rivoltamento dei cumuli

Nei sistemi di compostaggio a cumuli rivoltati meccanicamente la macchina rivoltatrice è un'attrezzatura essenziale che determina le modalità gestionali (cumuli discontinui o disetanei oppure cumulo unico gestito in continuo) e lo spazio complessivo occupato.

Sulla base del principio di funzionamento le rivoltatrici possono essere suddivise in due tipologie: macchine che operano per "trasferimento" e macchine che operano per "movimentazione"; le prime asportano il materiale in cumulo e lo ridepositano in una posizione diversa rispetto all'originaria, le seconde miscelano la massa lasciandola pressochè nello stesso sito. Entrambe le tipologie sono presenti sul mercato con modelli semoventi e trainati o portati da trattore.

Le rivoltatrici che "spostano" o trasferiscono il cumulo, parallelamente o posteriormente alla direzione di avanzamento, assicurano un'ottima azione di ossigenazione e miscelazione, ma sono caratterizzate da una minore capacità oraria di lavoro. Idonee per cumuli a sezione trapezoidale (base di almeno 6 m) o cumuli tavolari ("a tappeto"), sono meno vincolanti circa le dimensioni da conferire ai cumuli. Questo comporta una minore richiesta di spazi di servizio (corsie di separazione tra i cumuli) e, quindi, un maggior sfruttamento della superficie impegnata.

Rientrano in questa tipologia le seguenti macchine:

- **rivoltatrici a nastro elevatore-trasportatore** inclinato montato su telaio, dotato di elementi raschianti o traverse dentate. Lo scarico del materiale è posteriore. Lo scarico laterale è reso possibile dall'installazione di un nastro trasversale posto in coda a quello elevatore. In alcuni modelli sono presenti organi anteriori con lo scopo di convogliare il materiale al nastro elevatore. Il fronte di lavoro arriva al massimo a 4 m; di conseguenza la larghezza massima che il singolo cumulo può avere è pari a 8 m, in quanto viene affrontato in due passaggi. Sono disponibili modelli di tipo semovente oppure trainate da trattore;
- **rivoltatrici con il dispositivo di rivoltamento disposto su asse verticale.** Esso può essere costituito da uno più rotori o frese ad asse verticale, oppure da due dischi rotanti ad asse orizzontale montati su un aspo verticale e dotati di rostri disposti a spirale; in entrambi i casi il dispositivo asporta ad ogni passaggio una "fetta" di cumulo di circa 30-60 cm di spessore da un lato, risistemandolo in cumulo da lato opposto parallelamente all'originario con l'ausilio di un nastro trasportatore. In questo modo non sono posti limiti alla larghezza dei cumuli, ma solo all'altezza che non deve superare i 3,2 m. I pochi modelli disponibili sono trainati e azionati da trattore di almeno 80-90 kW di potenza dotata di super-riduttore; fa eccezione un modello offerto anche nella versione semovente.

La gamma di modelli più ampia risulta essere quella delle macchine rivoltatrici che operano per movimentazione. Queste svolgono un'azione meno energica di miscelazione e di aerazione, in quanto è minore il tempo di contatto del materiale con l'aria, ma assicurano capacità orarie di lavoro più elevate. Tale tipologia di macchina, definita anche rivoltatrice "scavallatrice", è essenzialmente costituita da uno o più rotori ad asse orizzontale dotati di artigli di forma diversa che all'avanzare della macchina affrontano l'intera sezione del cumulo e proiettano il materiale posteriormente; la presenza di un telaio o un carter variamente conformato fa sì che il materiale movimentato dai rotori ricada assumendo di nuovo la sagoma originaria. Si tratta di macchine che impongono la realizzazione di cumuli e corsie di passaggio di dimensioni ben definite. Sono disponibili numerosi modelli per cumuli con base larga sino a 6-8 m; quelli di tipo semovente, mobili su ruote o cingoli consentono di ridurre la larghezza della corsia di separazione tra i cumuli (0,4-0,5 m).

I modelli di tipo semi-portato dalla trattore richiedono invece una corsia per il transito almeno ogni due cumuli e affrontano cumuli con base non superiore ai 3,5 m. La capacità di lavoro è generalmente elevata e può variare da qualche centinaia sino a valori di 1000 e più m<sup>3</sup>/h.

La scelta del tipo di allestimento e delle modalità gestionali devono essere effettuate in funzione dei quantitativi annui, della disponibilità di manodopera e del grado di stabilizzazione desiderato nel prodotto finale.

***Impianti con fase di bio-ossidazione a cumuli rivoltati meccanicamente. Numerosi in tutta Italia, si citano solo quelli a maggiore potenzialità: Aimag di Carpi (MO), Erus service di Origgio (VA), Ecopi di Casalcermelli (AL), Fertil di Calcinate (BG), Nuova Geovis di S. Agata B.se (BO), CIRSU di Notaresco (TE), Nimar di Cerea (VR), System Eco Green di Varallo Pombia (NO), Tersan Puglia di Medugno (BA), Trasimeno di Castiglione del Lago (PG).***

### **2.3.3.2 I sistemi a tecnologia complessa: i reattori di compostaggio**

Di seguito vengono illustrati i sistemi di compostaggio a tecnologia più complessa che possono essere definiti “semiaperti” o “chiusi”, in quanto collocati in spazi ristretti a tenuta stagna o comunque confinati. Tutti i sistemi prevedono in genere il contenimento delle emissioni odorose; in tutti i casi infatti le arie esauste vengono avviate a trattamento di depurazione (biologica e/o chimica) prima di essere reimmesse in atmosfera.

Nei sistemi chiusi con il confinamento della massa in trasformazione in spazi ridotti al minimo (moduli a tenuta stagna) si ha il massimo contenimento dei volumi d’aria insufflati e al contempo aspirati e avviati a trattamento. Nei sistemi semiaperti viene avviata a trattamento l’aria estratta dai capannoni in cui sono posti i reattori orizzontali (corsie dinamiche e bacini).

Di seguito sono riassunte le caratteristiche essenziali delle tecnologie presenti sul territorio italiano.

## **REATTORI ORIZZONTALI A TRINCEA**

### ***a) Trincee o corsie a ciclo continuo***

Le corsie o trincee sono delimitate longitudinalmente da pareti in muratura. Il materiale caricato ad un estremo, definito zona di alimentazione, procede lungo la corsia grazie all’azione di rivoltamento e avanzamento esercitata dalla macchina rivoltatrice scorrevole su binari posti sulle pareti. Lo scarico avviene dopo un determinato numero di rivoltamenti all’estremo opposto della corsia.

La stessa macchina rivoltatrice può servire più corsie affiancate; il numero delle corsie necessarie è determinato dalla quantità di matrici in ingresso e dal volume di carico che caratterizza il sistema prescelto (volume liberato con il primo rivoltamento).

Nota la lunghezza di traslazione del materiale (l’avanzamento della massa con un rivoltamento), la lunghezza della corsia viene stabilita in funzione del tempo di permanenza (solitamente dalle 4 alle 6 settimane) e del numero dei rivoltamenti previsti (8-12).

La maggior parte dei sistemi proposti prevede anche l’aerazione forzata grazie alla presenza di canalette grigliate poste sul fondo delle corsie. I capannoni che ospitano le trincee sono mantenuti in depressione e l’aria esausta estratta viene inviata a trattamento depurativo biologico e/o chimico insieme all’aria estratta dalla massa in trasformazione.

Indipendentemente dalla tecnologia prescelta, il sistema di compostaggio a trincea, non avendo tempi di ritenzioni prefissati, consente di praticare i tempi di ritenzione ritenuti più opportuni per un adeguato livello di stabilizzazione della massa.

Le fasi di carico e scarico del prodotto possono essere completamente automatizzate con l’ausilio di nastri trasportatori e/o coclee; è tuttavia molto frequente il ricorso alla pala per entrambi le fasi. Sono invece completamente automatizzate le operazioni di rivoltamento e di traslazione della rivoltatrice da una corsia all’altra.

➤ **Tipo Royer**

Le corsie in cemento armato, aventi altezza di 2,13 m e larghezza di 2,85 m delineano una zona di carico di 4,8 m, vari segmenti aerati ciascuno di 3,7 m e una zona di scarico lunga 4 m. Nel caso di 5 giorni lavorativi settimanali (5 caricamenti e 5 rivoltamenti-trasferimenti/settimana) ed una fase accelerata di 17 giorni, la lunghezza delle corsie è di 60 m di cui 51,5 m aerati. Il volume di caricamento unitario è di 19 m<sup>3</sup>.

Il ciclo di rivoltamento-trasferimento avviene nel modo seguente.

La macchina rivoltatrice mobile su binari posti alla sommità dei muri, si trova in partenza al fondo della corsia sul carrello traslatore con rotore e nastro sollevati; centrata la corsia e abbassato il gruppo rotore-nastro, la percorre fino all'estremità opposta trasferendo posteriormente il materiale per una lunghezza di 3,6 m. A questo punto, rialzati rotore e nastro, la macchina retrocede a vuoto fino ad inizio corsia e, risalita sul carrello di trasferimento, si sposta orizzontalmente fino alla corsia adiacente dove ripete il ciclo. Tutte le operazioni sono automatizzate. L'apparecchiatura di rivoltamento/trasferimento ha un azionamento oleodinamico per quanto attiene il rotore, lo scorrimento sulle corsie e l'argano di sollevamento/abbassamento del gruppo rotore-nastro; ciò consente di avere a disposizione forze sufficienti per vincere resistenze anomale durante i rivoltamenti o durante la corsa della rivoltatrice.

**Sistema operativo negli impianti di Tortona (AL), Pollenza (MC), Sesto Fiorentino (FI) e Muggiano (MI), Faenza (RA) e Torino.**

➤ **Tipo De Nicola**

Le dimensioni delle corsie sono le seguenti: altezza massima 2,7 m, larghezza 3,75 m (variabile a richiesta), lunghezza zone di carico e scarico 5 m. L'altezza massima del materiale in corsia è di 2,6 m, media 2,3 m. La macchina rivoltatrice può essere montata su carroponete scorrevole su binari come nel caso precedente, oppure su una struttura a portale con punto d'appoggio a terra mediante ruote motrici.

La macchina è dotata di un apparato di rivoltamento-trasferimento a redler che a richiesta può essere montato su una struttura girevole.

Il ciclo si svolge come segue: durante l'operazione di rivoltamento la macchina avanza nella corsia, con il redler inclinato di 45°, trasferendo posteriormente il materiale per una lunghezza superiore a 5 m. Nella zona di uscita della corsia la macchina modifica l'inclinazione del redler fino a renderlo orizzontale e trasla lateralmente sul telaio fino alla corsia adiacente (o ad un'altra da rivoltare), compie il ritorno a vuoto, ripristina l'inclinazione a 45° ed inizia il rivoltamento.

Ruotando di 180° il redler per mezzo della struttura girevole opzionale è possibile rivoltare in entrambi i sensi di marcia, evitando il ritorno a vuoto. Il telaio a portale ha una larghezza massima di 30 m, utile a servire una batteria di 7 corsie.

**Sistema operativo nell'impianto del Consorzio Tergola (Vigonza – PD).**

➤ **Tipo Backhus Kompostmat 9,30**

Le dimensioni delle corsie sono le seguenti: larghezza 3 m, altezza utile 2,2 m.

La macchina rivoltatrice a funzionamento automatizzato, è costituito da un telaio scorrevole su binari posti alla sommità dei muri-corsia; il rotore rivoltatore è a coclea basculante (Ø 12 m) con una velocità di lavoro fino a 200 m/h; la potenza elettrica installata è pari a 57 kW.

Il ciclo di lavoro è quello tipico delle corsie a ciclo continuo: carico del materiale fresco ad un estremo e scarico da quello opposto dopo un determinato numero di giorni e conseguente numero di rivoltamenti.

➤ **Tipo Idrofoglia, Okada e Scolari**

Simili alle corsie a ciclo continuo, ma di dimensioni più ridotte (l'altezza non supera generalmente 1-1,5 m) sono sistemi impiegati per lo più per le trasformazioni delle deiezioni avicole ma anche per il trattamento di fanghi e FORSU. Il ciclo di lavorazione è sostanzialmente uguale a quello già descritto. Talvolta le corsie non hanno pianta rettangolare ma a forma ad "U", con alimentazione sui lati minori adiacenti e scarico in comune nella zona curvilinea (in tal caso una macchina serve due corsie). Tali sistemi possono anche essere impiegati in ciclo discontinuo, con deposito delle miscele fresche e prelievo del materiale stabilizzato o compostato effettuati con pala meccanica. In alcuni casi il materiale fresco viene depositato in strato sottile su quello di maggiore età. La macchina rivoltatrice è costituita da un carrello scorrevole su binari posti alla sommità delle pareti di contenimento delle corsie, supportante un rotore orizzontale a palette calettate su più file in maniera alternata; la larghezza delle corsie varia da 2 a 6 m. L'azione del rotore, protetto sul lato superiore da un cofano metallico, proietta il materiale posteriormente, con una traslazione lungo la corsia di 1-4 metri. La macchina è mossa da motori elettrici.

**Sistemi operativi negli impianti Biofer di Rovigo (Idrofoglia), Agriflor di S. Bonifacio – VR (Okada), f.lli Terzi di Bergamo (Scolari).**

**b) Corsie a ciclo continuo con traslazione laterale**

Si differenziano rispetto alle precedenti per la traslazione del materiale rivoltato nella corsia adiacente, anziché posteriormente lungo la stessa.

➤ **Tipo OTV Silodà**

La larghezza delle corsie (o sili) è di 4 m, l'altezza di 1,7 m. Il rivoltamento-trasferimento del materiale avviene per mezzo di una ruota elevatrice e di un sistema di trasferimento laterale.

Il materiale compostabile viene distribuito per mezzo di un nastro navetta lungo la prima corsia di ricevimento. L'apparato di rivoltamento-trasferimento viene portato all'altezza dell'imbocco del silo da un carrello di traslazione. Durante la corsa di svuotamento del silo le masse vengono raccolte e sollevate da una ruota elevatrice, scaricate per gravità in una coppia di viti di Archimede e traslate nel silo adiacente. Raggiunta l'estremità opposta della corsia viene automaticamente invertita la direzione di marcia e, a velocità maggiorata rispetto alla precedente, si ha il ritorno a vuoto dell'apparecchiatura che risale sul carrello di traslazione e si arresta. Allo svuotamento dell'ultima corsia, quella finale, il compost biostabilizzato, verrà scaricato dalla stessa ruota su nastri trasportatori per essere avviato alla successiva fase di maturazione. In genere, ogni due giorni (se questo è il tempo di completamento di un silo) si succedono i rivoltamenti di tutte le corsie per far posto al nuovo materiale in arrivo nella prima corsia. Ciò comporta che ogni due giorni venga parimenti svuotato il materiale ormai stabilizzato dall'ultima corsia e che quindi tutti i sili della serie corrispondente vengano fatti avanzare verso quelli terminali. Il ciclo si completa nell'arco di 28 giorni.

**Sistema operativo a Udine, Macomer (NU), Catanzaro e Rossano Calabro (CS).**

➤ **Tipo SLIA**

Le corsie hanno larghezza di 2,5 m e altezza di 2,41 m; la macchina rivoltatrice (Turbocap) è costituita da un telaio a U rovesciata scorrevole su binari ancorati alle pareti delle corsie, supportante un tamburo rotante a palette che asporta il materiale dal cumulo, e da un nastro

trasportatore trasversale che lo raccoglie e lo depone nella corsia adiacente. Il funzionamento è regolato da un sistema di controllo elettronico con possibilità di azionamento automatico o manuale. Il trasferimento della macchina da una corsia a quella successiva avviene per mezzo di un carrello traslatore. Il ciclo operativo è paragonabile a quanto descritto precedentemente: il materiale viene alimentato nella prima corsia della batteria e giornalmente rivoltato e trasferito in quella adiacente fino a giungere nella corsia di scarico. Da questa viene prelevato mediante una macchina evacuatrice (Trascomp), costituita da un trasportatore raschiante inclinato di 45° afferente a una coclea orizzontale, e trasferito su nastri trasportatori alla sezione successiva (maturazione o raffinazione).

### ***c) Corsie a ciclo discontinuo***

Si tratta di un sistema a corsie che non prevede la traslazione del materiale. Una volta caricata la miscela fresca con pala o nastri, vengono chiusi i portelloni posti sui lati minori. L'ossigenazione della massa è garantita dalla aerazione forzata e dal rivoltamento meccanico. Trascorso il tempo prefissato di trattamento la corsia viene svuotata e il materiale è avviato a maturazione.

I tempi di ritenzione dei vari sistemi presenti variano da 8 a circa 60 giorni.

Il ciclo operativo è paragonabile a quello del cumulo rivoltato con i vantaggi in termini di superficie impegnata derivanti dal confinamento del compost entro le corsie.

### ***Tipo Engeler Tuko 2/3, GeoTec Zeilinkompostierung, Compag***

Sistemi operativi in Svizzera, Germania.

## **REATTORI ORIZZONTALI A BACINO**

### ***a) Bacini a ciclo continuo ad apparato traslatore***

A differenza delle corsie a ciclo continuo, il materiale è disposto in un'unica corsia di larghezza elevata (sino a 33 m) e di altezza sino a 3 m ("cumulo a tavola"). Il rivoltamento e l'avanzamento del materiale sono assicurati da una rivoltatrice che scorre trasversalmente su carroponte, il quale a sua volta avanza lungo tutta la lunghezza del bacino. Il carico della miscela fresca ad un estremo del bacino è effettuato mediante nastri trasportatori, lo stesso avviene all'atto dello scarico all'estremo opposto. La lunghezza di traslazione ad ogni passaggio della rivoltatrice è variabile e regolabile.

Anche in questo caso è presente il sistema di aerazione forzata della massa in trasformazione; l'aria esausta di processo e quella estratta dal ricovero che ospita il bacino sono avviate a depurazione. Sono inoltre previsti sistemi automatizzati di umidificazione della massa. Sono sistemi dimensionati in modo tale da assicurare un tempo di ritenzione di circa 10-12 settimane.

### **➤ *Tipo Bühler Wendelin ZUR***

Larghezza cumulo a tavola: 6,5÷33 m

Altezza cumulo: 2,5÷3,3 m

L'apparato traslatore è composto da un carroponte a doppia struttura per il moto longitudinale, scorrevole su binari, e da una ruota a tazze, supportata da un carrello per il moto trasversale, che asporta il materiale dalla sezione del cumulo (profondità di circa 20 cm) e scarica su un nastro elevatore trasportatore. Un secondo nastro trasportatore dispone in un nuovo cumulo il materiale proveniente dall'elevatore.

Il ciclo operativo è automatizzato, carico/scarico del bacino compresi, la macchina è mossa da motori elettrici ed idraulici. Il processo ha una durata di 10-12 settimane, la potenzialità espressa in volume di materie prime caricabili varia da 250 a 3.800 m<sup>3</sup>/settimana a seconda dell'ampiezza del bacino.

**Sistema operativo nell'impianto di Spresiano (TV).****b) Bacini a ciclo continuo a coclee**

E' una tecnologia che si differenzia dalla precedente per la presenza di coclee verticali montate su carroponete, anzichè l'apparato traslatore. Il bacino in questo caso può essere di forma circolare oppure rettangolare con la movimentazione nel senso del lato maggiore (bacino longitudinale).

Si tratta di un sistema utilizzato essenzialmente per il trattamento dei RU indifferenziati, presente in numerosi impianti italiani.

**➤ Circolare – Tipo Fairfield**

E' un bacino in c.a. di forma circolare munito di agitatori/aeratori a coclea verticale portati su carroponete rotante e sistema di aerazione forzata dal basso a mezzo di tubi forati concentrici. La biomassa fresca viene alimentata dall'alto attraverso una tramoggia centrale e mediante una coclea viene distribuito lungo la parete del reattore. La massa subisce movimenti combinati verso il basso, verso l'alto e radialmente, con un moto risultante serpentino con flusso verso un collettore centrale di raccolta ed estrazione mediante coclea. La velocità di ogni singolo agitatore a coclea è regolabile, così come l'intensità dell'aerazione. Il tempo di ritenzione varia da 48 ore a 14 giorni, il processo è monitorato con sensori di temperatura. Il confinamento in costruzioni tamponate permette il controllo delle emissioni odorose.

Volume utile: da 54 a 3.200 m<sup>3</sup>.

Diametro: da 6 a 36 m.

**Presente negli impianti da RU indifferenziati di Massa Carrara e Vallo di Diano (AV).****➤ Longitudinale – Tipo Sorain Cecchini, Secit, De Bartolomeis**

E' sostanzialmente simile al tipo precedentemente descritto, ma di forma rettangolare. Il movimento del carroponete, supporto delle coclee agitatrici, avviene nel senso del lato maggiore. L'aerazione delle masse è praticata attraverso griglie forate poste sul fondo del bacino. La durata della fase accelerata è normalmente di 20-30 giorni trattando RSU indifferenziati; in questo tempo il materiale caricato ad una estremità del reattore giunge al lato di scarico per effetto delle ripetute movimentazioni. Le varianti sono molteplici e riguardano il lato di caricamento che in alcuni casi si situa lungo l'asse maggiore del reattore (Perugia – Sorain Cecchini, Novara e Pescara – Emit, questi ultimi caratterizzati anche dalla platea inclinata) mentre in altri in corrispondenza del lato minore (S. Maria Capua Vetere – De Bartolomeis, Sulmona e Matera – Secit) e per il numero variabile di coclee applicate.

Dimensioni: Sorain Cecchini: larghezza 21 m, lunghezza 70 m

De Bartolomeis: larghezza 8 m, lunghezza 50 m

Emit: larghezza 21 m, lunghezza 72 m

**Sistemi operativi:**

**De Bartolomeis:** S. Maria Capua Vetere

**Sorain Cecchini:** Perugia, Foligno (PG), Cassino (FR), Milano (n. 2), Albano (RN), Malagrotta (RN), Viterbo

**Secit:** Ascoli Piceno, Fermo (AP), Sulmona (AQ), Matera, Novara, Pescara

### **c) Bacini a ciclo discontinuo**

In questo caso non si verifica lo spostamento del materiale lungo il bacino; si ha il carico completo e lo scarico dopo un tempo di ritenzione; segue la fase di maturazione. In Italia non è presente.

### **d) Biotunnel a ciclo continuo**

Sono costituiti da moduli a sezione rettangolare, in muratura o metallo, coibentati, disposti orizzontalmente ed affiancati in batteria. Sono dotati di sistemi di aerazione forzata dal pavimento, captazione e ricircolo dei percolati, aspirazione delle arie esauste e successiva biofiltrazione, strumenti di monitoraggio dei parametri di processo. Le miscele fresche vengono alimentate giornalmente ad una estremità del tunnel e, mediante particolari sistemi di avanzamento, procedono nel reattore fino a giungere all'estremità opposta in un numero prefissato di giorni di processo. Lo spazio liberato dalle masse in trasferimento costituisce il volume di carico giornaliero disponibile. Ossigenazione ed umidità vengono costantemente controllate mediante aerazione forzata ed umidificazioni.

#### ➤ **Tipo BAV, Asbrook**

Consiste in un parallelepipedo disposto orizzontalmente dotato di sistema di avanzamento del materiale con parete mobile spinta da pistoni idraulici. I rifiuti vengono introdotti tramite nastro trasportatore e tramoggia dosatrice ad una estremità del reattore e fatti procedere ad alcuni metri mediante avanzamento della parete mobile. Il ciclo si ripete giornalmente e dopo una permanenza di 2 settimane la miscela stabilizzata giunge al fondo del reattore e attraverso un portello di scarico cade su un nastro trasportatore che la convoglia ai trattamenti successivi.

Dimensioni unitarie: ad esempio base 4,5 m, altezza 3,5 m, lunghezza 18 m.

Volume utile: da 10 a 500 m<sup>3</sup>.

**Presente nell'impianto di Serra dé Conti – AN (BAV), di Legnago – VR (Ashbrook).**

### **e) Biotunnel a ciclo discontinuo**

Strutturalmente simili a quelli a ciclo continuo, si differenziano per l'assenza di apparati di avanzamento del materiale; il funzionamento "batch" prevede infatti il riempimento del tunnel con i rifiuti freschi, lo sviluppo della fase di bio-ossidazione accelerata, lo svuotamento del modulo con successivo trasferimento del compost fresco alla sezione di maturazione. L'ossigenazione delle masse è ottenuta mediante aerazione forzata dal fondo del modulo (tipo B.A.S.) e, in alcuni casi, anche attraverso il rivoltamento meccanico (tipo GeoTec Tucom).

#### ➤ **Tipo B.A.S.**

Consiste in un modulo a sezione rettangolare con apertura su uno dei lati minori per l'alimentazione e lo svuotamento. Il fondo del tunnel è costituito da una griglia coperta con film in materiale sintetico, sotto la quale è ricavata una intercapedine ove viene costantemente insufflata aria. Attraverso le aperture installate sul soffitto del modulo l'aria calda emessa dalle masse in trasformazione viene aspirata ed inviata a depurazione in doppio stadio (gorgogliatore di lavaggio e camera ad ozono oppure biofiltro a compost). La combinazione insufflazione/aspirazione crea una leggera depressione all'interno del tunnel che si traduce in una circolazione di aria sufficiente a soddisfare le esigenze microbiche. L'aria esterna immessa viene preventivamente riscaldata in uno scambiatore di calore alimentato con l'energia termica derivante dal processo bio-ossidativo. Il tasso ideale di ossigeno nel sistema B.A.S. è composto fra 14 e 16%. La temperatura viene mantenuta fra 56 e 64° C.

L'alimentazione viene effettuata a mezzo di nastro trasportatore telescopico che, montato su carrello traslatore, può servire una batteria di tunnel. Lo svuotamento del modulo, dopo 14 giorni di trasformazione intensivo, si ottiene con l'estrazione graduale del film sintetico posto sul pavimento e con la raccolta del materiale stabilizzato per mezzo di una macchina dotata di rotore a vomeri, che a sua volta lo scarica su nastri trasportatori afferenti alla sezione di maturazione.

Dimensioni unitarie: larghezza 3 m e altezza 2 m.

Tecnologie simili a quella descritta, provenienti dall'Olanda, sono proposte dalla Gicom e dalla Agrisystem; sistema analogo viene realizzato dalla ditta tedesca Horstmann.

***Operativo nell'impianto di Firenze.***

## **BIOREATTORE ORIZZONTALE CILINDRICO A CICLO CONTINUO**

### ➤ ***Tipo Dano***

Si tratta di un cilindro metallico orizzontale di diametro e lunghezza variabile in funzione della potenzialità dell'impianto; azionato da 2 motori elettrici da 25 kW ciascuno, è dotato di insufflazione in controcorrente rispetto al flusso dei rifiuti e di aspirazione delle arie esauste. Il materiale fresco è alimentato ad un estremo sino ai 2/3 del suo volume e, grazie alla rotazione lenta, si omogeneizza e avanza verso l'estremo opposto in un tempo regolabile (in genere 24-36 ore). La parte terminale si completa con un vaglio a maglie larghe (100 mm) per una prima selezione delle frazioni indesiderate. All'interno del cilindro la presenza di lame disposte in senso elicoidale consente l'apertura dei sacchi e una prima lacerazione dei materiali.

Dimensioni unitarie: ad esempio diametro 3 – 3,6 – 6 m, lunghezza 30 – 42 – 45 m.

***Presente negli impianti da RU di Pistoia, Schio (VI), Alessandria, Terracina, Pollenza (MC), Carpi (MO), Cedrasco (SO).***

## **BIOREATTORE ORIZZONTALE RETTANGOLARE A CICLO CONTINUO**

### ➤ ***Tipo Vogel & Müller KoRa***

E' un reattore metallico coibentato a sezione rettangolare con insufflazione d'aria dal fondo.

La miscela fresca viene inserita in una tramoggia di alimentazione con pala meccanica e successivamente su nastro trasportatore a barre con la convogliata all'interno della prima sezione di bio-ossidazione (volume utile di 60 m<sup>3</sup>). L'avanzamento, mediante il fondo mobile del reattore, è regolato in modo che dopo 3 giorni le biomasse giungono al termine di questa prima sezione e prelevate da un nastro elevatore che le deposita nella seconda sezione di bio-ossidazione di volume uguale al primo. Qui si ripete il ciclo per 4 giorni consecutivi, al termine dei quali il materiale stabilizzato giunge nella parte terminale del reattore, e scaricato da un nastro trasportatore. L'aria esausta viene aspirata ed inviata ai biofiltri posti sul tetto dell'impianto (uno per ciascuna sezione, volume unitario 8000 litri); parte dell'aria può essere ricircolata al fine di sfruttarne il calore. La potenza totale installata è di 45 kW.

La potenzialità del sistema viene indicata in 2.000-2.500 t/anno di rifiuti organici.

La potenza installata totale è di 45 kW.

***Presente per la linea FORSU selezionata alla fonte dell'impianto di Bressanone (BZ).***

## BIOREATTORE VERTICALE A CICLO CONTINUO

### ➤ *Tipo Weiss-Kneer*

E' un cilindro verticale continuo in metallo o cemento con caricamento dall'alto ed estrazione dal basso, aerazione in controcorrente tramite ventilatori e tubi forati disposti ad anelli concentrici immersi in uno strato di ghiaia sul fondo del reattore, aspirazione dall'alto dell'aria da depurare.

La fase accelerata ha una durata di 14 giorni. Lo scarico avviene mediante una vite di Archimede di lunghezza pari al raggio del reattore, che ruotando asporta lo strato più basso del materiale e lo convoglia al centro dove una coclea verticale provvede all'estrazione e allo scarico su nastri trasportatori. Il processo è monitorato per mezzo di sonde per la misura di T° e CO<sub>2</sub>.

Volume utile: variabile da 100 a 2400 m<sup>3</sup>.

*Presente negli impianti di Bolzano (RU) e Senigallia (fanghi).*

### ➤ *Tipo Peabody multistadio*

E' costituito da una torre verticale di grandi dimensioni. L'alimentazione avviene dall'alto e per passaggi successivi da uno stadio all'altro il materiale, dopo una sosta di 1-2 giorni per ciascun piano, esce dalla parte inferiore della torre. Lo scarico ai diversi livelli avviene attraverso una apposita apertura, ove la massa è convogliata da un raschiatore rotante, che provvede anche al rivoltamento della stessa nel tempo di permanenza.

Dimensioni esterne: altezza 24 m, diametro 8 m

Altezza stadi modulari sovrapposti: 3 m.

*Presente nell'impianto per RU di Cuneo.*

### 2.3.4 *Fase di maturazione*

Il prodotto che esce dalla fase di bio-ossidazione, condotta secondo una delle tecnologie sopra illustrate, viene poi avviato alla fase di maturazione, quella durante la quale avvengono sia reazioni di completamento della degradazione biologica a carico di frazioni organiche putrescibili ancora presenti e di frazioni legnose più resistenti (lignina e cellulosa, emicellulose), sia reazioni di sintesi di molecole complesse umo-simili (composti umici).

La fase di maturazione ha una durata tanto più lunga quanto più breve è stata la fase bio-ossidativa precedente. Tale fase avviene di norma sistemando il materiale in cumulo su platea coperta. In questo caso i cumuli potranno avere dimensioni comunque adatte per il rivoltamento con apposita rivoltatrice, oppure dimensioni maggiori rispetto a quelle eventualmente adottate nel fase precedente in quanto movimentati solo periodicamente con pala meccanica.

Pertanto, per la conduzione di tale fase del processo non occorrono attrezzature particolari.

### 2.3.5 *Raffinazione e nobilitazione del prodotto*

Come già ricordato in premessa, in questa fase sono comprese tutte le operazioni necessarie per ottenere un prodotto finito con caratteristiche qualitative costanti nel tempo e i requisiti commerciali richiesti dal settore di destinazione. Tra queste operazioni sicuramente la più importante è rappresentata dalla vagliatura o raffinazione.

Con tale operazione dal prodotto grezzo si ottengono una frazione fine (compost raffinato e pulito) di granulometria omogenea e una frazione grossolana costituita da eventuali elementi indesiderati (plastiche, inerti) e materiali legnosi non degradati di pezzatura superiore a quella delle maglie del vaglio.

Le attrezzature che operano la raffinazione possono separare in funzione della dimensione (separazione dimensionale) e/o del peso (separazione aeraulica e densimetrica) delle diverse parti costituenti il compost grezzo

Per l'operazione di separazione dimensionale o più comunemente vagliatura possono essere utilizzati vagli di diverso genere; le tipologie più diffuse nel settore del compostaggio sono le seguenti:

- vagli a tamburo rotante;
- vagli vibranti;
- vagli a "letto di stelle".

I **vagli a cilindro rotante** o **rotovagli** sono costituiti da una tramoggia di carico, un cilindro rotante ad asse inclinato di pochi gradi rispetto all'asse orizzontale, i nastri di scarico delle due frazioni (fine e sovrullo), il tutto montato su rimorchio o semirimorchio, omologabile per la circolazione stradale, oppure montato a punto fisso. L'azionamento può avvenire mediante motore diesel o elettrico. I modelli di taglia minore, peraltro poco numerosi, possono essere azionati dalla presa di potenza del trattore. La trasmissione del moto è di tipo oleodinamico.

La tramoggia, di ampie dimensioni per consentire un agevole carico con pala, può presentare sul fondo un nastro di alimentazione o, più raramente, delle coclee estrattrici. Il tamburo ruota a velocità regolabile e variabile da 10 a 60 rpm. All'interno del cilindro sono spesso presenti dei rilievi spiralati che aumentano il tempo di permanenza del grezzo nel tamburo aumentando la resa in prodotto fine. Eventuali problemi di occlusione delle maglie (compost con tenore di umidità superiore al 50-60%) sono di norma superati grazie alla presenza di uno spazzolone di forma cilindrica, appoggiato al tamburo nella parte superiore. Il sovrullo che attraversa il tamburo esce all'estremità opposta e cade direttamente a terra o, più frequentemente, viene scaricato su nastro. Ciò consente un minimo di autonomia di stoccaggio provvisorio durante l'uso. Il prodotto fine viene raccolto da nastri di scarico.

La capacità oraria di lavoro di tali attrezzature varia dai 10 ai 60-80 m<sup>3</sup>/h in ingresso; la potenza motrice installata raramente supera 60-80 kW.

L'esigenza di disporre di cilindri con maglie di dimensioni diverse è soddisfatta in modo diverso a seconda dei modelli; nella maggior parte dei casi si procede alla completa sostituzione del cilindro. In alcuni modelli si procede invece alla sostituzione delle singole sezioni della rete di vagliatura.

Una variante al tipo di vaglio descritto è costituito dal sistema a due cilindri rotanti coassiali di diametro diverso; questo, adottando maglie di dimensione diversa, separa tre frazioni granulometriche diverse: il sovrullo del cilindro esterno, il sovrullo del cilindro interno, il passante del cilindro interno.

Nei **vagli vibranti** o **vibrotagli** il principio di funzionamento è sostanzialmente lo stesso: il passaggio della frazione fine avviene attraverso una griglia forata inclinata vibrante, anziché un tamburo rotante. L'alimentazione avviene dall'alto e le due frazioni fine e grossolana sono allontanate da nastri trasportatori.

Simili ai vibrotagli sono i **vagli a pannelli elastici** sono dotati di una tramoggia che alimenta una serie di pannelli in materiale elastico forato (gomma o poliuretano) inclinati di 10-15°, la cui superficie varia da 2 a 15 m<sup>2</sup>. Un sistema ad eccentrici pone in tensione e rilascia i pannelli elastici alternativamente con frequenza elevata. Il movimento sussultorio che si viene a creare provoca la movimentazione del compost ed il passaggio della frazione fine, raccolta in una tramoggia sottostante. Il sovrullo, giunto al termine del piano vagliante, viene allontanato da un nastro trasportatore. Si tratta di una tipica macchina che opera solitamente a punto fisso; è comunque disponibile anche la versione mobile montata su rimorchio.

I vagli “**a letto di stelle**” sono formati da una serie di tubi metallici rotanti che portano degli elementi circolari in gomma a forma di stella, distanziati sull’asse di una distanza pari a quella della larghezza di un elemento. Più rotori, accoppiati in modo che lo spazio fra gli elementi a stella venga occupato dagli elementi del rotore successivo, costituiscono un letto in movimento sul quale viene alimentato il compost grezzo. Dalla rotazione sincronizzata di tutti gli elementi si ottiene l’apertura di luci passanti di uguale grandezza nelle quali passa la frazione fine. Il materiale da raffinare viene continuamente movimentato dall’azione di rotazione; questa spinge anche il sovrullo verso la fine del “letto”. Anche questo è un sistema realizzato di norma a punto fisso, ma disponibile anche nella versione mobile su rimorchio.

I **separatori balistici** si basano sul principio delle diverse traiettorie percorse da particelle proiettate da un rotore ad alta velocità. Il materiale grezzo viene fatto cadere su un rotore rivestito in gomma (circa 500 mm di diametro) che deposita le particelle più leggere (compost) in una tramoggia posta a breve distanza, mentre quelle più pesanti (frammenti di vetro, pietre, ecc.) vengono scagliate più lontano e raccolte in una seconda tramoggia. Si tratta pertanto di un sistema che non suddivide il compost in diverse granulometrie, ma può essere utile per la separazione di particelle inorganiche di piccole dimensioni indesiderate. Per tale motivo è generalmente adottato negli impianti che trattano RU indifferenziati, oppure negli impianti che trattano scarti alimentari selezionati comunque merceologicamente poco puri.

Per l’allontanamento dei materiali inerti leggeri, costituiti essenzialmente da plastiche leggere, sono proposti i **separatori aeraulici**, detti anche “separatori per le plastiche”. Solitamente è prevista l’applicazione in linea sulla frazione grossolana (sovrullo) in uscita dalla raffinazione dimensionale del compost grezzo. Ciò consente di pulire almeno in parte dalla plastica i sovrulli che, quando riciccolati in testa al processo, tendono a contaminarsi sempre più.

Sostanzialmente la macchina è costituita da:

- una zona di carico il cui fondo può presentare una tavola vibrante che riceve il materiale e lo distribuisce in strato sottile e omogeneo, oppure una griglia sotto alla quale viene insufflata aria;
- nastro/i di separazione e scarico;
- ventilatori per l’allontanamento delle frazioni leggere (aspiraz./insufflaz.);
- rullo magnetico per la separazione materiali ferrosi.

La frazione inerte separata viene solitamente convogliata mediante apposita tubazione in un cassone.

I modelli disponibili sul mercato italiano non sono numerosi. La capacità di lavoro massima in ingresso non supera i 40-50 m<sup>3</sup>/h; la potenza installata varia dai 15 ai 35 kW. L’efficienza di separazione dichiarata è del 70-90%.

### 2.3.6 *Elenco ditte produttrici di macchine e tecnologie per il compostaggio*

Ditte produttrici di macchine e attrezzature per il compostaggio.

Ditta produttrice	Nazionalità	Tipologia
Backhus	Germania	Rivoltatrici per cumuli
Beyer	Germania	Vagli
BMZ	Italia	Rivoltatrici per cumuli, Vagli
Bonera Carpenteria	Italia	Vagli
Buhler	Svizzera	Trituratori, Rivoltatrici per cumuli, Vagli
Caravaggi Gian Lorenzo	Italia	Trituratori, Rivoltatrici per cumuli, Vagli

<b>Ditta produttrice</b>	<b>Nazionalità</b>	<b>Tipologia</b>
Cucchi Officina Meccanica	Italia	Rivoltatrici per cumuli
Doppstadt	Germania	Trituratori, Rivoltatrici, Vagli
Farwick	Germania	Vagli
FAV di Schiavi Franco & C.	Italia	Trituratori
Fiaba di M. & A. Ferraretto	Italia	Trituratori
Frasto	Italia	Miscelatori a coclee
Gandini Meccanica	Italia	Trituratori, Rivoltatrici per cumuli
Haybuster	USA	Trituratori
Husmann	Germania	Trituratori
IBAG	Germania	Vagli
Idrofoglia International	Bologna	Rivoltatrici per impianti a fossa
Jenz	Germania	Trituratori
Komptech	Austria	Miscelatori a coclee, Rivoltatrici per cumuli
Lescha	Germania	Trituratori
Marmix	Italia	Miscelatori a coclee
Menart	Belgio	Trituratori, Vagli
Morawetz	Austria	Rivoltatrici per cumuli, Vagli
Moschle	Germania	Trituratori
Mutti Adolfo	Italia	Miscelatori a coclee
Negri Marco	Italia	Trituratori
Pagliari F.lli	Italia	Miscelatori a coclee
Peruzzo Adriano Off. Mecc.	Italia	Trituratori
Pezzolato – Officine Mecc.	Italia	Trituratori, Rivoltatrici per cumuli, Vagli
Posch	Austria	Trituratori
Rudnick e Enners	Germania	Trituratori
Saceccav Depurazioni Sacede	Italia	Rivoltatrici per impianti a fossa
Sandberger	Austria	Rivoltatrici per cumuli
Scolari	Italia	Rivoltatrici per impianti a fossa
Seko	Italia	Miscelatori a coclee
Seppi M.	Italia	Trituratori
Storti International	Italia	Miscelatori a coclee
TIM	Danimarca	Trituratori, Rivoltatrici per cumuli, Vagli
Vermeer	USA	Trituratori
Willibald	Germania	Trituratori, Rivoltatrici per cumuli

<b>Ditta produttrice</b>	<b>Nazionalità</b>	<b>Tipologia</b>
Agrisystem	Olanda	Biotunnel CD
Altvater Alvahum	Germania	Bioreattori orizzontali rotanti CC
Ashbrook	USA	Biotunnel CC
Babcock	Germania	Corsie CC
Backhus	Germania	Corsie CC
BAS	Germania	Biotunnel CD
BAV	Germania	Biotunnel CC
BioNway	Italia	Biocontainers a sistema statico CD
Bühler	Svizzera	Bacini CC ad apparato traslatore
Compag	Svizzera	Corsie CD
Dalsem Veciap	Olanda	Biotunnel CD
Dambach	Germania	Bioreattori verticali multistadio CC
Dano	Svizzera	Bioreattori orizzontali rotanti CC
De Bartolomeis	Italia	Bacini CC a coclee
DE.CO	Italia	Biocontainers a sistema statico CD
De Nicola	Italia	Corsie CC
Dynatherm	USA	Biotunnel CC
Engeler	Germania	Corsie
Envital	Germania	Bioreattori orizzontali rotanti CD
Fairfield	USA	Bacini CC a coclee
Gecko	Germania	Corsie CC
Geo Tec	Germania	Corsie CD - Bacini CC ad apparato traslatore – Biotunnel CD
Gicom	Olanda	Biotunnel CD
Gutök	Germania	Corsie CC
Hazemag	Germania	Bioreattori verticali multistadio CC
Herhof	Germania	Biocelle a sistema statico CD
Höma	Germania	Bacini CC ad apparato traslatore
Horstmann	Germania	Biocontainers a sistema statico CD – Bacini CD a coclee – Biotunnel CD
Idrofoglia	Italia	Corsie CC
Innovative Umwelttechnik	Germania	Biocontainers a sistema statico CD
Koch	Germania	Bacini CC ad apparato traslatore
Lescha	Germania	Bioreattori orizzontali ottagonali CD
ML Entsorgung	Germania	Biocontainers a sistema statico CD
Okada	Giappone	Corsie CC
OTV	Francia	Corsie CC a traslazione laterale

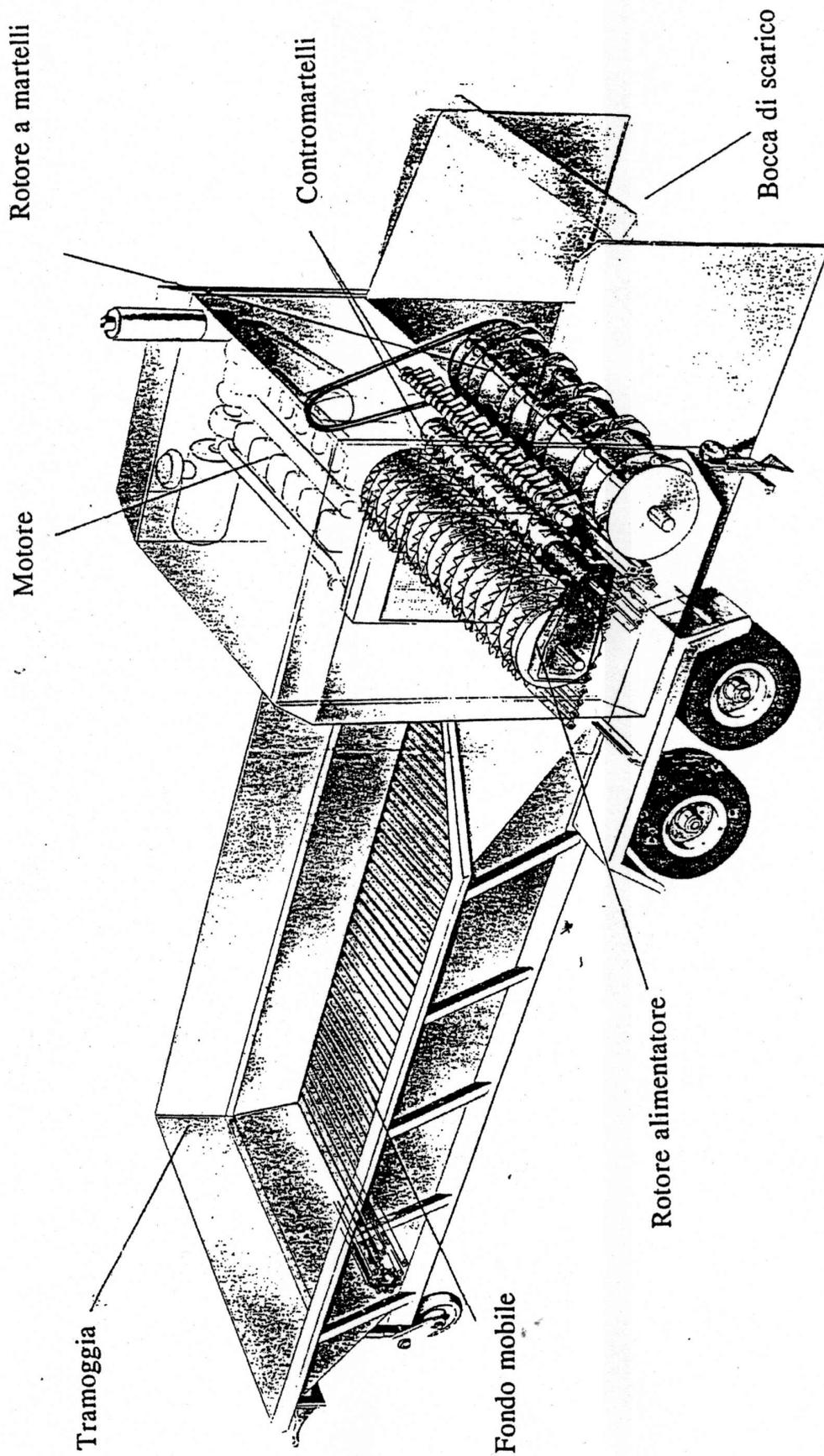
<b>Ditta produttrice</b>	<b>Nazionalità</b>	<b>Tipologia</b>
Pacom	Olanda	Corsie CD
Passavant	Germania	Corsie CC
Peabody	Gran Bretagna	Bioreattori verticali multistadio CC
Royer	USA	Corsie CC
Ruthner	Austria	Bioreattori orizzontali rotanti CC
Scolari	Italia	Corsie CC
Secit	Italia	Bacini CC a coclee
SLIA	Italia	Corsie CC a traslazione laterale
Sorain Cecchini	Italia	Bacini CC a coclee
Sutco	Germania	Corsie CC
Thyssen	Germania	Bacini CD
Thöni	Germania	Biocontainers a sistema dinamico CD
Triga	Francia	Bioreattori verticali CC
UT Umweltschutz	Germania	Biocontainers a sistema statico CD
VAM	Olanda	Bacini CC ad apparato traslatore
Visno	Olanda	Bacini CC ad apparato traslatore
Vogel & Müller	Austria	Bioreattore orizzontale rettangolare CC
Von Ludowig	Germania	Biocontainers a sistema statico CD
Weiss Kneer	Germania	Bioreattori verticali CC

CC = ciclo continuo

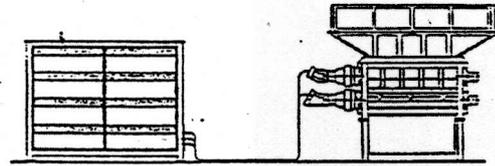
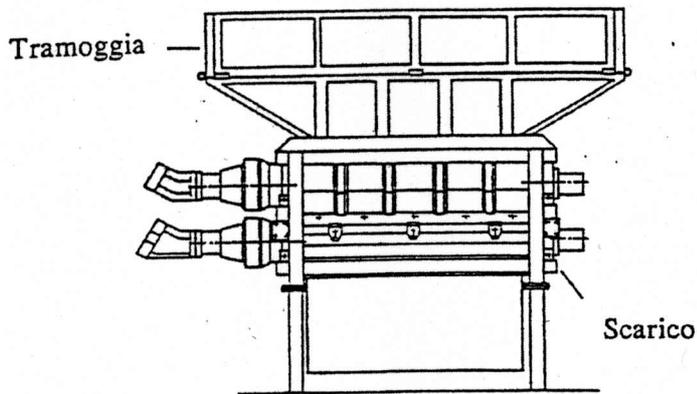
CD = ciclo discontinuo

**RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DELLE MACCHINE  
E TECNOLOGIE PER IL COMPOSTAGGIO**

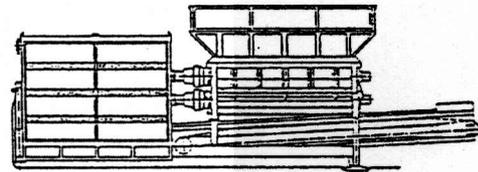
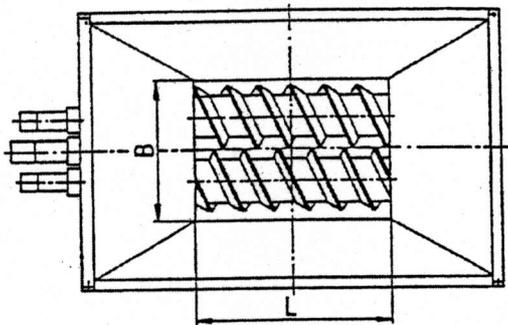
Trituratore a martelli



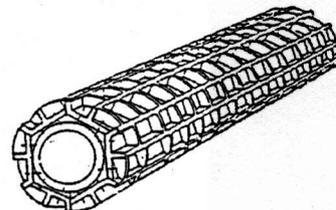
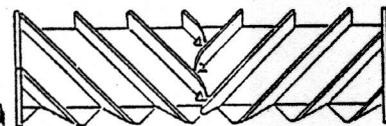
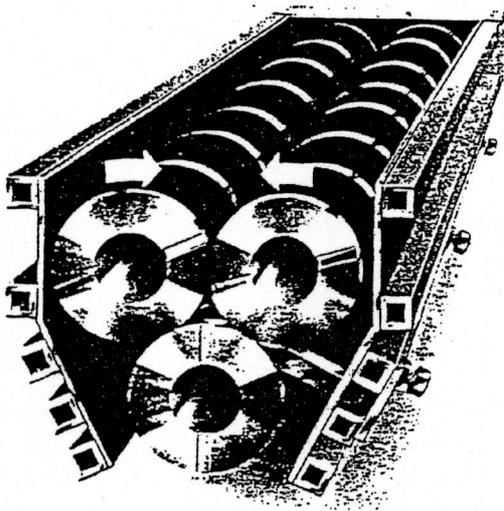
Trituratori a coclee

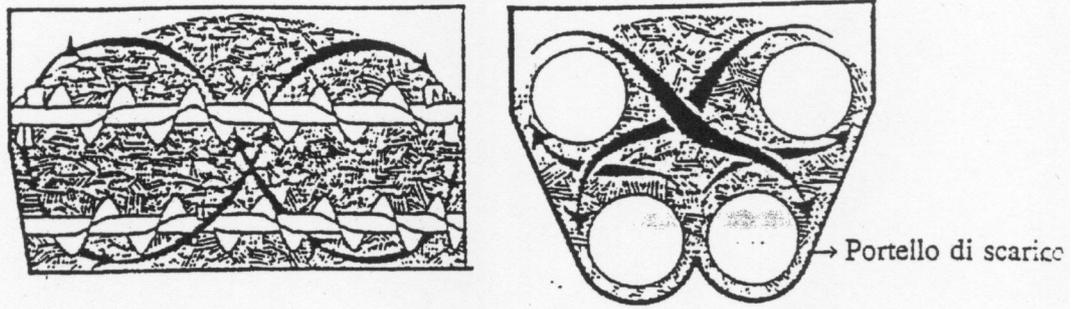


Versione fissa

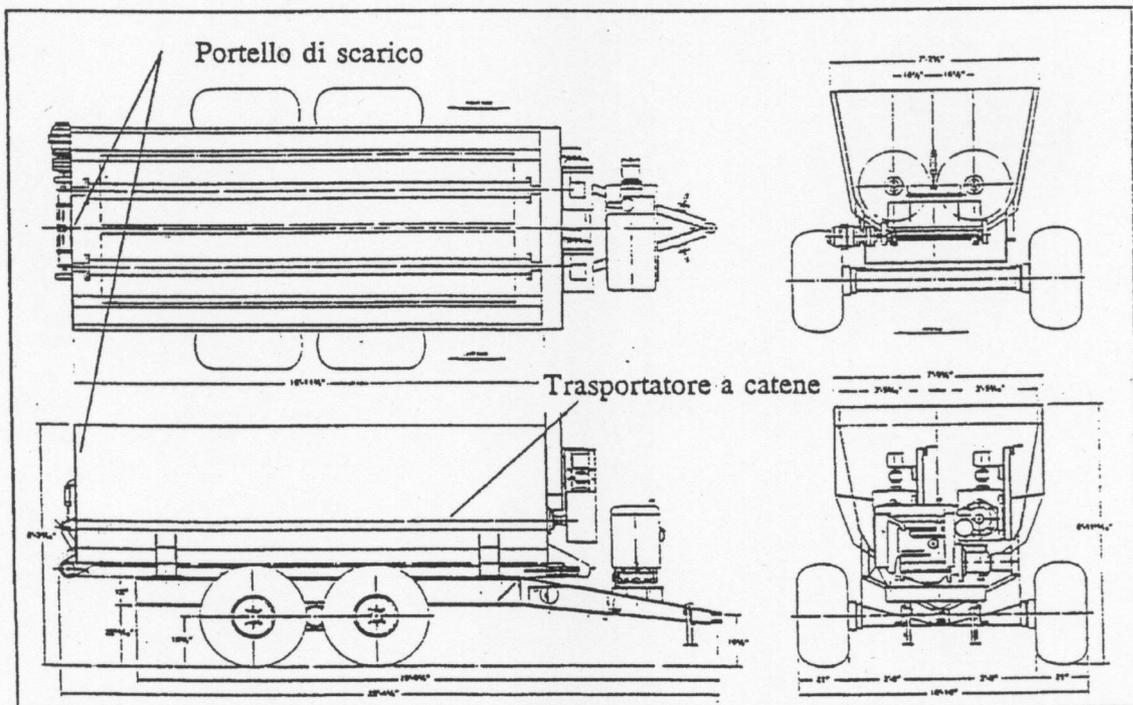


Versione mobile (scarrabile)



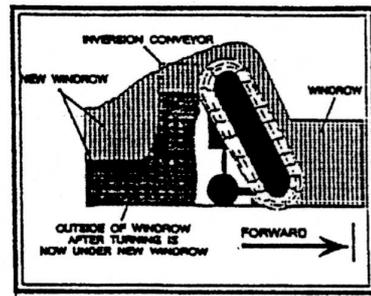
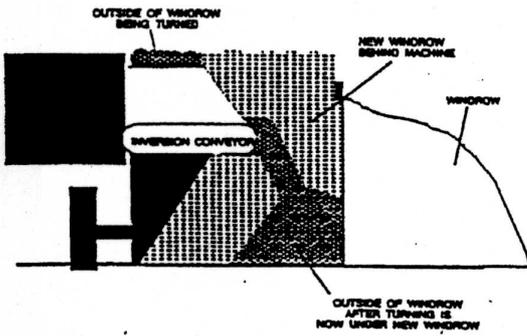
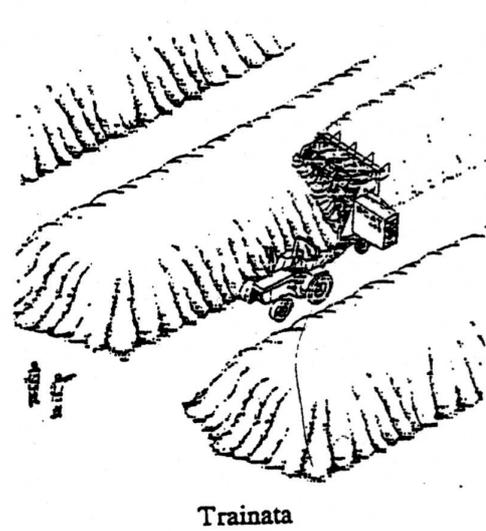
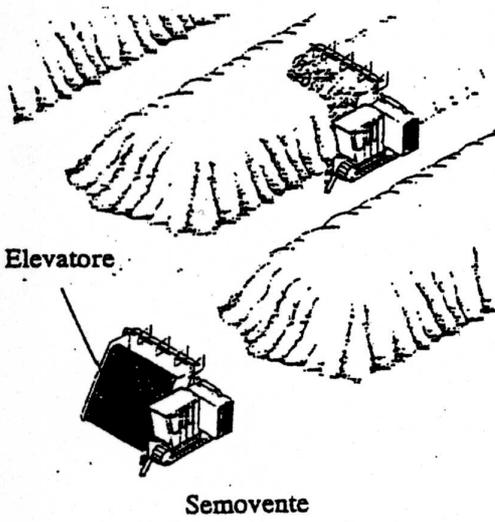
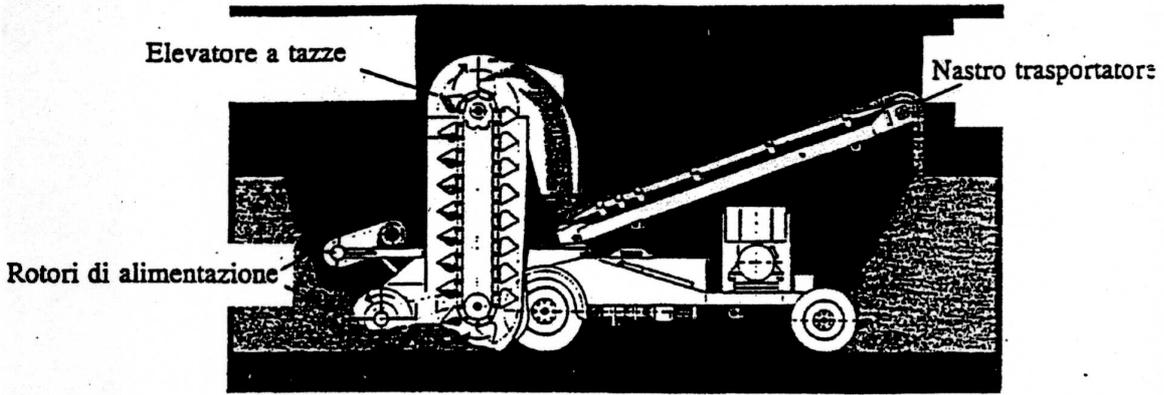


Miscelatore a coclea

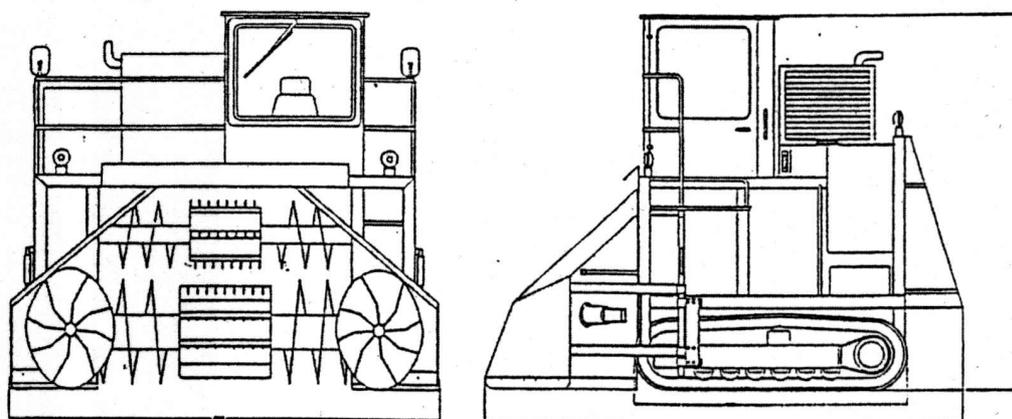
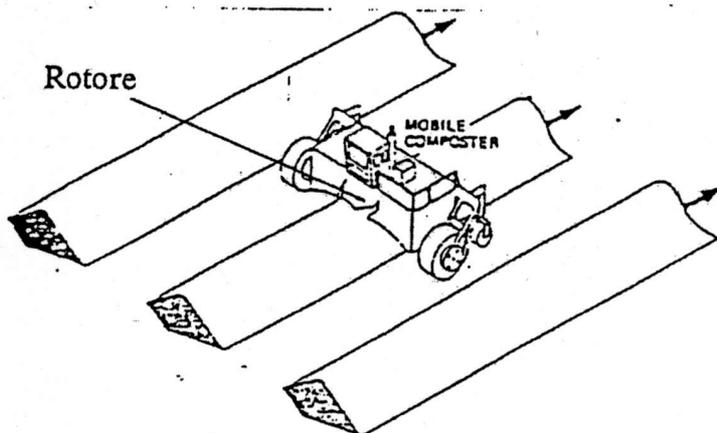


Miscelatore a palette

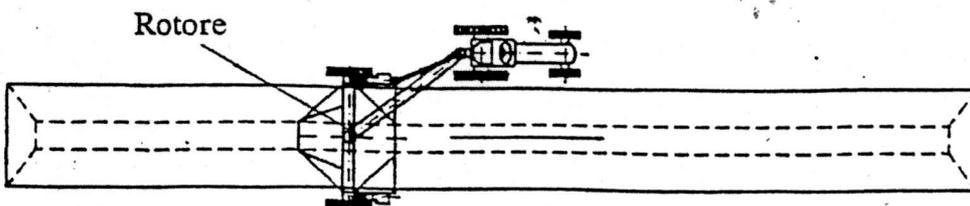
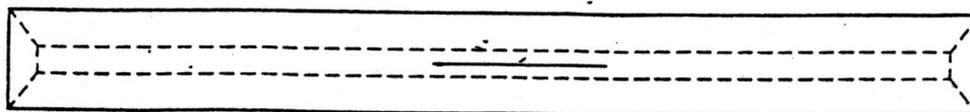
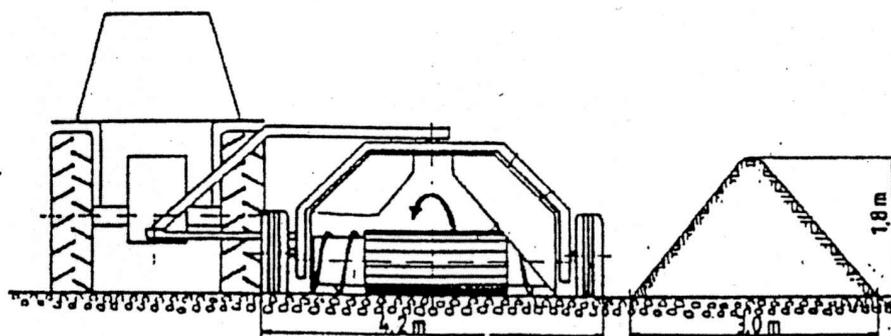
Macchine rivoltatrici per trasferimento



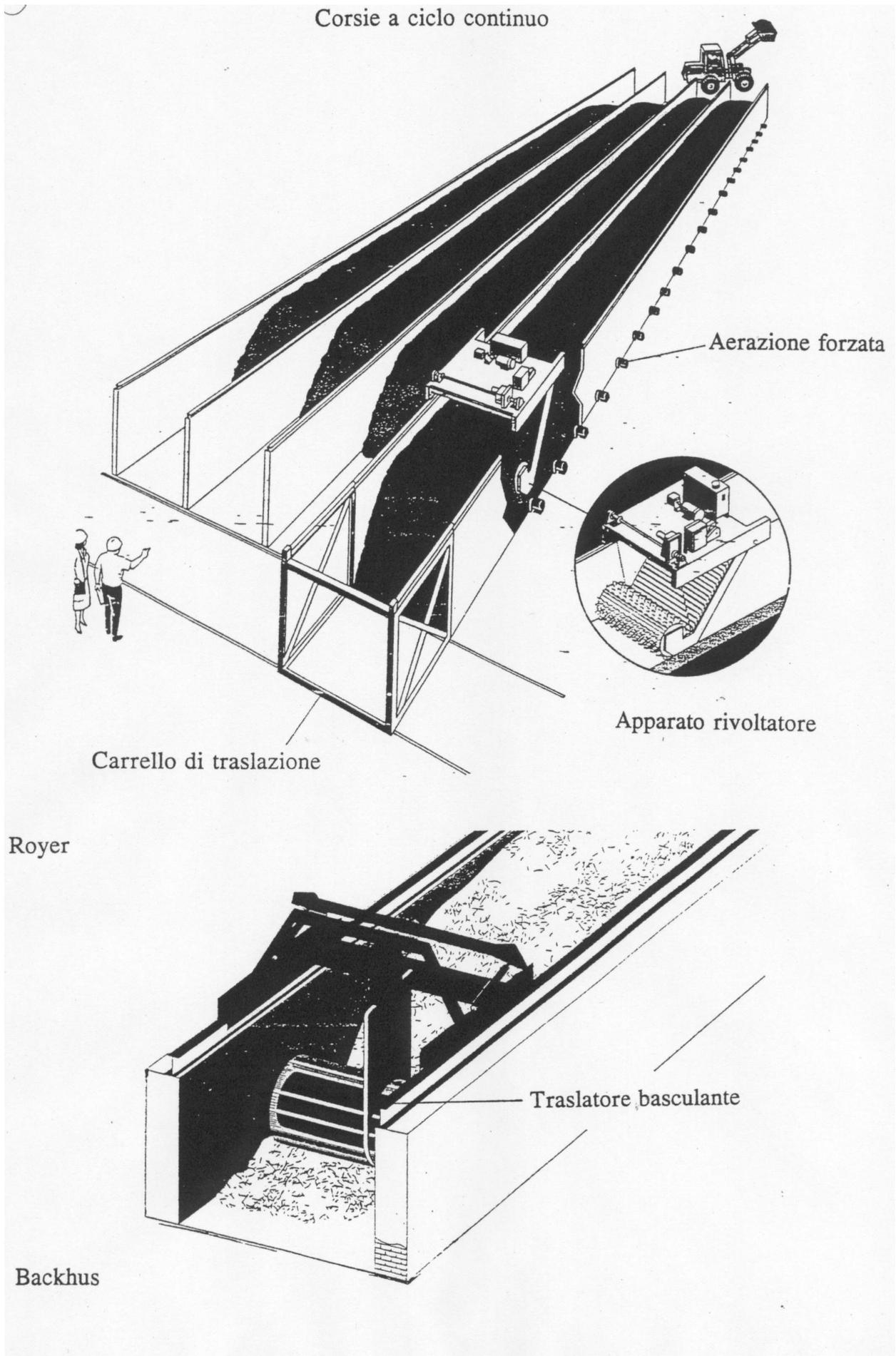
Macchine rivoltatrici per movimentazione



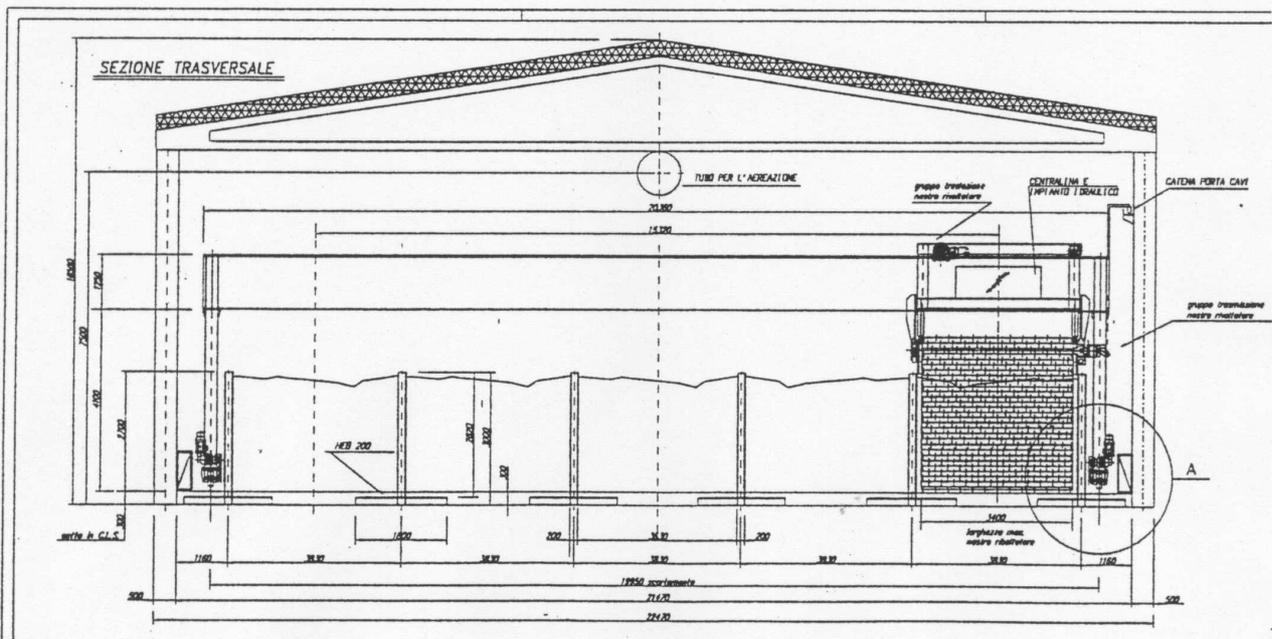
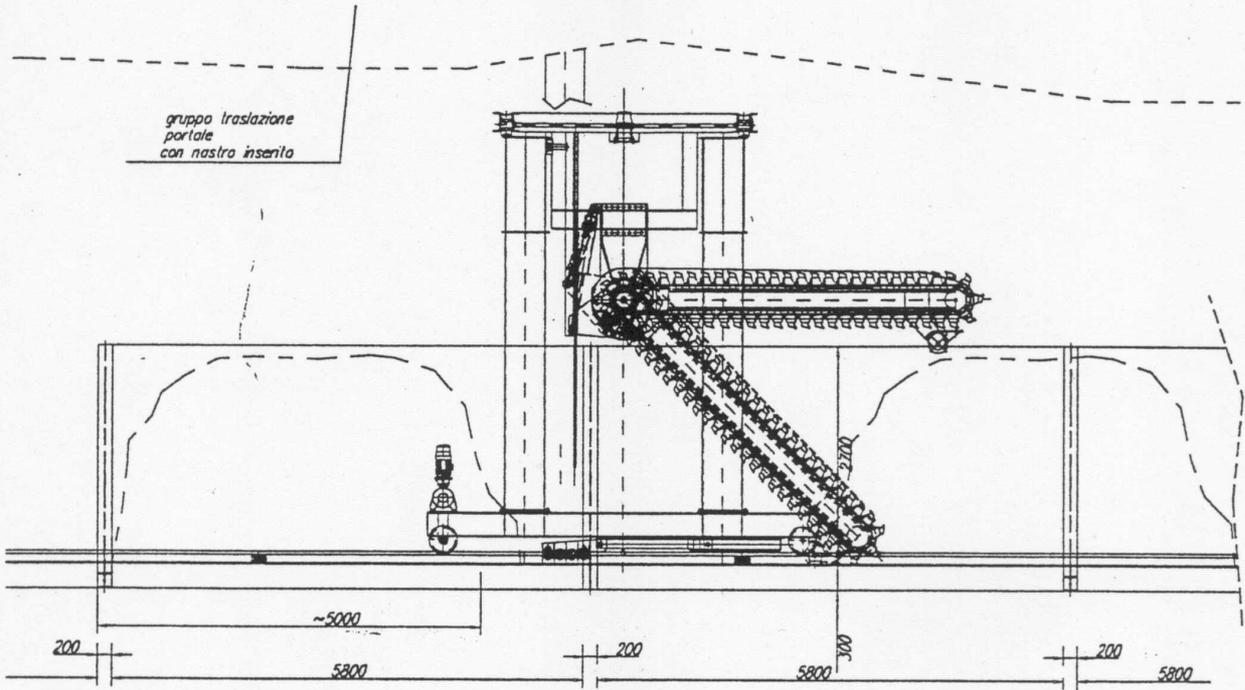
Semovente



Trainata

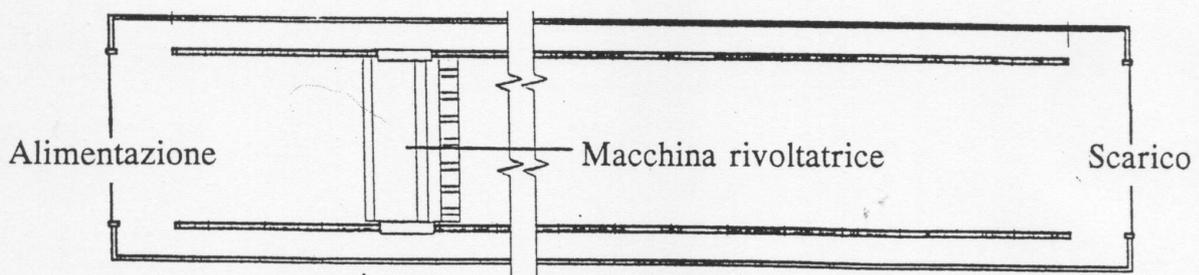
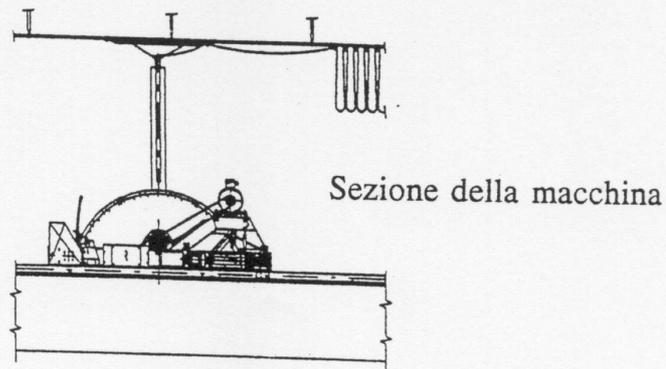
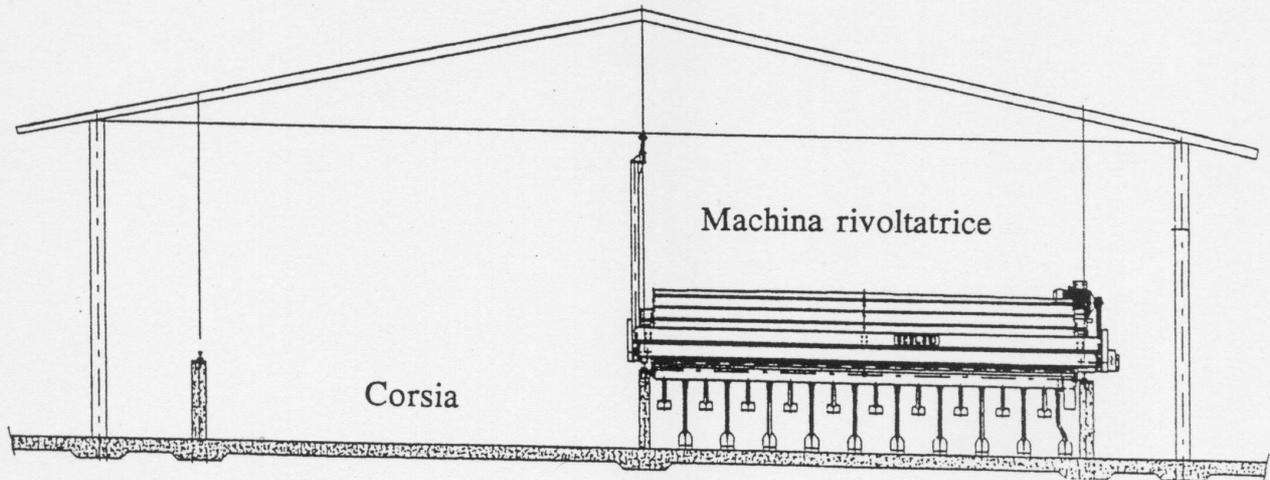


### Corsie a ciclo continuo



De Nicola

Corsie a ciclo continuo \*

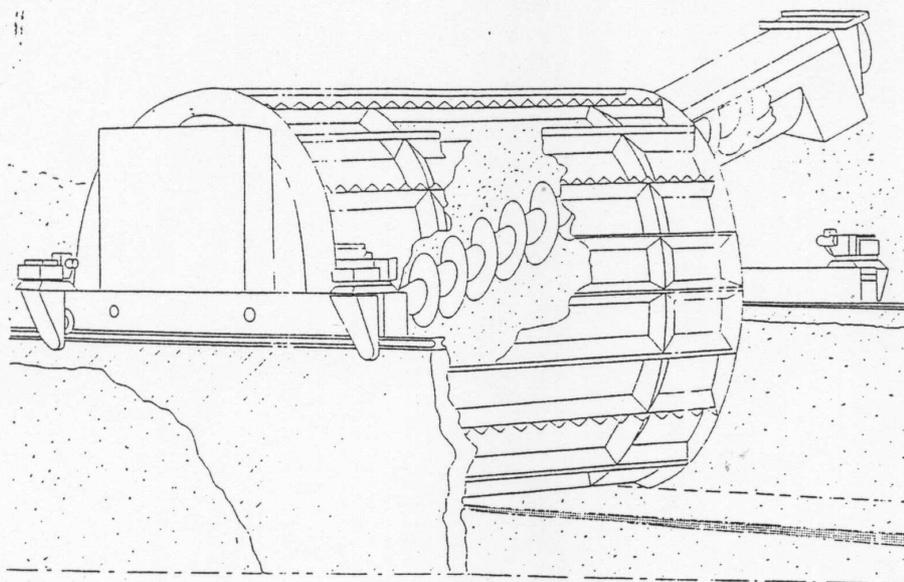
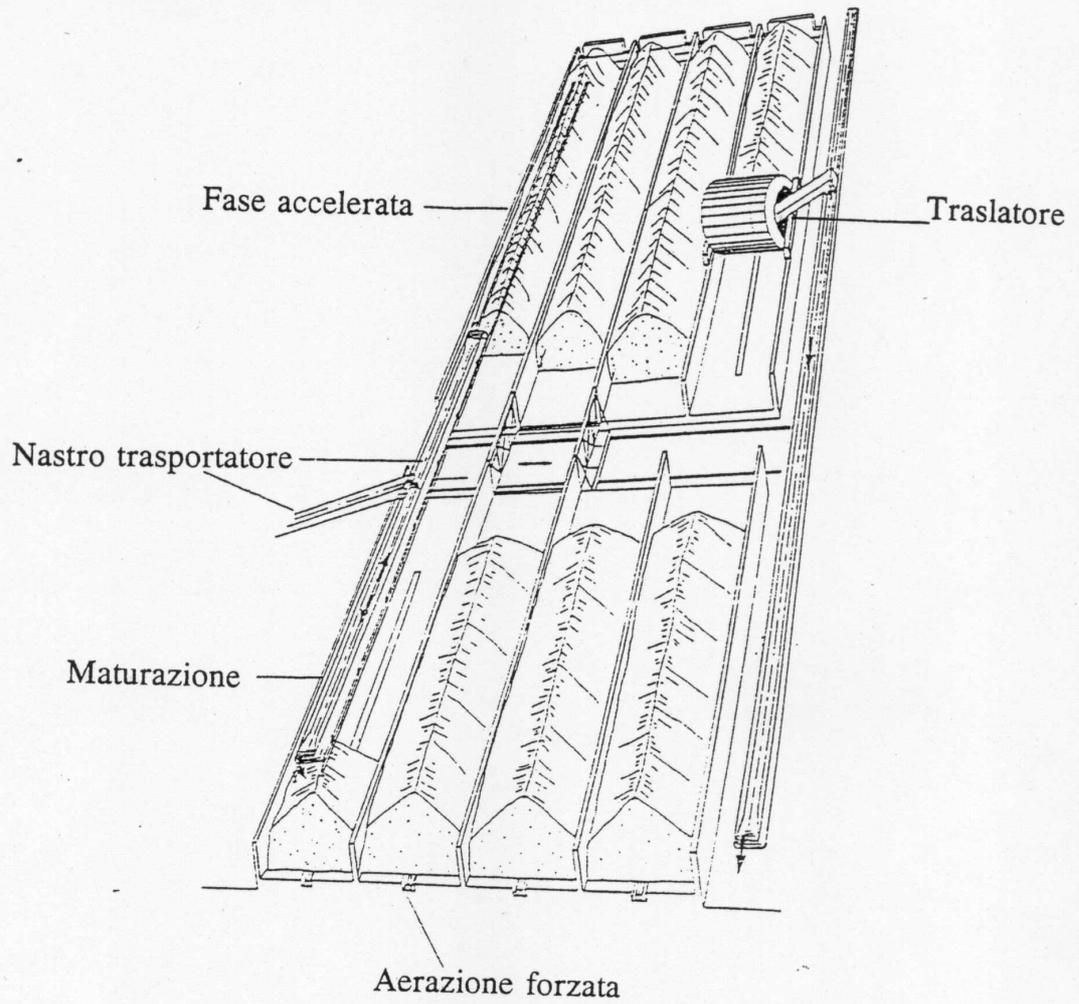


Pianta del reattore

Scolari

\* Come segnalato nel testo tali sistemi possono essere impiegati anche in ciclo discontinuo

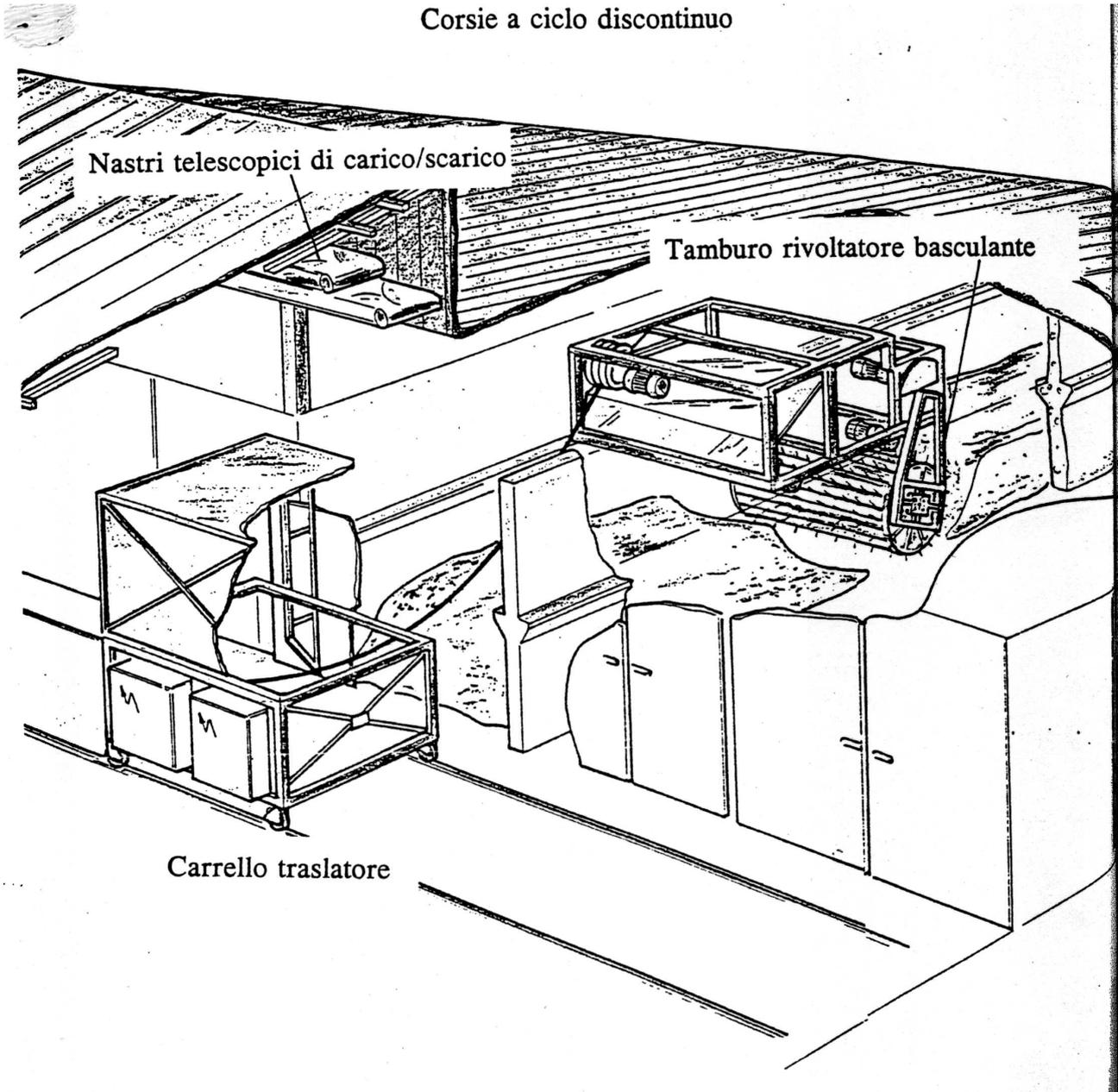
Corsie a ciclo continuo con traslazione laterale



Apparato traslatore

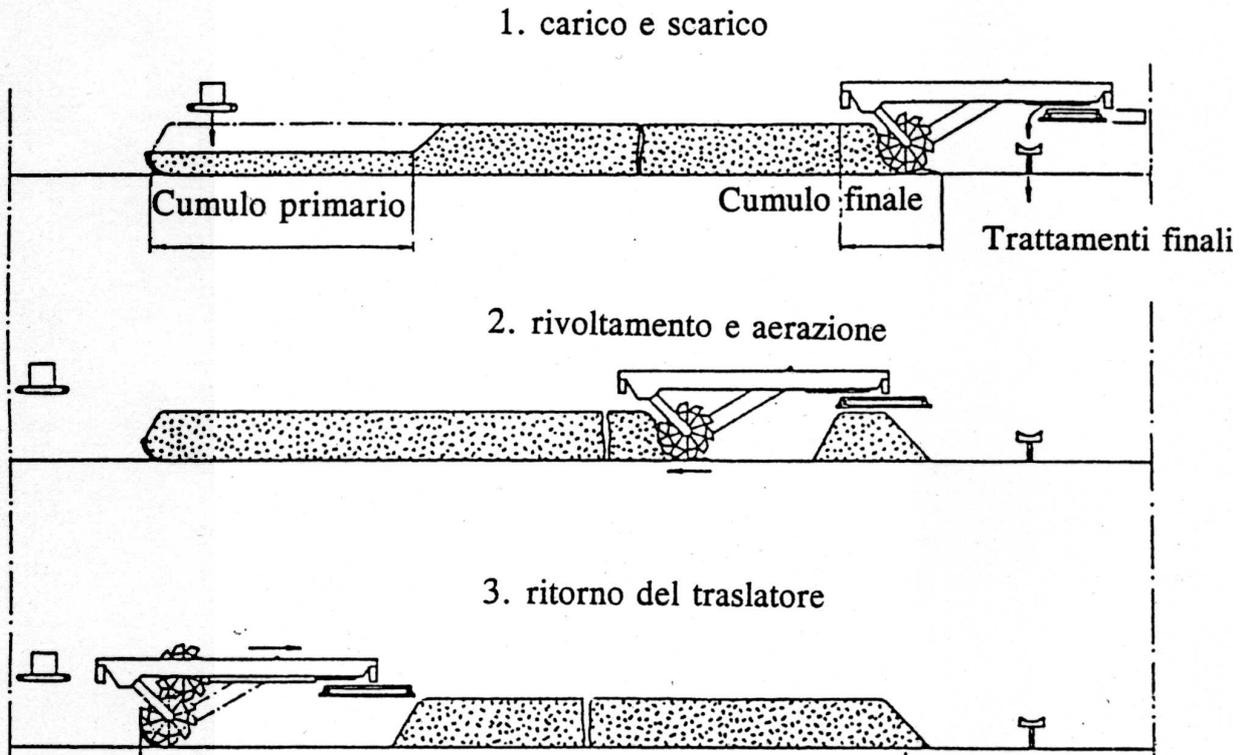
OTV

Corsie a ciclo discontinuo

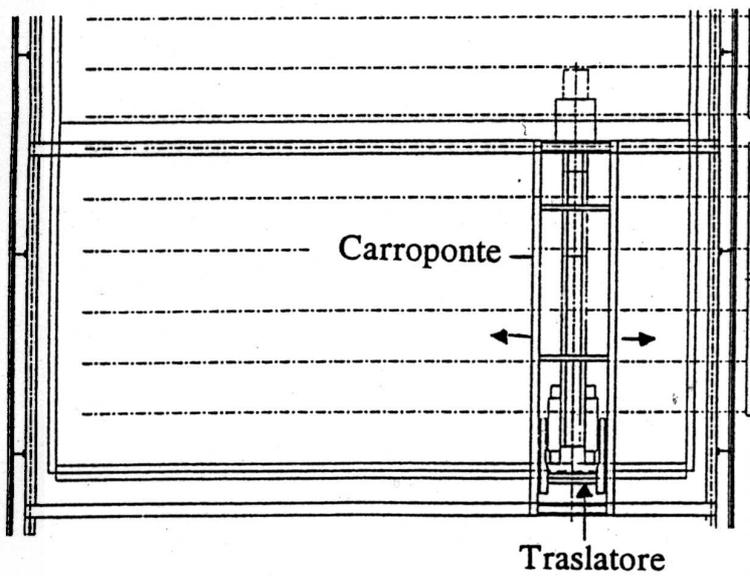


Engeler

Bacini a ciclo continuo  
(ad apparato traslatore)

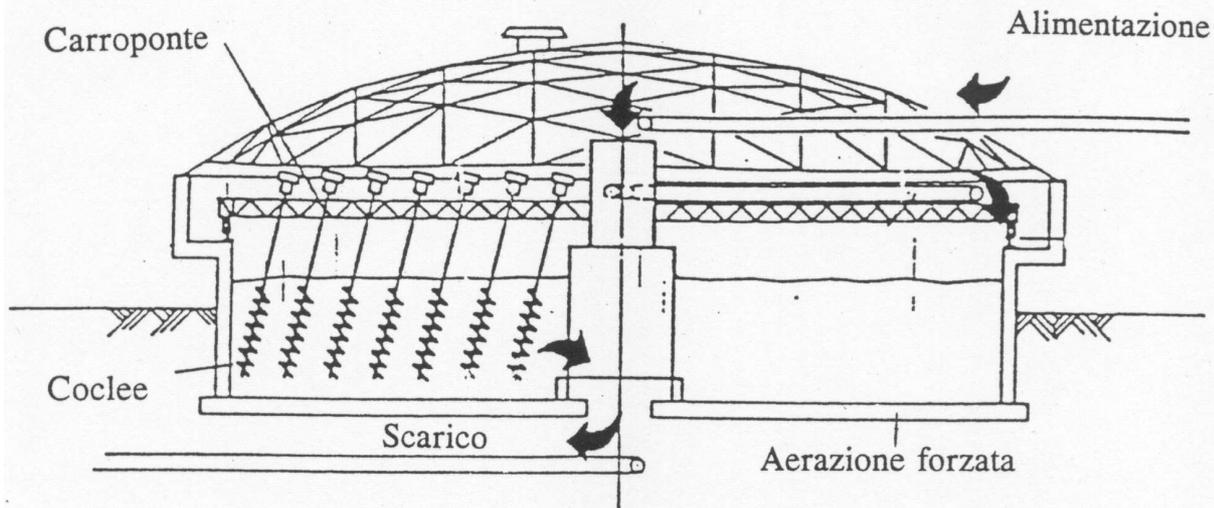


Bacino di bioossidazione



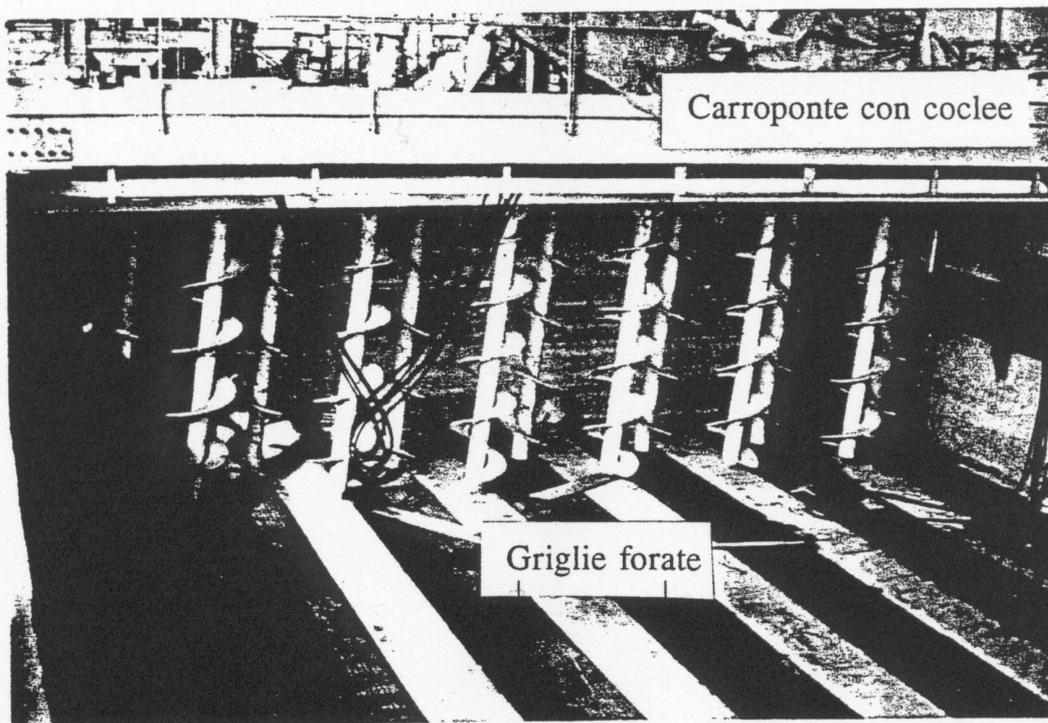
Bühler

Bacini a ciclo continuo  
(a coclee)



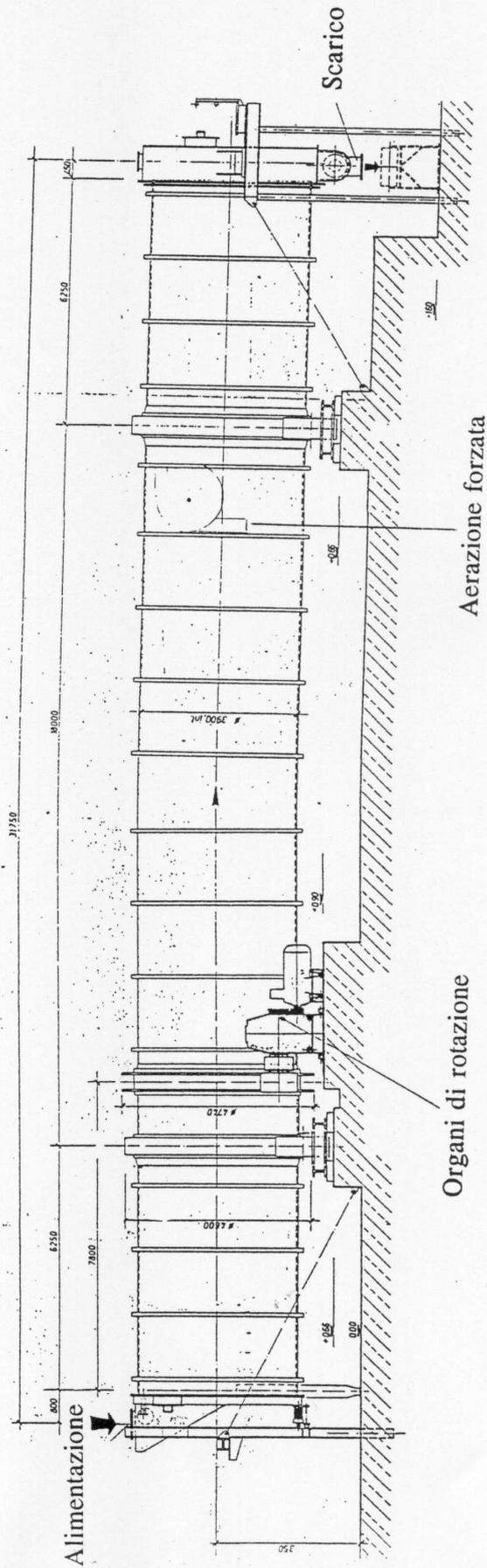
Fairfield

Bacino a ciclo continuo a coclee



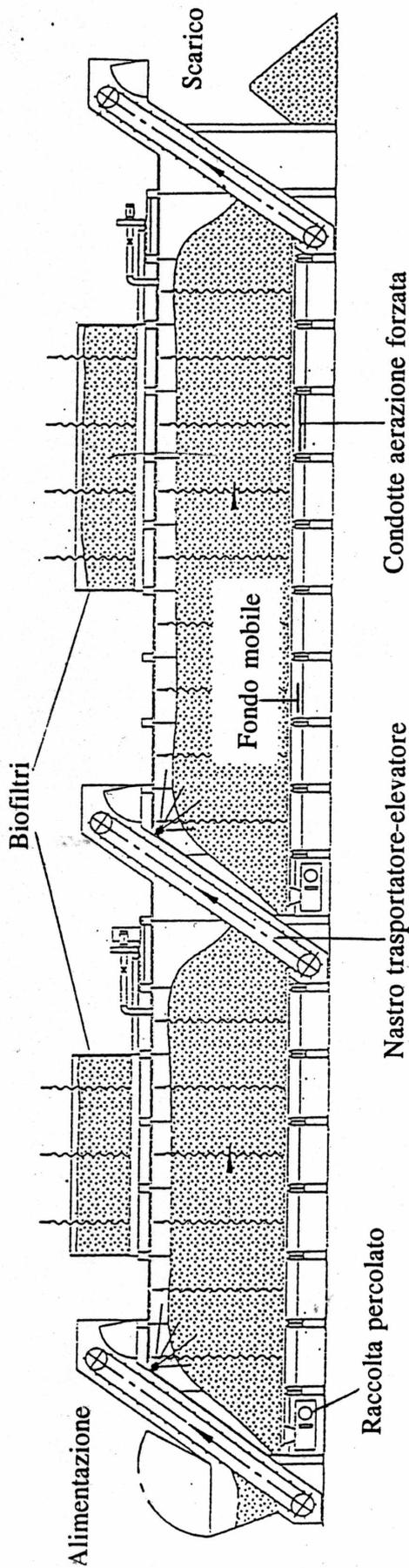
De Bartolomeis

Bioreattore orizzontale cilindrico a ciclo continuo



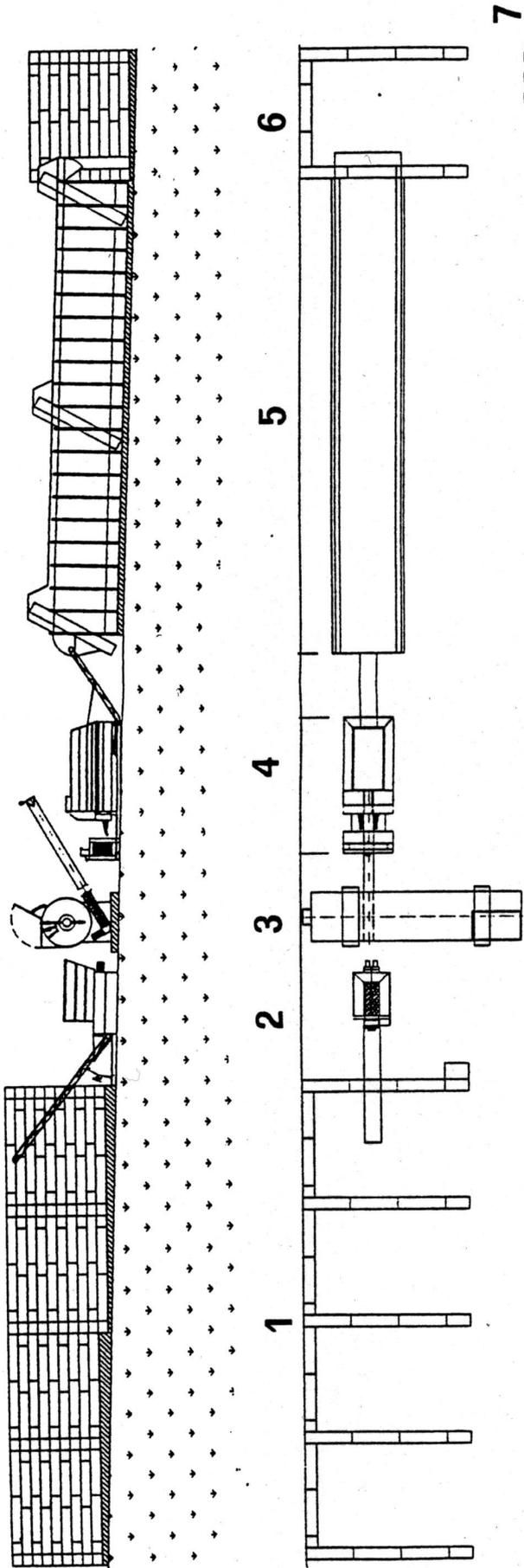
Dano

Bioreattore orizzontale rettangolare a ciclo continuo



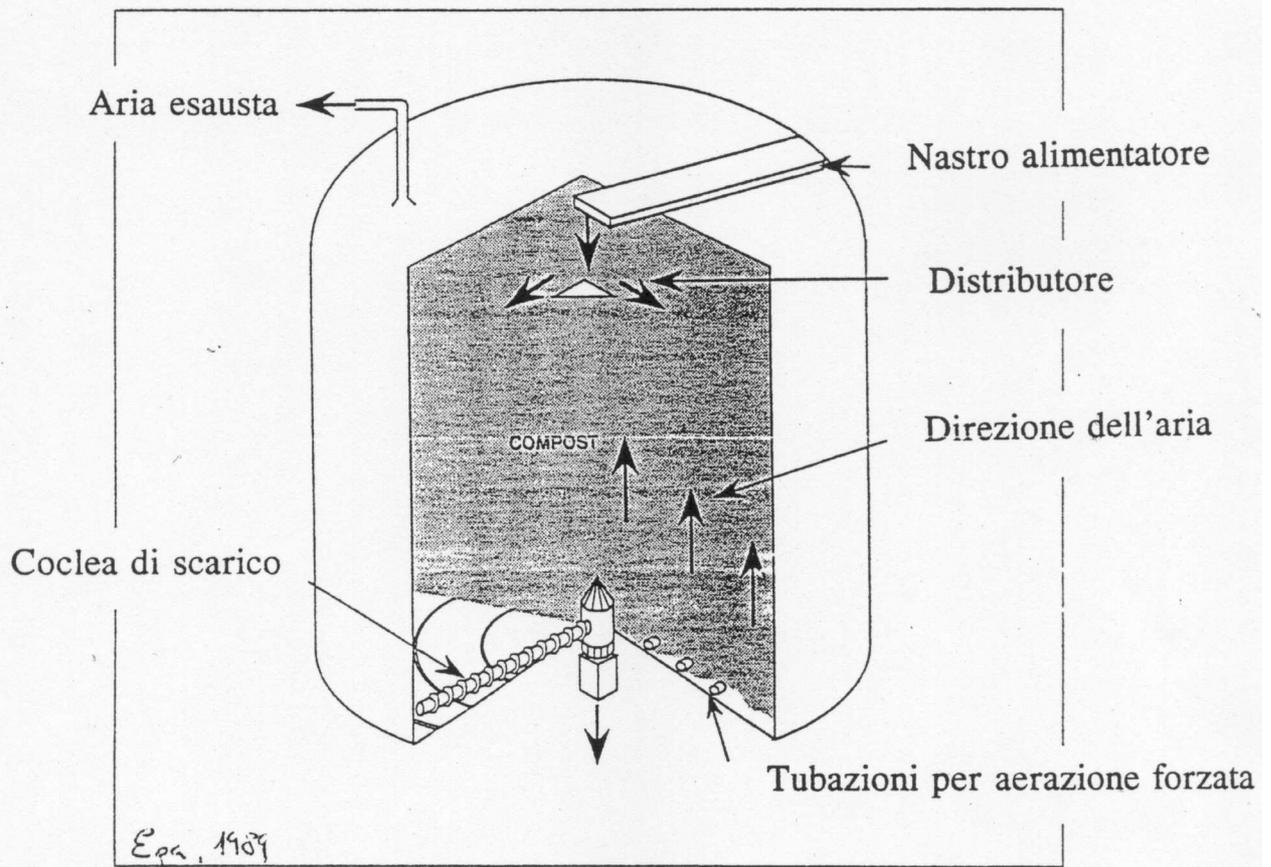
Vogel & Müller

**Bioreattore orizzontale rettangolare a ciclo continuo (Vogel & Müller)**



- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| 1 | Box stoccaggio rifiuti                              | 4 | Miscelazione fanghi-FORSU-vegetali triturati in miscelatore a coclee |
| 2 | Triturazione cartone con mulino a coclee            | 5 | Bioossidazione accelerata  |
| 3 | Miscelazione fanghi-cartone in miscelatore a vomere | 6 | Scarico materiale stabilizzato                                       |
|   |   | 7 | Maturazione in cumulo rivoltato                                      |

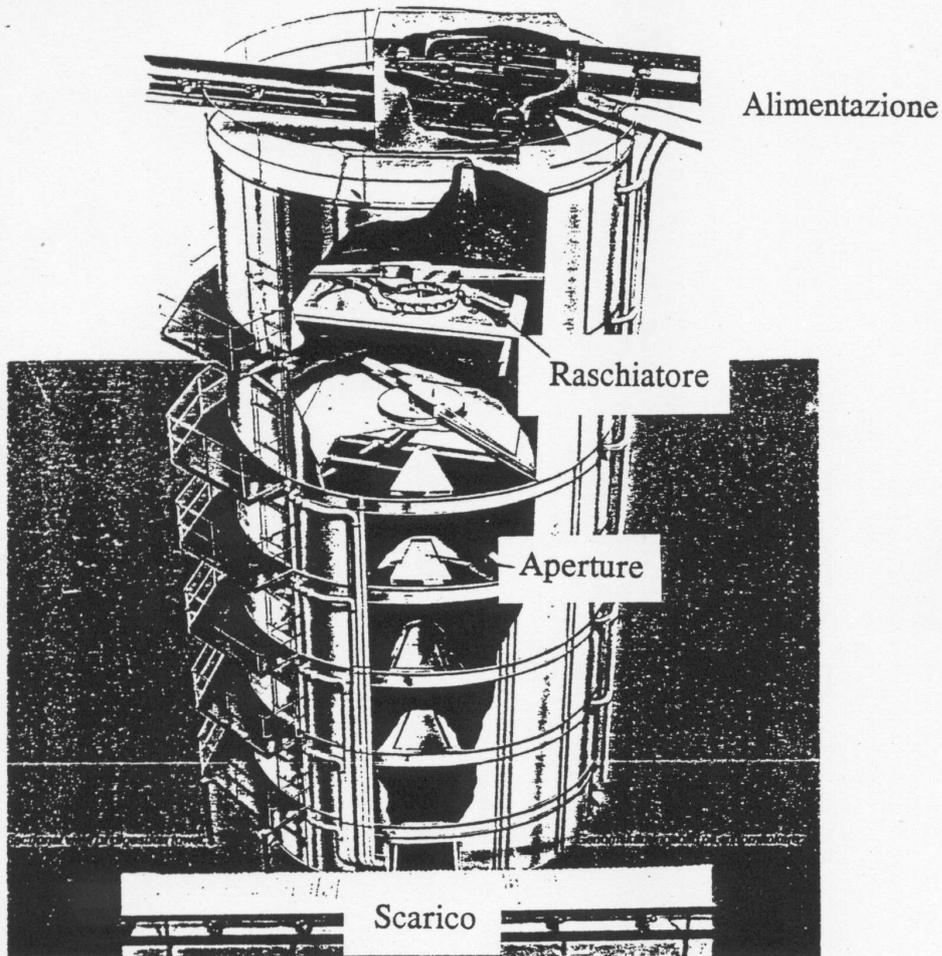
Bioreattore verticale a ciclo continuo



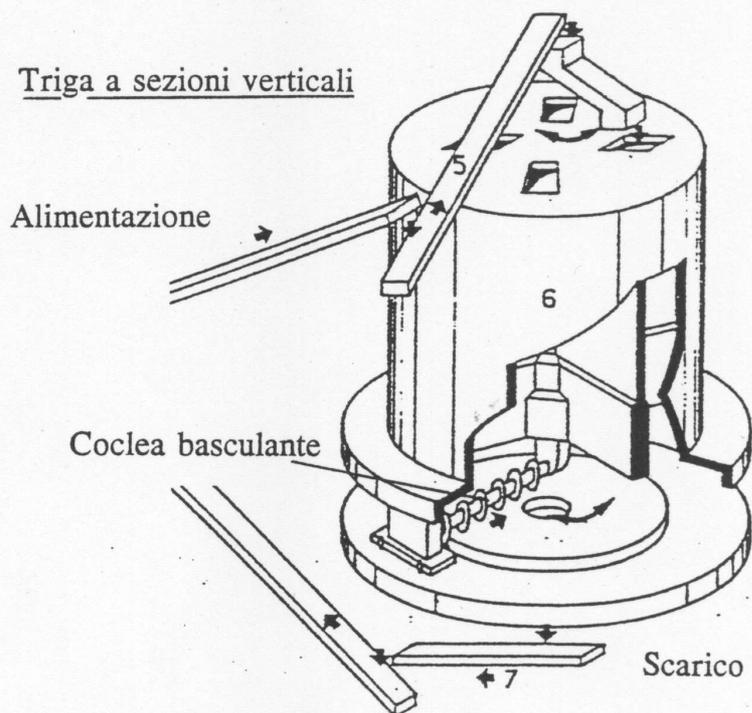
Weiss-Kneer

Bioreattore verticale a ciclo continuo

Peabody multistadio



Triga a sezioni verticali



## 2.4 Rassegna di impianti italiani

Di seguito si riportano le caratteristiche essenziali delle linee di compostaggio adottate in 72 impianti, dislocati sul territorio nazionale, che trattano:

- frazioni organiche selezionate;
- rifiuti urbani indifferenziati;
- rifiuti urbani residui delle raccolte differenziate.

Le informazioni sono state fornite direttamente dagli stessi impianti (*anno 2001*). La panoramica che ne scaturisce, anche se non esaustiva, fornisce un quadro sufficientemente rappresentativo dell'attuale dotazione impiantistica nel settore del compostaggio in Italia.



Regione-provincia	RESIDUI ORGANICI TRATTATI					Quantità tot trattata (t/a)	Quantità tot autorizzata (t/a)	PRETRATTAMENTI				BIOSSIDAZIONE			MATURAZIONE			Trattamenti finali	Presidi ambientali		
	Fanghi	FORSU	Mercatali	Verde	FO da sel mecc			Altra matrice	Ricezione umido	Triturazione	Vagliatura	Miscelazione	Selezione	Processo	Insufflazione	Rivoltamento	Processo			Insufflazione	Rivoltamento
Abruzzo CH	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RU	38.500	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In andana (15 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In corsia (28 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (6-12 mm), deferrizzatore e deplastificatore.	Biofiltro.	
Abruzzo CH	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		10.150	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In andana (21 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In corsia (70 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (6-12 mm).	Biofiltro.	
Abruzzo TE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		17.000	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (30 gg). Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (35 gg). Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (12 mm).	Biofiltro.	
Abruzzo TE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	scarti agroalim.	16.600	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In macrocumulo. Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo. Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (12-20 mm), vaglio 2 (10 mm).	Biofiltro.	
Basilicata MT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		938	938	Aperto.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Il materiale è trattato in cumulo statico aerato coperto con membrana semipermeabile.		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Emilia Romagna BO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		8.791	9.000	Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In biocontainer (3 bioc.; 14 gg).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Durata 35 giorni. Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (8-20 mm), vaglio 2 (8-10) e tavola densimetrica, deferrizzatore e deplastificatore. Chiuso.	Biofiltro
Emilia Romagna BO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Scarti agroind., fanghi agroind.	18.600	25.500	Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In andana (50 gg). Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In andana (40 gg). Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (12 mm), vaglio 2 (6 mm), deferrizzatore. Chiuso.	Biofiltro. Filtro a maniche.
Emilia Romagna FE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		11.179	44.943	Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In andana (28 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In macrocumulo (60 gg). Coperto.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Biofiltro (2).

Regione-provincia	RESIDUI ORGANICI TRATTATI		P R E T R A T T A M E N T I		B I O S S I D A Z I O N E		M A T U R A Z I O N E		T r a t t a m e n t i f i n a l i		Presidi ambientali							
	Fanghi FORSU	Mercedali Verde	FO da sel	Altra matrice	Quantità tot trattata (t/a)	Quantità tot autorizzata (t/a)	Ricezione umido	Triturazione	Miscelazione	Selezione		Processo	Insufflazione	Rivoltamento	Processo	Insufflazione	Rivoltamento	Trattamenti finali
Emilia Romagna MO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RU indiff.	36.038	60.000	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In cilindro orizzontale ruotante. Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In macrocumulo (60 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (15 mm), deferrizzatore.	Biofiltro (2).
Emilia Romagna MO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Scarti agricoli, lettere	53.744	85.000	Aperto.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In macrocumulo. Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (30 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (10 mm), deferrizzatore e deplastificatore. Coperto.	Biofiltro (2).
Emilia Romagna MO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2.488	2.500	Aperto.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In corsia (25 gg). Coperto.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In andana (90 gg). Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio.	Biofiltro (1).
Emilia Romagna FC	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		50.000	90.000	Aperto.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (30 gg). Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (60 gg). Coperto.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (10 mm), vaglio 2 (80 mm), deplastificatore.	Biofiltro (1).
Emilia Romagna RA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	scarti agricoli, detez. Avicole	25.000	30.000	Aperto.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In corsia (40 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (60 gg). Coperto.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (8 mm), vaglio 2 (6 mm), deferrizzatore.	Biofiltro (1).
Emilia Romagna RA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		20.000		Aperto.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In andana (30 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In andana (60 gg). Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (8-10-15 mm). Deplastificatore. Scoperto.	Biofiltro (1).
Emilia Romagna RN	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		14.237	30.000	Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In macrocumulo (21 gg). Scoperto.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In macrocumulo (60 gg). Coperto.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vaglio (15 mm).	Biofiltro (5).
Lazio FR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		60.000	60.000		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dumia 22 gg. Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Dumia 90-120 gg. Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (12 mm), vaglio 2 (8 mm).	Scrubber (3).

Regione-provincia	RESIDUI ORGANICI TRATTATI			Quantità tot trattata (t/a)	Quantità tot autorizzata (t/a)	) PRE TRATTAMENTI		BIOSSIDAZIONE		M A T U R A Z I O N E		Trattamenti finali		Presidi ambientali			
	Fanghi FORSU	Mercuriali	Verde			FO da sel inacc	Altra matrice	Ricezione umido	Triturazione Vagliatura	Miscelazione Selezione	Processo	Insufflazione	Rivoltamento		Processo	Insufflazione	Rivoltamento
Lazio ROMA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.326	1.000	Aperto	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vedi biossidazione.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio.
Lazio ROMA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6.200	10.000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In andana.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (15-40 mm).
Lazio ROMA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	90.323		Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In macrocumulo (28 gg). Chiuso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (10 mm), vaglio 2 (10 mm), deferrizzatore. Chiuso.
Lombardia BG	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9.500	13500	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In andana e in corsia (50 gg). Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (15 mm), vaglio 2 (15-50 mm). Coperto.
Lombardia BG	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	27.400		Aperto.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In andana (20 gg).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio.
Lombardia BG	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	60.500	95.500	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In macrocumulo (42 gg). Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (10 mm), deferrizzatore e deplastificatore. Coperto.
Lombardia BS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.977		Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In macrocumulo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (8 mm), deferrizzatore e deplastificatore.
Lombardia CO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6.000	11.000	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In andana (180 gg).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (15 mm), deferrizzatore.

Regione-provincia	RESIDUI ORGANICI TRATTATI			P R E T R A T T A M E N T I		B I O S S I D A Z I O N E		M A T U R A Z I O N E		Trattamenti finali		Presidi ambientali			
	Fanghi FORSU		Altra matrice	Ricezione umido	Triturazione	Vagliatura	Miscelazione	Selezione	Processo	Insufflazione	Rivoltamento		Processo	Insufflazione	Rivoltamento
	Mercuriali	Verde	FO da sel mecc	Quantità tot trattata (t/a)	Quantità tot autorizzata (t/a)	Chiuso	Chiuso	Chiuso	Durata 15 giorni. Chiuso.	In biocella (8 bioc.; 21 gg).	Cumulati rivoltati su platea scoperta (180 gg). Comprende anche la maturazione.		In macrocumulo (>=45 gg). Chiuso.	In bacino con aerazione forzata per frazione 18/100 mm. Preaffinata con vaglio 34 mm per la produzione di CDR. Durata bioossidazione + manutenzione 60 giorni.	In andana (180 gg). Comprende la fase di maturazione. Scoperto.
Lombardia LO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RU residui da raccolta diff. RSAU	60.000	60.000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Deferrizzatore. Chiuso. Biofiltro (1). Filtro a maniche.
Lombardia LO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		23.500	23.500	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (15 mm), vaglio 2 (80 mm), deferrizzatore e deplastificatore. Chiuso. Biofiltro (2), scrubber (2) e filtro a maniche.
Lombardia MI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		5.000	5.000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vedere bioossidazione.
Lombardia MI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RU	90.000	150.000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (12 mm) e tavola densimetrica. Deferrizzatore. Chiuso. Biofiltro (2). Scrubber (2).
Lombardia MI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RU indiff.	120.000	120.000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Vaglio rotante 8 mm più separatore aeraulico.
Lombardia MI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		4.789	5.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (8-15 mm).
Lombardia MI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		850	1.000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vedi bioossidazione.
Lombardia MI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		1.072	1.000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vedi bioossidazione.

Regione-provincia	RESIDUI ORGANICI TRATTATI		Quantità tot trattata (t/a)	Quantità tot autorizzata (t/a)	I PRETRATTAMENTI		BIOSSIDAZIONE		M A T U R A Z I O N E		Trattamenti finali	Presidi ambientali		
	Fanghi FORSU Mercentali Verde	FO da sel Altra matrice mecc.			Ricezione umido	Triturazione	Vagliatura	Miscelazione	Selezione	Processo			Insufflazione	Rivoltamento
Lombardia MI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	26.000	43.400	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (62 gg).	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (40 mm), vaglio 2 (10 mm), delerizzatore. Chiuso.	Biofiltro (2). Scrubber (2).
Lombardia MI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	60.000	60.000	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Durata 15 giorni. Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Delerizzatore. Chiuso.	Biofiltro. Filtro a maniche.
Lombardia MI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	27.000	9.000	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo. Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (10-15 mm), delerizzatore e deplastificatore.	
Lombardia MI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	40.000	40.000	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Durata 25 giorni. Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (80-100 mm), vaglio 2 (10 mm), delerizzatore e deplastificatore. Chiuso.	Biofiltro.
Lombardia MI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.200	7.000	Aperto.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Non effettua bioossidazione.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Non effettua raffinazione.	
Lombardia MN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2.842	7.000	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In macrocumulo (45 gg).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (10 mm).	
Lombardia PV	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	140.000	160.000	Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Durata 15 giorni. Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Delerizzatore.	Biofiltro (2).
Lombardia PV	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	30.000	80.000	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Durata 15 giorni. Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Delerizzatore. Chiuso.	Biofiltro. Filtro a manica.

Regione-provincia	RESIDUI ORGANICI TRATTATI		Quantità tot trattata (t/a)	Quantità tot autorizzata (t/a)	PRETRATTAMENTI		BIOSSIDAZIONE		MATURAZIONE		Trattamenti finali	Presidi ambientali	
	Fanghi FORSU	Altra matrice neces			Ricezione umido	Trifurazione	Yaglatura	Miscelazione	Processo	Insufflazione			Rivoltamento
Lombardia PV	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6.694	15.000	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vedere biossidaazione.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (20-60 mm).
Lombardia VA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5.385	6.000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (180 gg). Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (15- 25-40 mm).
Lombardia VA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	12.000		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Cumuli su placca scoperta (189-210 gg). Comprende anche la maturazione.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vaglio rotante da 10, 25 e 40 mm.
Lombardia VA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	340	350	Aperto.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In andana (240 gg). Comprende la fase di maturazione. Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (30 mm). Scoperto.
Lombardia VA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	400	400	Aperto.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In andana (180 gg). Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio.
Marche AN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	8.975	15.000	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In andana, in corsia (30 gg). Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio. Scrubber (1).
Marche AP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	33500	82.000	Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (28 gg). Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (20 mm) e tavola densimetrica, deferrizzatore. Biofiltro (1). Filtro a maniche.
Piemonte AL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.1100	12.000	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (60 gg). In bioceclia. Coperto.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (10 mm), depasticatore. Scrubber (1).

Regione-provincia	RESIDUI ORGANICI TRATTATI		PRETRATTAMENTI		BIOSSIDAZIONE		MATURAZIONE		Trattamenti finali		Presidi ambientali			
	Fanghi FORSU Mercantili Verde	FO da sol Altra matrice mecc	Quantità tot trattata (t/a)	Quantità tot autorizzata (t/a)	Ricezione unitario	Triturazione Vagliatura Miscelazione Soluzione	Processo	Insufflazione Rivoltamento	Processo	Insufflazione Rivoltamento		Trattamenti finali		
Piemonte AL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	18.500		Chiuso.	<input type="checkbox"/>	In cilindro orizzontale ruotante (3 gg); l'umido in uscita è miscelato al 50% con verde pretirurato e posto in cumulo.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In corsia (90 gg). Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (10 mm), vaglio 2 (5 mm).	Biofiltro. Impianti di enzimatura NK12 e NK24 Marco Polo.
Piemonte AL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	35.000		Chiuso.	<input type="checkbox"/>	In corsia (n°15; 21 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In macrocumulo (50- 60 gg). Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Vaglio rotante 8 e 4 mm.	
Piemonte AL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	26.000		Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	In cilindro orizzontale ruotante (3 gg).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In andana (21 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione (20 mm) delezzizzatore. Chiuso.	Biofiltro. Impianto di enzimatura RC600 Marco Polo.
Piemonte CN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			Aperto.	<input type="checkbox"/>	In andana (21 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (90 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1, vaglio 2.	Biofiltro.
Piemonte NO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.700	10.000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In macrocumulo (20 gg).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In andana.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (10- 15 mm), deplastificatore.	
Piemonte NO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	21.500	39.000	Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (30 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In macrocumulo (60 gg). Scoperto.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (10 mm), delezzizzatore e deplastificatore.	Biofiltro. Scrubber. Scrubber.
Piemonte TO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	21.600		Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	In corsia (30 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In macrocumulo (60 gg). Coperto.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (40 mm), vaglio 2 (12 mm). Scoperto.	Biofiltro. Scrubber. Irrigazione con enzimi.
Piemonte TO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.855	11.000	Aperto.	<input checked="" type="checkbox"/>	In andana.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In andana. Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (40 mm), vaglio 2 (5 mm).	

Regione-provincia	RESIDUI ORGANICI TRATTATI		Quantità trattata (t/a)	Quantità autorizzata (t/a)	Ricezione umido	PRETRATTAMENTI		BIOSSIDAZIONE		MATURAZIONE		Trattamenti finali ambientali		
	Fanghi FORSU	Mercatelli Verde				FO da sel mecc	Altra matrice	Triturazione	Miscelazione	Selezione	Processo		Insufflazione	Rivolto
Puglia BA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	52.857	192.000	Aperto, miscelazione.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (90 gg). Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (8-10 mm), vaglio 2 (2-4 mm), deferrizzatore.
Sicilia EN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo e in corsia (15 gg). Coperto.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio, deferrizzatore. Coperto.
Sicilia TP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.000	60.000	Aperto.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vedi bioossidazione.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (5 mm), vaglio 2 (1 mm).
Toscana FI	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	16.000	60.000	Chiuso, miscelazione.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In bio-cella (28 gg).	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (15-20 mm).
Toscana FI	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo. Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio. Deferrizzatore.
Toscana MS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.027		Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In biocontenitore (30 gg). Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (10 mm).
Toscana MS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	89.555		Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In andana (30 gg). Coperto.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (10 mm). Erziani e batteri per contenimento odori. Depolimerizzazione.
Toscana PI	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	18.500		Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In cilindro orizzontale ruotante (3 gg).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (20 mm). Scrubber.

Regione-provincia	RESIDUI ORGANICI TRATTATI			Quantità tot trattata (t/a)	Quantità tot autorizzata (t/a)	PRETRATTAMENTI			BIOSSIDAZIONE			MATURAZIONE			Trattamenti finali Presidi ambientali		
	Fanghi FORSU	Mercanti Verde	FO da sel mecc			Ricezione umido	Triturazione	Vagliatura	Miscelazione	Selezione	Processo	Insufflazione	Rivoltamento	Processo		Insufflazione	Rivoltamento
Toscana SI	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.600	9.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In andana (60 gg) Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (60 mm), vaglio 2 (10 mm).		
Trentino Alto Adige BZ	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3.158	6.100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In andana (60 gg) Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (15 mm), Scoperto.		
Trentino Alto Adige BZ	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.988	5.393	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (90 gg) Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Deplastificatore.		
Trentino Alto Adige BZ	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3.283		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Trentino Alto Adige BZ	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	944	6.003	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In andana (60 gg) Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (25 mm).		
Trentino Alto Adige TN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11.795	25.080	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In andana (28 gg) Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (6 mm), deferizzatore e deplastificatore. Coperto.		
Umbria PG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	45.000	46.500	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (30-60 gg) Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio (12 mm), deferizzatore e deplastificatore.		
Umbria PG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		22.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo. Chiuso. Durata totale biossidazione + maturazione 90-120 giorni.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Vaglio vibrante 20 m. Molino a coltelli. Deferizzatore.		

Regione-provincia	RESIDUI ORGANICI TRATTATI				Quantità tot trattata (t/a)	Quantità tot autorizzata (t/a)	PRETRATTAMENTI			BIOSSIDAZIONE		MATURAZIONE		Trattamenti finali Presidi ambientali				
	Fanghi FORSU		Altra matrice				Ricezione umido	Triturazione	Vagliatura	Miscelazione	Selezione	Processo	Insufflazione		Rivoltamento	Processo	Insufflazione	Rivoltamento
	Mercanti	Verde	FO da sel mecc	Altra matrice														
Umbria PG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	27.000	Chiuso	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Chiuso	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In platen. Durata complessiva bioossidazione + maturazione 28 giorni.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vaglio rotante da 10 mm. Classificazione aerodinamica.		
Umbria PG	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3.660	Chiuso	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (30 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (60 gg). Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (8 mm), deplastificatore. Chiuso.		
Veneto PD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	19.964	Chiuso	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo e in corsia (30 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In andana (60 gg). Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (35 mm), vaglio 2 (10), deplastificatore e deplastificatore.		
Veneto PD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	62.050	Chiuso	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In biocella (n° 6; 15 gg).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Prima in biocelle (15 gg), poi in macrocumulo (20 gg) con aerazione forzata e rivoltamento.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Vaglio rotante 15 mm e 30 mm.		
Veneto RO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	43.636	Chiuso	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In corsia (40 gg). Chiuso.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo (90 gg). Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (20 mm), vaglio 2 (14 mm), deferrizzatore.		
Veneto VE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000	Aperto	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In macrocumulo (180 gg). Comprende la fase di maturazione. Scoperto.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Vedere in bioossidazione.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raffinazione: vaglio 1 (20 mm). Scoperto.		
Veneto VR	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	37.000	Chiuso	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In macrocumulo. Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	In macrocumulo. Chiuso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Vaglio vibrante mm 8.		
Veneto VR	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	35.000	Chiuso	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10 corse dinamiche aerate in locale chiuso. Rivoltamento con rivoltatrice automatica.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Su platen con rivoltamento meccanico. Durata bioossidazione + maturazione 90 giorni.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Vaglio rotante 10 mm.		

## 2.5 Valutazioni economiche

### 2.5.1 Premessa

Di seguito si forniscono alcune informazioni in merito ai costi d'investimento per la realizzazione di un impianto di compostaggio per matrici organiche selezionate (quali scarti legnosi, frazioni organiche da raccolta differenziata, fanghi di depurazione). La stima eseguita ha preso in considerazione le seguenti variabili:

- diversa tecnologia per la conduzione della fase cruciale del processo, cioè la fase di bio-ossidazione o fase attiva. In ogni caso tutte le soluzioni impiantistiche previste, compresa quella più semplice a cumuli rivoltati, prevedono la sistemazione in ambiente chiuso in depressione con sistema di aerazione della massa in compostaggio e invio a trattamento di biofiltrazione delle arie esauste;
- potenzialità prestabilite di trattamento, espresse in termini di rifiuti in ingresso all'anno. Non sono considerati gli impianti di tipo semplificato di piccola taglia.

Sono presi in esame sistemi di compostaggio con contenuto tecnologico diversificato, descritti in modo sintetico in *tabella 8*. Più in particolare:

- sistema a cumuli aerati e rivoltati meccanicamente (**CR**);
- sistema a trincea dinamica aerata (**TD**);
- sistema a biocella statica (**BS**);
- sistema a bacino continuo a coclee (**BC**);
- sistema a reattore orizzontale in muratura a ciclo continuo (**RO**)

Sulla base di quanto sinora illustrato, si può constatare che si tratta sia di tecnologie consolidate presenti in diversi impianti diffusi sul territorio nazionale (CR e TD), sia di tecnologie emergenti quali le restanti. In particolare, si precisa che per la soluzione a "biocelle statiche" si è preso come riferimento uno dei modelli a maggiore complessità tecnologica, in quanto è stato uno dei primi a comparire sul mercato e per il quale maggiori sono le informazioni disponibili. Al momento diverse sono le ditte che propongono tale tecnologia anche in versione a minore input tecnologico.

Si precisa, infine, che i tempi di ritenzione indicati per la fase di bio-ossidazione sono quelli che le ditte proponenti i diversi sistemi di compostaggio indicano come ottimale per ottenere i risultati desiderati.

Per ciascuna tecnologia sono state prese in esame le potenzialità ritenute più congruenti, come indicato in *tabella 9*.

Tabella 8 – Breve descrizione dei sistemi di compostaggio esaminati

<b>CR: cumuli aerati e rivoltati meccanicamente</b>	Cumuli (n. 2) a sezione trapezoidale con base di almeno 10 m e altezza di 2,2 m. Rivoltamento con macchina traslatrice a rotori ad asse verticale, azionata da trattrice. Tempo di ritenzione: 30 giorni
<b>TD: trincea dinamica</b>	Corsie affiancate (5 corsie + 1 rivoltatrice per 20.000 t/anno; 10 corsie + 2 rivoltatrici per 40.000 t/anno) di larghezza pari a 3,75 m e altezza utile di 2,2 m. Rivoltamenti: 11/ciclo. Tempo di ritenzione: 28 giorni.
<b>BS: biocelle statiche multiple</b>	Biocella in muratura a tenuta stagna con 2 scambiatori di calore per ricircolo aria esausta. 10.000 t/anno: 3 biocelle con volume utile di circa 170 m <sup>3</sup> ciascuna 20.000 e 40.000 t/anno: rispettivamente 3 e 6 biocelle con volume utile di circa 300 m <sup>3</sup> ciascuna. Tempo di ritenzione: 10 giorni.
<b>BC: bacino a ciclo continuo a coclee</b>	Bacino rettangolare a ciclo continuo (volume utile: 1500 e 3000 m <sup>3</sup> , rispettivamente per 20.000 e 40.000 t/anno). Sistema di movimentazione e avanzamento: coclee inclinate supportate da carroponete. Tempo di ritenzione: 28 giorni.
<b>RO: reattore orizzontale a ciclo continuo</b>	Reattore/edificio orizzontale a ciclo continuo (volume utile: 6000 m <sup>3</sup> per 40.000 t/anno). Trito-miscelazione in testa. Sistema di movimentazione e avanzamento: due benne a polipo ciascuna supportata da carroponete. Unica linea di aerazione in aspirazione. Tempo di ritenzione: 20 giorni

Tabella 9 - Tecnologie considerate e relative potenzialità espresse in tonnellate all'anno in ingresso

	10.000 t/anno	20.000 t/anno	40.000 t/anno
Cumuli aerati e rivoltati mecc. (CR)	sì	sì	no
Trincea dinamica aerata (TD)	no	sì	sì
Biocella statica (BS)	sì	sì	sì
Bacino continuo a coclee inclinate (BC)	no	sì	sì
Reattore orizzontale a ciclo continuo (RO)	no	no	sì

### 2.5.2 Costi di investimento: ipotesi di base

Allo scopo di porre in evidenza le eventuali differenze di costo indotte dall'adozione delle diverse tecnologie per la fase attiva, sono stati adottati i criteri di dimensionamento, con relativa stima dei costi di investimento, di seguito sintetizzati:

- adozione, per la fase di bio-ossidazione, di *criteri progettuali propri di ciascuna delle tecnologie considerate (tabella 8)*. Si richiama l'attenzione, in particolare, sui diversi tempi di ritenzione, variabili da 10 a 30 giorni;

- adozione di criteri univoci di dimensionamento (*tabella 10*) delle restanti zone funzionali dell'impianto di compostaggio per tutte le tecnologie e le potenzialità considerate;
- adozione di criteri univoci di dimensionamento del sistema di trattamento delle arie esauste mediante biofiltrazione (*tabella 11*);
- dotazione di un parco macchine dedicato (miscelatore, trituratore e vaglio, pale gommate per la movimentazione dei materiali) variabile in funzione della potenzialità di trattamento, ma non della tecnologia (ad eccezione di ciò che riguarda la preparazione della miscela di partenza e della fase di bio-ossidazione). Il costo del parco macchine è compreso nei costi di investimento totale, ma non in quelli di stretta pertinenza della fase di bio-ossidazione. Fa eccezione il miscelatore che risulta talvolta non necessario e, quindi, non previsto, oppure compreso nella "unità di bio-ossidazione" e di conseguenza compreso nel relativo costo.

**Tabella 10 – Descrizione delle zone funzionali dell'impianto e tempi di stoccaggio**

	CR	TD	BS	BC	RO
<b>A. Ricezione matrici umide e miscelazione</b>	- al chiuso con aspirazione aria- - tempo di ritenzione: <b>3 giorni</b>				
<b>B. Fase bio-ossidazione</b>	per la descrizione vedi tabella 6				
<b>- tempo di ritenzione (giorni):</b>	30	28	10	28	20
<b>C. Maturazione</b>	- sistemazione in cumulo su platea coperta con periodiche movimentazioni - tempo di ritenzione: <b>60 giorni</b>				
<b>D. Stoccaggio scarti ligneocellulosici tritati</b>	- platea scoperta, compresa zona triturazione - tempo di ritenzione: <b>180 giorni</b>				
<b>E. Stoccaggio compost finito</b>	- platea coperta, compresa zona vagliatura - tempo di ritenzione: <b>120 giorni</b>				
<b>F. SUPERFICIE TOTALE (*)</b>	$(A+B+C+D+E) + 50\%$				

(\*) La superficie totale occupata è stata stimata come somma delle aree occupate dalle varie zone funzionali compreso il biofiltro, maggiorata del 50% per tenere conto della viabilità interna e delle zone mancanti (vedi esclusioni).

**Tabella 11 - Criteri di dimensionamento del sistema di trattamento delle arie esauste mediante biofiltro**

<b>Zone interessate</b>	Ricezione matrici umide e fase bio-ossidazione
<b>Ricambi aria</b>	3,5 ricambi/h
<b>Carico specifico</b>	100 m <sup>3</sup> /h*m <sup>2</sup>
<b>Altezza biofiltro</b>	1,2 m
<b>Ventilatori in aspirazione</b>	2 con portata pari al 50% del totale

Per correttezza di informazione, data la molteplicità delle voci considerate, di seguito (*tabella 12*) si elencano i prezzi unitari adottati per le stime eseguite. Significative, infatti, possono essere le variazioni di costo dovute, ad esempio, alla diversa localizzazione degli impianti sul territorio nazionale.

**Tabella 12 - Prezzi unitari adottati per la stima dei costi di investimento**

<b>Descrizione</b>	<b>Unità di misura</b>	<b>Costo Unitario</b>
<i>Opere civili</i>		
Sistemazione area, rete fognaria, aree verdi	L/m <sup>2</sup>	75.000
Platea scoperta	L/m <sup>2</sup>	85.000
Platea coperta, non tamponata	L/m <sup>2</sup>	250.000
Capannone tamponato (canalette, linea aspirazione)	L/m <sup>2</sup>	450.000
<i>Opere elettromeccaniche</i>		
Biofiltro	L/m <sup>2</sup>	600.000
Impianto elettrico (quadro sinottico, ecc.)	L/kW	1 milione
Ventilatori	L/cad.	variabile
Pala gommata (10.000-20.000 t/anno)	L/cad.	200 milioni
Pala gommata (40.000 t/anno)	L/cad.	250 milioni
Miscelatore (10.000-20.000 t/anno) <sup>(1)</sup>	L/cad.	250 milioni
Miscelatore (40.000 t/anno) <sup>(1)</sup>	L/cad.	350 milioni
Trattore per rivoltatrice (120 kW)	L/cad.	120 milioni
Rivoltatrice per cumuli tavolari (CR)	L/cad.	150 milioni
Rivoltatrice per trincea (TD)	L/cad.	500 milioni
Trituratore (10.000 t/anno)	L/cad.	280 milioni
Trituratore (20.000-40.000 t/anno)	L/cad.	350 milioni
Vaglio (10.000-20.000 t/anno)	L/cad.	220 milioni
Vaglio (40.000 t/anno)	L/cad.	340 milioni

(1): l'acquisto del miscelatore non è previsto per l'impianto a cumuli rivoltati da 10.000 t/anno (da un punto di vista tecnico non è sempre strettamente necessario e, in caso contrario, è spesso preferito il ricorso al servizio di terzi) e per quello a bacino continuo a coclee inclinate (il sistema di miscelazione e avanzamento della massa non ne richiede l'uso). Il costo di acquisto del miscelatore è compreso negli investimenti per la fase di bio-ossidazione solamente per il sistema RO.

Si precisa infine che **dai costi di investimento sono escluse le seguenti voci:**

- acquisto del terreno su cui insiste l'impianto;
- servizi di supporto: uffici, spogliatoi, pesa, officina e ricovero mezzi;
- eventuale impianto di depurazione per trattamento effluenti liquidi;
- mezzi di trasporto interno (motrici, scarrabili, ecc.).

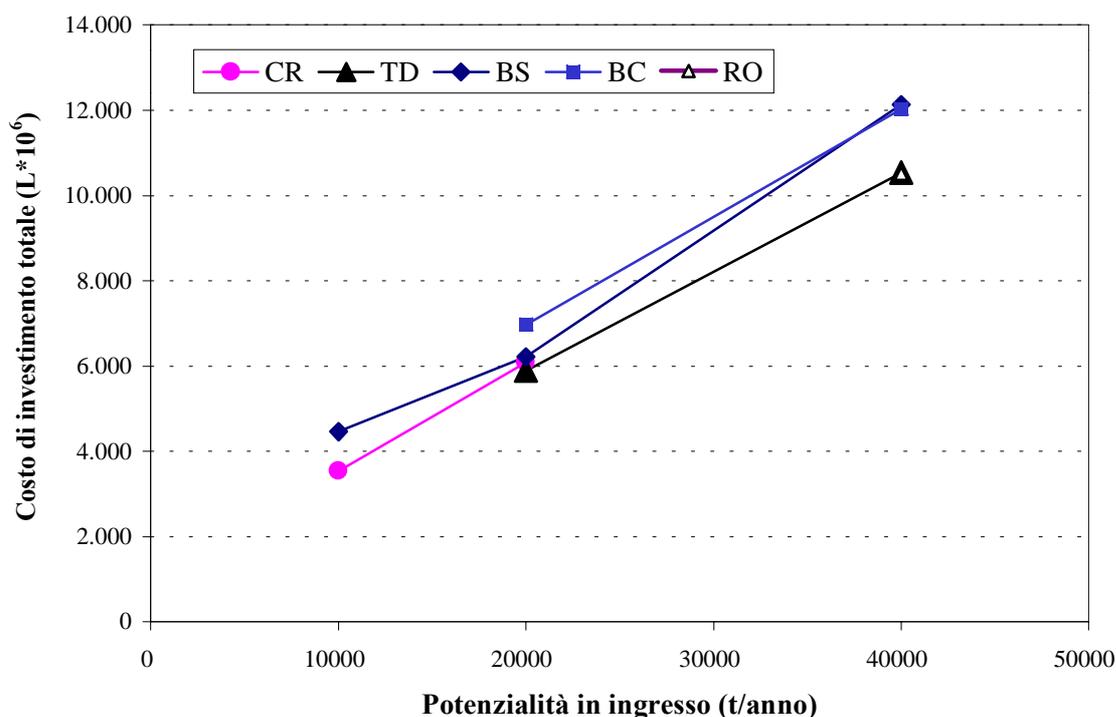
In sintesi, si può affermare che i costi di seguito forniti possono essere considerati **i costi totali di investimento minimo**. Ad essi, infatti, vanno aggiunte tutte le voci sopra citate, volutamente omesse in quanto estremamente variabili e strettamente legate al contesto di riferimento (localizzazione) e non al "sistema di compostaggio".

### 2.5.3 Costi di investimento: risultati

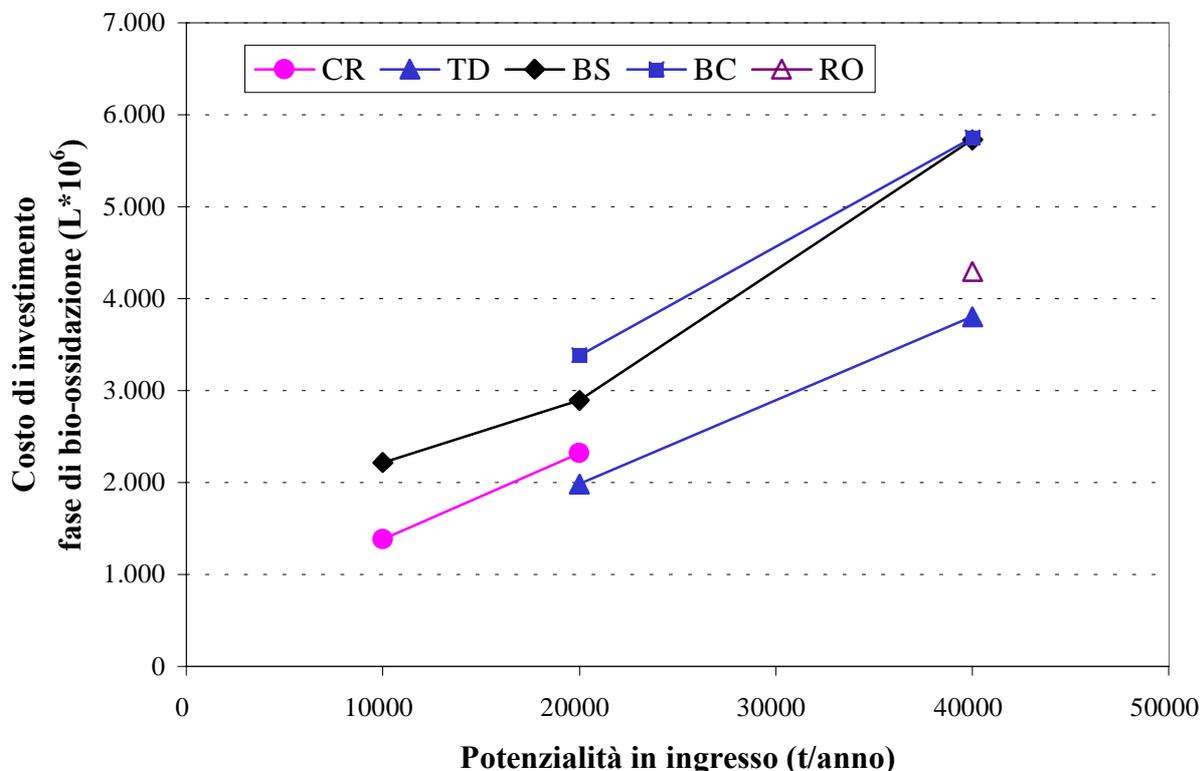
Prima di entrare nel dettaglio, si precisa che le valutazioni di seguito riportate sono relative ai soli costi di investimento e non entrano nel merito della funzionalità ed affidabilità delle tecnologie prese in esame.

Il costo di investimento totale risulta direttamente proporzionale alla potenzialità dell'impianto (*figura 18*) e varia dai 4-5 miliardi per la taglia minore (10.000 t/a) ai 12 miliardi circa per quello di taglia maggiore (40.000 t/a). Se si considerano separatamente i costi di investimento relativi alla fase di bio-ossidazione (*figura 19*), si nota come essi rappresentino mediamente non più del 40-50% del costo totale.

**Figura 18 – Costi di investimento totale con tecnologie di compostaggio diverse in funzione della potenzialità di trattamento**



**Figura 19 – Costi di investimento per la fase di bio-ossidazione (compreso il trattamento arie esauste, escluse le attrezzature non strettamente pertinenti) con tecnologie di compostaggio diverse in funzione della potenzialità di trattamento**



Passando ad esaminare separatamente i costi di investimento in funzione della potenzialità considerata e la ripartizione tra opere civili e opere elettromeccaniche che caratterizza ciascuna tecnologia (*figure 20, 21 e 22*), si evidenzia quanto segue:

- la tecnologia a cumuli rivoltati è quella che comporta i maggiori investimenti in opere civili, poiché maggiore è lo spazio occupato a parità di quantità trattata (*figure 20 e 21*). Resta comunque la soluzione più economica per impianti di taglia minore, anche in considerazione del fatto che l'impianto di aerazione dei cumuli non sempre è presente e l'acquisto di attrezzature quali miscelatore, trituratore e vaglio (previsto nella presente stima) è sostituito in toto o in parte con il ricorso al terzismo;
- l'impianto per il trattamento di 20.000 t/anno (*figura 21*) comporta un investimento compreso tra i 6 e i 7 miliardi con differenze minime tra le diverse tecnologie, ad eccezione per il bacino a coclee, più costoso. Si osservi la diversa ripartizione dei costi tra opere civili e opere elettromeccaniche;
- l'investimento complessivo sale a 10-12 miliardi di lire per una capacità di trattamento di 40.000 t/anno (*figura 22*). I sistemi a biocelle (BS) e a bacino a coclee (BC) risultano più costosi rispetto all'impianto a trincea dinamica (TD) e al reattore orizzontale in muratura (RO).

Figura 20 – Costo di investimento totale per impianti da 10.000 t/anno

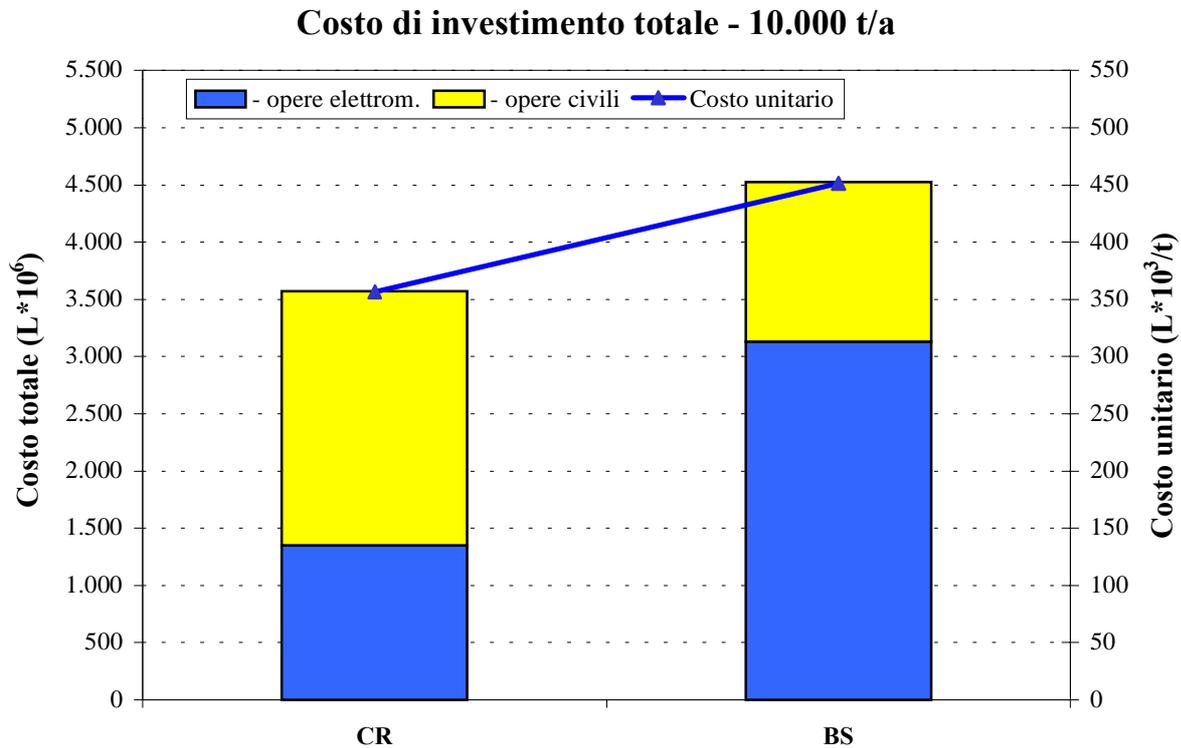


Figura 21 – Costo di investimento totale per impianti da 20.000 t/anno

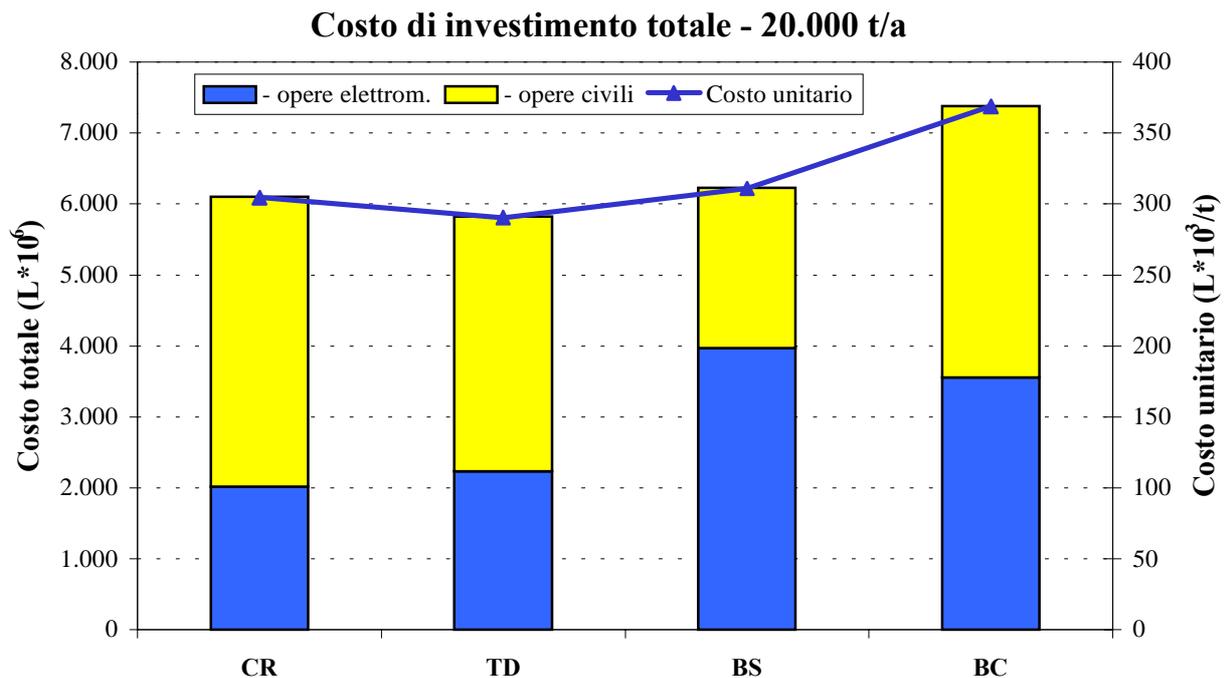
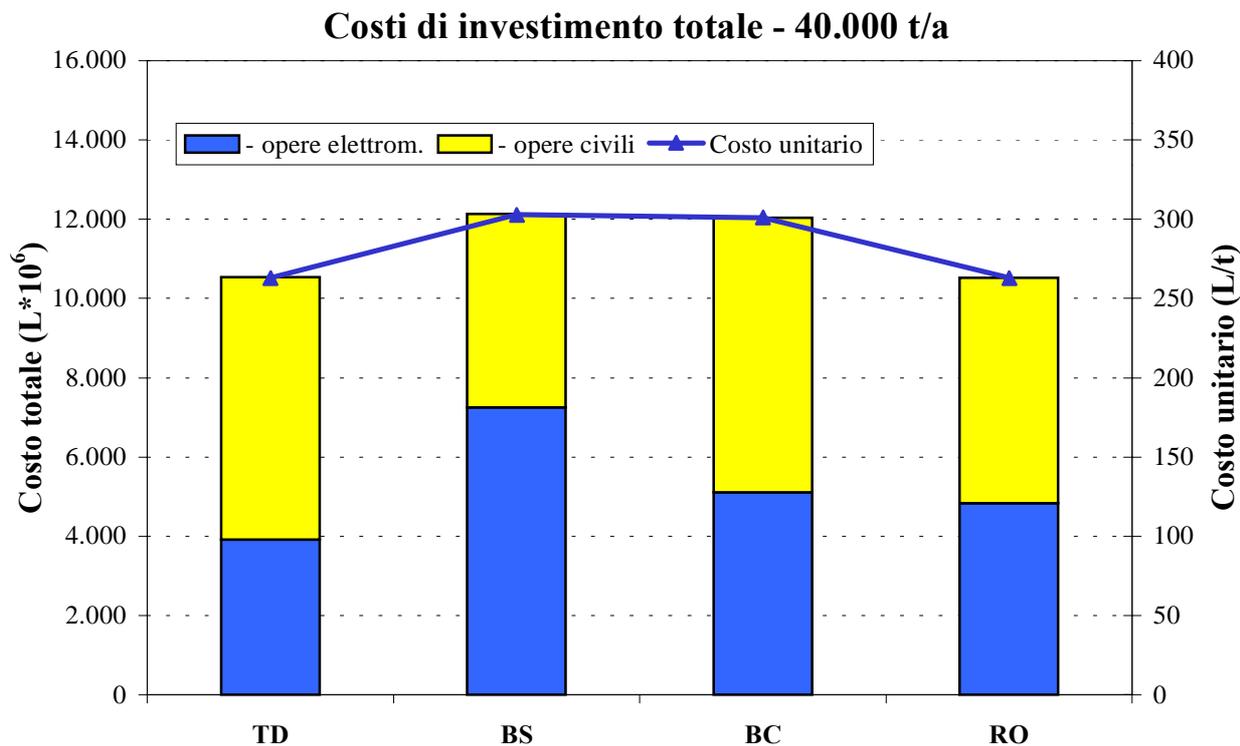


Figura 22 – Costo di investimento totale per impianti da 40.000 t/anno

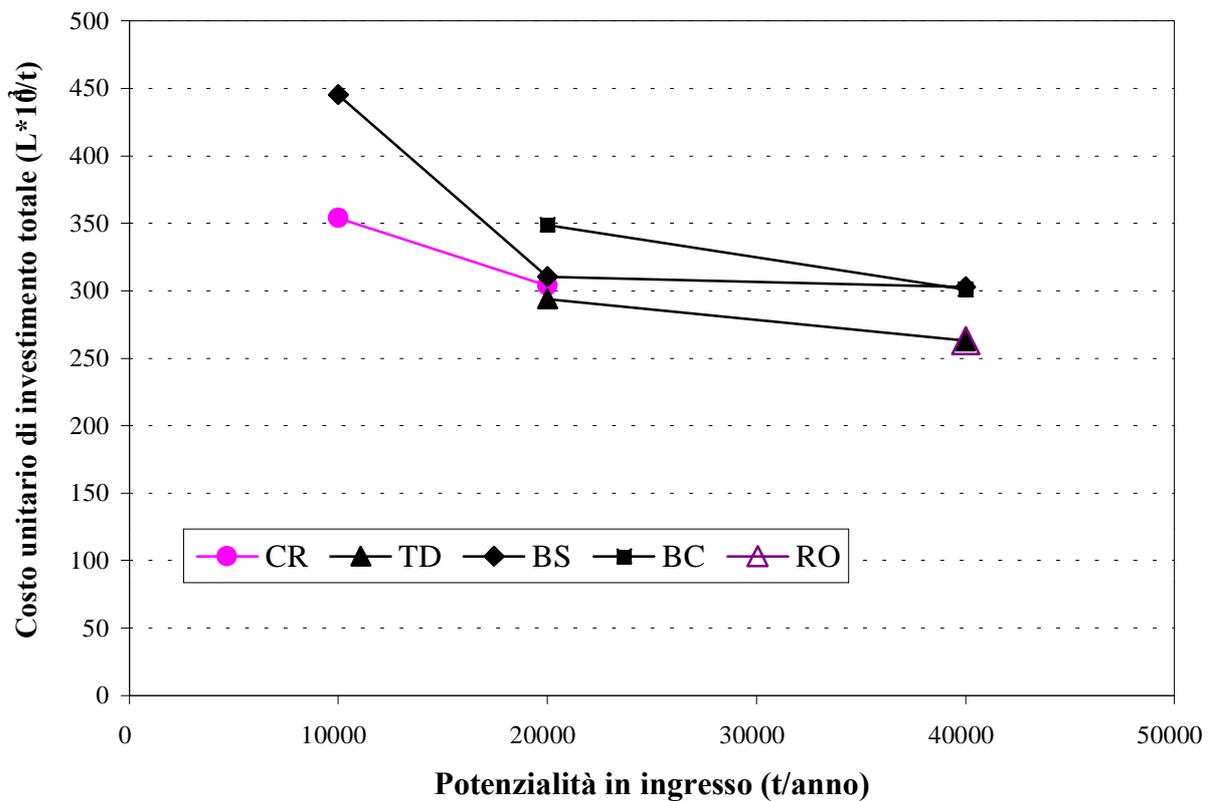


Il costo unitario di investimento totale (figura 23) diminuisce all'aumentare della potenzialità di trattamento, in modo marcato passando da 10.000 t/anno a 20.000 t/anno; minime sono invece le variazioni passando dalle 20.000 alle 40.000 t/anno. Più in dettaglio, l'investimento totale unitario risulta compreso nel range 350-450.000 L/t in ingresso per potenzialità di 10.000 t/anno e scende a 250-300.000 L/t per l'impianto di taglia maggiore (40.000 t/a). Per la potenzialità intermedia (20.000 t/a) il costo si colloca tra le 300 e le 350.000 L/t.

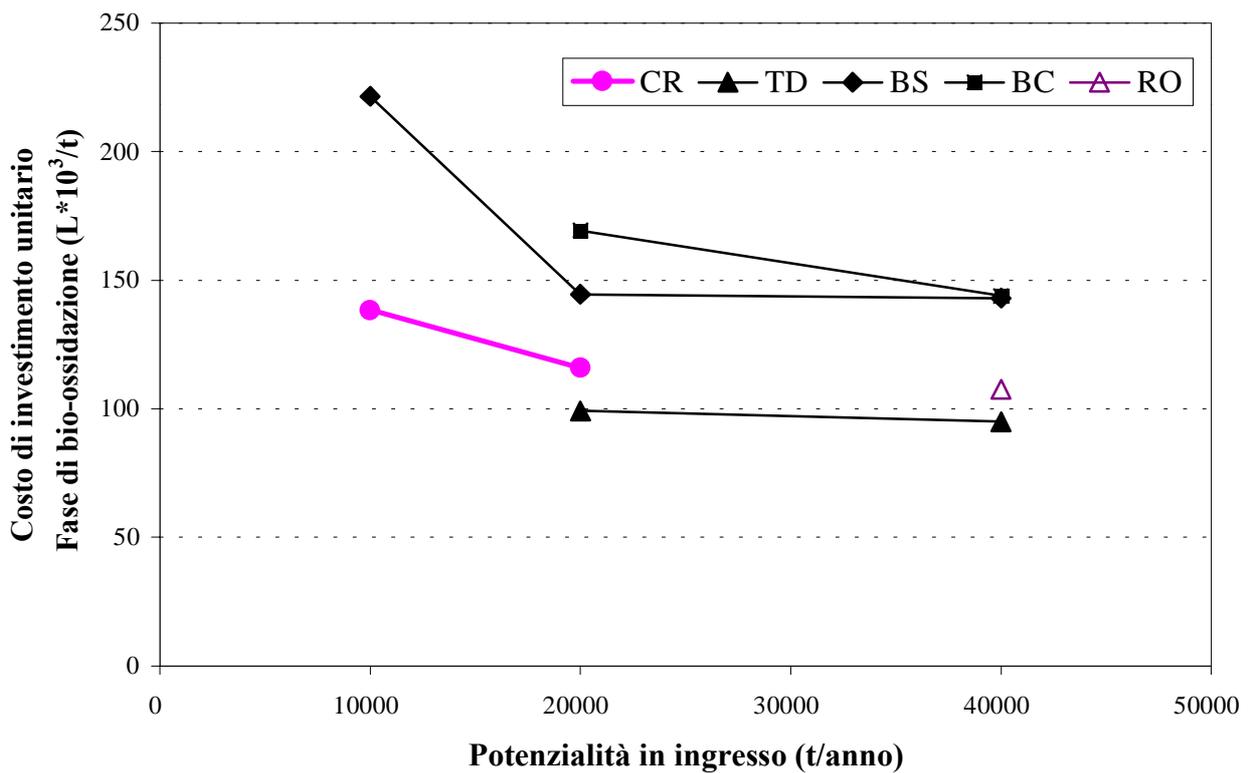
Se si considera solamente la fase di bio-ossidazione (compreso il trattamento delle arie esauste), i relativi costi unitari di investimento (figura 24) scendono e si collocano nell'intervallo 100.000-230.000 L/t in ingresso in funzione della tecnologia e della potenzialità. Si può osservare come per potenzialità pari o superiori alle 20.000 t/anno i costi unitari restino pressochè costanti; la capacità di trattamento di 20.000 t/anno, infatti, è da molti ritenuta la soglia per ottimizzare gli investimenti per un impianto di compostaggio. In merito alle diverse tecnologie considerate, non dimenticando i diversi tempi di ritenzione che le caratterizzano, si può evidenziare quanto segue:

- la trincea dinamica risulta essere una tecnologia non particolarmente onerosa; consente un risparmio significativo in termini di spazi e volumi occupati pur non comportando investimenti particolarmente elevati in termini di opere elettromeccaniche;
- l'investimento per il reattore orizzontale in muratura con movimentazione a benne su carroponte è contenuto e analogo a quello stimato per l'impianto a trincea dinamica. A fronte di costi in opere elettromeccaniche di poco superiori (figura 22), si riducono i costi in opere civili, verosimilmente per un maggiore sfruttamento dello spazio occupato;
- il sistema a biocelle statiche e quello a bacino continuo sono più costosi, anche per il maggiore contenuto tecnologico (si vedano, in particolare, gli elevati costi di investimento in opere elettromeccaniche che caratterizzano le biocelle statiche, unico sistema con ricircolo delle arie esauste).

**Figura 23 – Costo unitario di investimento totale in funzione della tecnologia di compostaggio**



**Figura 24 – Costo unitario di investimento per la fase di bio-ossidazione (compreso il trattamento delle arie esauste)**



In conclusione, è importante ribadire che le stime economiche eseguite non hanno preso in considerazione, poiché non tutti quantificabili in termini monetari, aspetti sostanziali, tra i quali rientrano ad esempio;

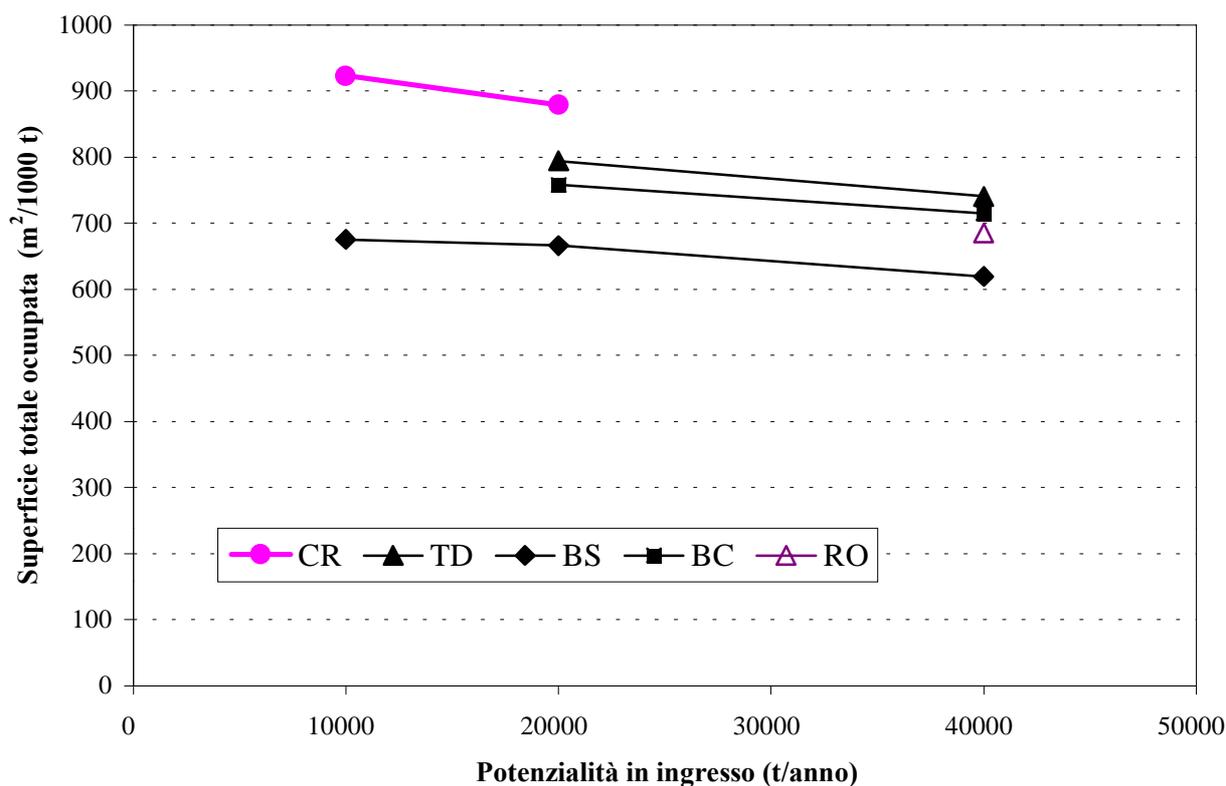
- l'efficienza e la durata di strutture e attrezzature;
- il personale necessario (numero e qualifica degli addetti).

A corredo delle valutazioni economiche sopra riportate, anche con lo scopo di definire alcuni aspetti chiave della tecnica del compostaggio, s'illustrano alcuni parametri unitari che caratterizzano e differenziano le tecnologie considerate.

### 2.5.4 Spazi occupati

Ai fini dell'individuazione dell'area necessaria per la collocazione dell'impianto di compostaggio, si ritiene utile riportare l'impegno di superficie complessivo (*figura 25*), stimato come indicato in *tabella 10*. Mediamente, lo spazio occupato varia dai 600 ai 900 m<sup>2</sup> ogni 1000 t/anno di rifiuti in ingresso. All'aumentare della potenzialità, come atteso, si ha un migliore sfruttamento della superficie.

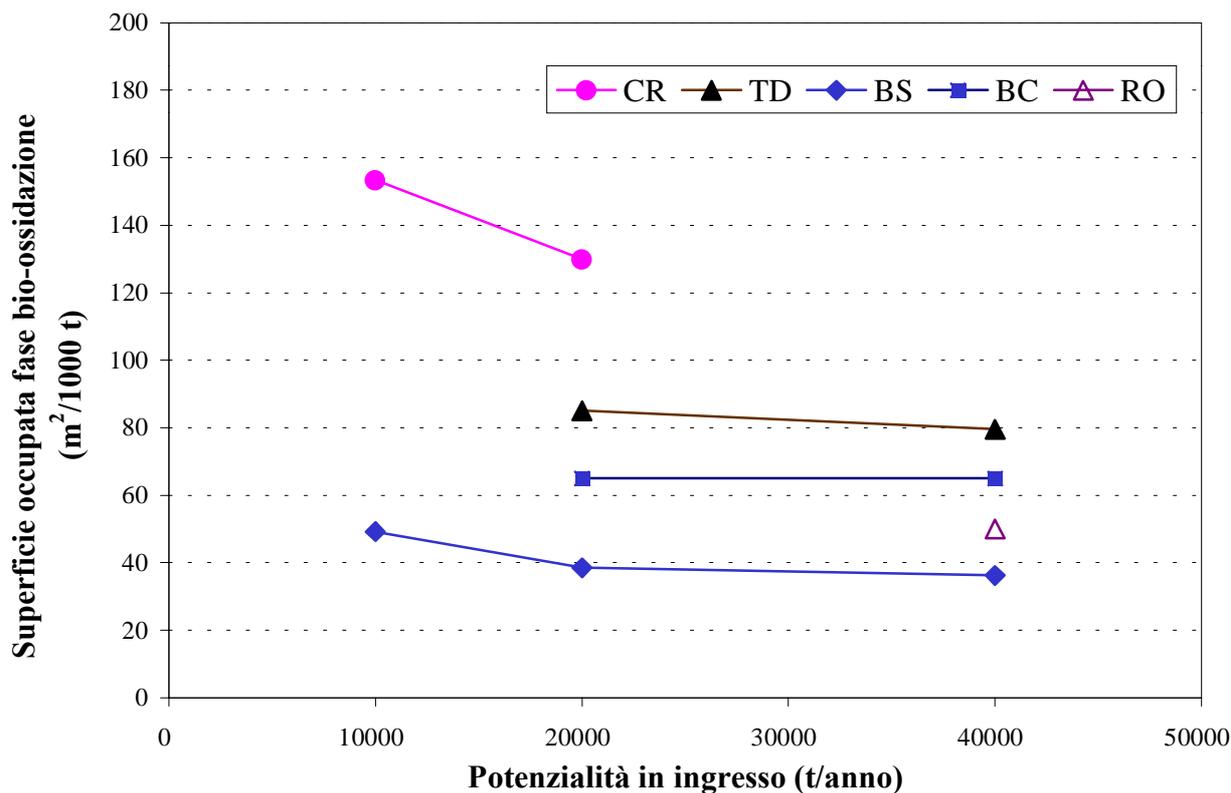
**Figura 25 – Impegno totale di superficie in funzione della tecnologia di compostaggio**



La tecnologia di compostaggio influisce in modo evidente sulla spazio occupato; se si esamina la sola fase di bio-ossidazione (*figura 26*), comprensiva anche della zona di ricezione matrici umide e miscelazione, è evidente che il sistema a cumuli rivoltati è quello che occupa gli spazi maggiori. La necessità di spazi sufficientemente ampi per il passaggio di una macchina rivoltatrice in presenza di muri perimetrali incide pesantemente sul totale, anche per la potenzialità più elevata.

Il sistema a biocelle è quello che implica i minori spazi occupati, a fronte tuttavia di un tempo di ritenzione più breve rispetto alle altre tecnologie (10 anziché 20-30 giorni). A parità di tempo di ritenzione, il bacino continuo a coclee inclinate risulta pertanto essere quello più conveniente in termini di spazio occupato. Considerato il tempo di ritenzione (20 giorni), anche il reattore orizzontale in muratura consente un ottimale sfruttamento della superficie coperta.

**Figura 26 – Superficie occupata dalla fase di bio-ossidazione, compresa la ricezione delle matrici umide e la miscelazione**



### 2.5.5 Potenze elettriche installate e relativi consumi elettrici

A titolo orientativo, si forniscono alcune informazioni in merito alle potenze elettriche richieste per la gestione di un impianto di compostaggio, mantenendo la distinzione tra le tecnologie considerate.

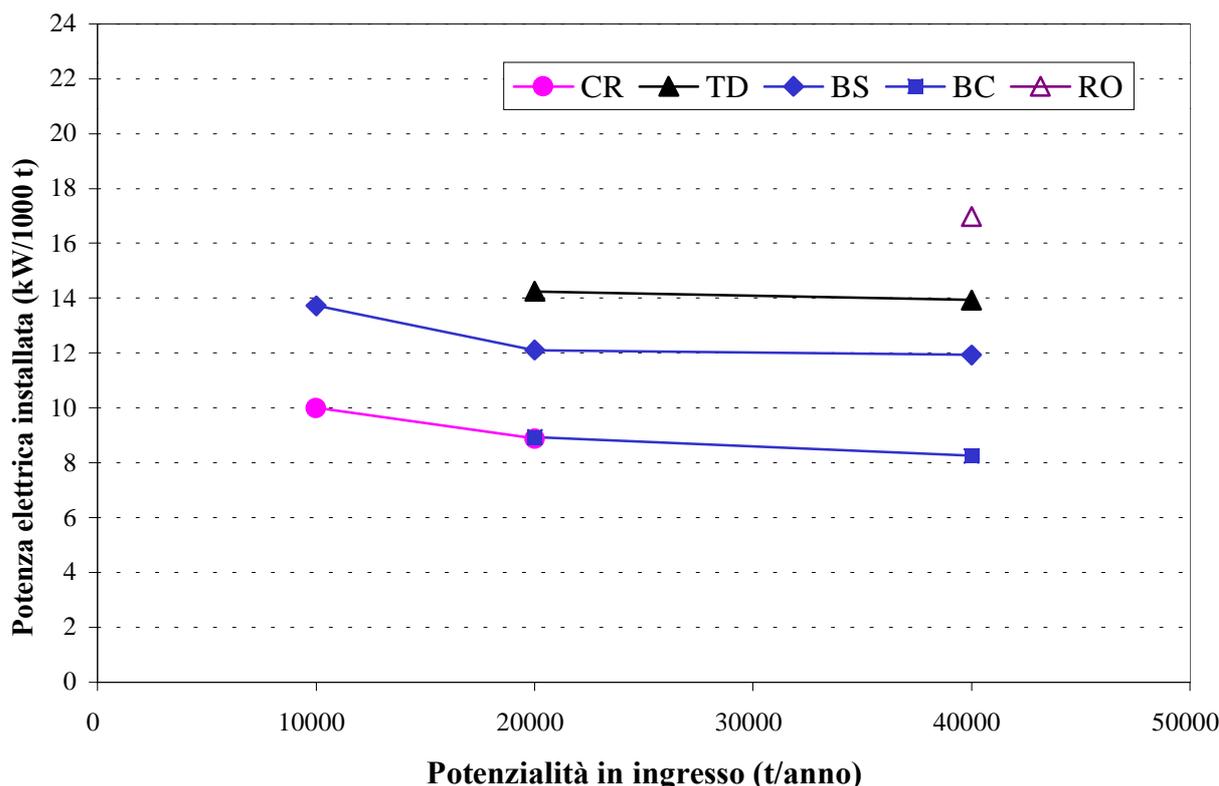
Le potenze elettriche computate sono quelle strettamente connesse alla gestione della fase di bio-ossidazione. In particolare sono comprese le potenze elettriche per:

- l'impianto di aerazione della massa in compostaggio;
- la linea di aspirazione e invio a biofiltrazione delle arie esauste;
- il sistema di movimentazione-rivoltamento (quando elettrico);
- altri eventuali dispositivi specifici della tecnologia considerata (scambiatori di calore, nastri, carriponte, miscelatore, ecc.).

Non sono comprese le eventuali potenze elettriche necessarie per l'azionamento di altre attrezzature, quali ad esempio il trituratore, il miscelatore e il vaglio, in quanto spesso presenti anche con motorizzazione diesel.

Come emerge in *figura 27*, la potenza elettrica installata oscilla tra 8 e 14 kW ogni 1000 t/anno in ingresso. La trincea dinamica è quella che richiede l'installazione della potenza maggiore; la biocella statica si colloca in posizione intermedia, mentre il bacino continuo a coclee è il sistema che comporta la potenza installata minore. L'elevata potenza che distingue il sistema RO è dovuta alla presenza del miscelatore ad azionamento elettrico posto in testa all'unità di bio-ossidazione e parte integrante di quest'ultima.

**Figura 27 – Potenza elettrica installata (fase bio-ossidazione e trattamento arie esauste) in funzione della tecnologia di compostaggio**



Relativamente ai cumuli rivoltati, si osserva una richiesta di potenza comunque non trascurabile, nonostante sia escluso il rivoltamento della massa, eseguito con forza motrice meccanica. Si ricorda in proposito la maggiore potenza necessaria per il più elevato volume d'aria da inviare a biofiltrazione dovuto allo spazio occupato che caratterizza il sistema a cumuli rispetto agli altri.

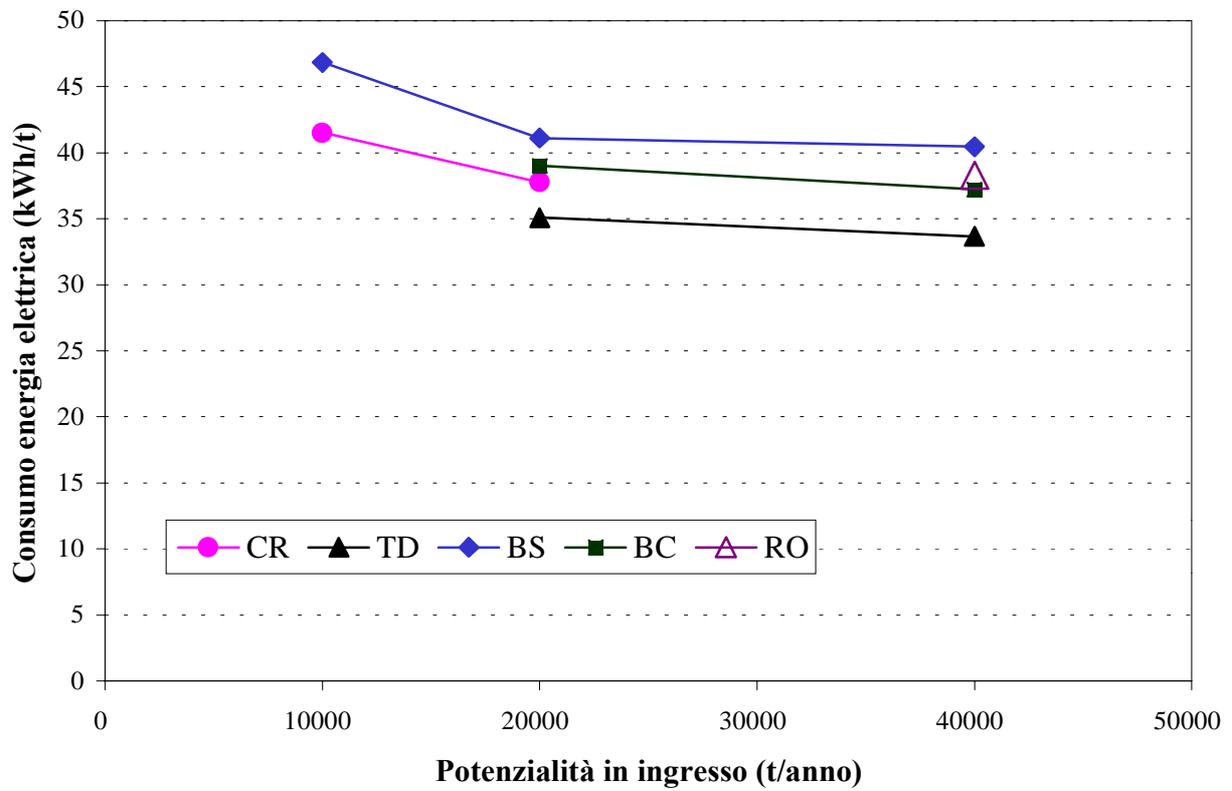
Per la potenzialità di trattamento 10.000 t/anno la potenza installata è superiore (10-14 kW ogni 1000 t) e diversificata in funzione della tecnologia prescelta; il sistema a maggiore contenuto tecnologico quale la biocella comporta la disponibilità di potenze elevate.

Si riporta infine una stima del consumo di energia elettrica (*figura 28*) comprensivo delle voci poco sopra elencate:

- gestione della fase di bio-ossidazione (aerazione, movimentazioni, ricircolo aria, ecc.);
- aspirazione e invio a biofiltro delle arie esauste.

In termini unitari, il consumo stimato di energia elettrica per la fase di bio-ossidazione e trattamento delle arie esauste mediante biofiltrazione risulta mediamente compreso tra i 35 e i 45 kWh per tonnellata in ingresso; anche in questo caso si ricorda che non sono compresi i consumi legati al funzionamento di altre macchine o attrezzature.

**Figura 28 – Consumi di energia elettrica (fase bio-ossidazione e trattamento arie esauste) in funzione della tecnologia di compostaggio**



### 3. Sistemi integrati anaerobici/aerobici di trattamento dei rifiuti organici ed altre biomasse

#### 3.1 La digestione anaerobica

La digestione anaerobica è un processo biologico complesso per mezzo del quale, in assenza di ossigeno, la sostanza organica viene trasformata in biogas o gas biologico, costituito principalmente da metano e anidride carbonica. La percentuale di metano nel biogas varia a secondo del tipo di sostanza organica digerita e delle condizioni di processo, da un minimo del 50% fino all'80% circa.

Affinchè il processo abbia luogo è necessaria l'azione di diversi gruppi di microrganismi in grado di trasformare la sostanza organica in composti intermedi, principalmente acido acetico, anidride carbonica ed idrogeno, utilizzabili dai microrganismi metanigeni che concludono il processo producendo il metano.

I microrganismi anaerobi presentano basse velocità di crescita e basse velocità di reazione e quindi occorre mantenere ottimali, per quanto possibile, le condizioni dell'ambiente di reazione. Nonostante questi accorgimenti, i tempi di processo sono relativamente lunghi se confrontati con quelli di altri processi biologici; tuttavia il vantaggio del processo è che la materia organica complessa viene convertita in metano e anidride carbonica e quindi porta alla produzione finale di una fonte rinnovabile di energia sotto forma di un gas combustibile ad elevato potere calorifico.

L'ambiente di reazione, definito solitamente reattore anaerobico, per permettere la crescita contemporanea di tutti i microrganismi coinvolti, dovrà risultare da un compromesso tra le esigenze dei singoli gruppi microbici. Il pH ottimale, ad esempio, è intorno a 7-7,5. La temperatura ottimale di processo è intorno ai 35°C, se si opera con i batteri mesofili, o intorno a 55°C, se si utilizzano i batteri termofili. Le *figure 29 e 30* descrivono il processo biologico nel quale si possono vedere almeno cinque gruppi distinti di batteri che vi partecipano:

- batteri idrolitici che spezzano le macromolecole biodegradabili in sostanze più semplici;
- batteri acidogeni che utilizzano come substrato i composti organici semplici liberati dai batteri idrolitici e producono acidi organici a catena corta, che a loro volta rappresentano il substrato per i gruppi batterici successivi;
- batteri acetogeni produttori obbligati di idrogeno (OPHA: Obligate Hydrogen Producing Acetogens) che utilizzano come substrato i prodotti dei batteri acidogeni dando luogo ad acetato, idrogeno ed anidride carbonica;
- batteri omoacetogeni che sintetizzano acetato partendo da anidride carbonica e idrogeno;
- batteri metanigeni, distinti in due gruppi:
  - a) quelli che producono metano ed anidride carbonica da acido acetico, detti acetoclastici;
  - b) quelli che producono metano partendo da anidride carbonica e idrogeno, detti idrogenotrofi.

Mentre il metano viene liberato quasi completamente in fase di gas vista la sua scarsa solubilità in acqua, l'anidride carbonica partecipa all'equilibrio dei carbonati presenti nella biomassa in reazione.

Le interazioni tra le diverse specie batteriche sono molto strette ed i prodotti del metabolismo di alcune specie possono essere utilizzati da altre specie come substrato o come fattori di crescita.

**Figura 29 – Schema riassuntivo di decomposizione anaerobica delle sostanze organiche durante la digestione. I composti polimerici ad alto peso molecolare, carboidrati, grassi e proteine vengono frammentati in sostanze più semplici, zuccheri, glicerolo, acidi grassi e aminoacidi**

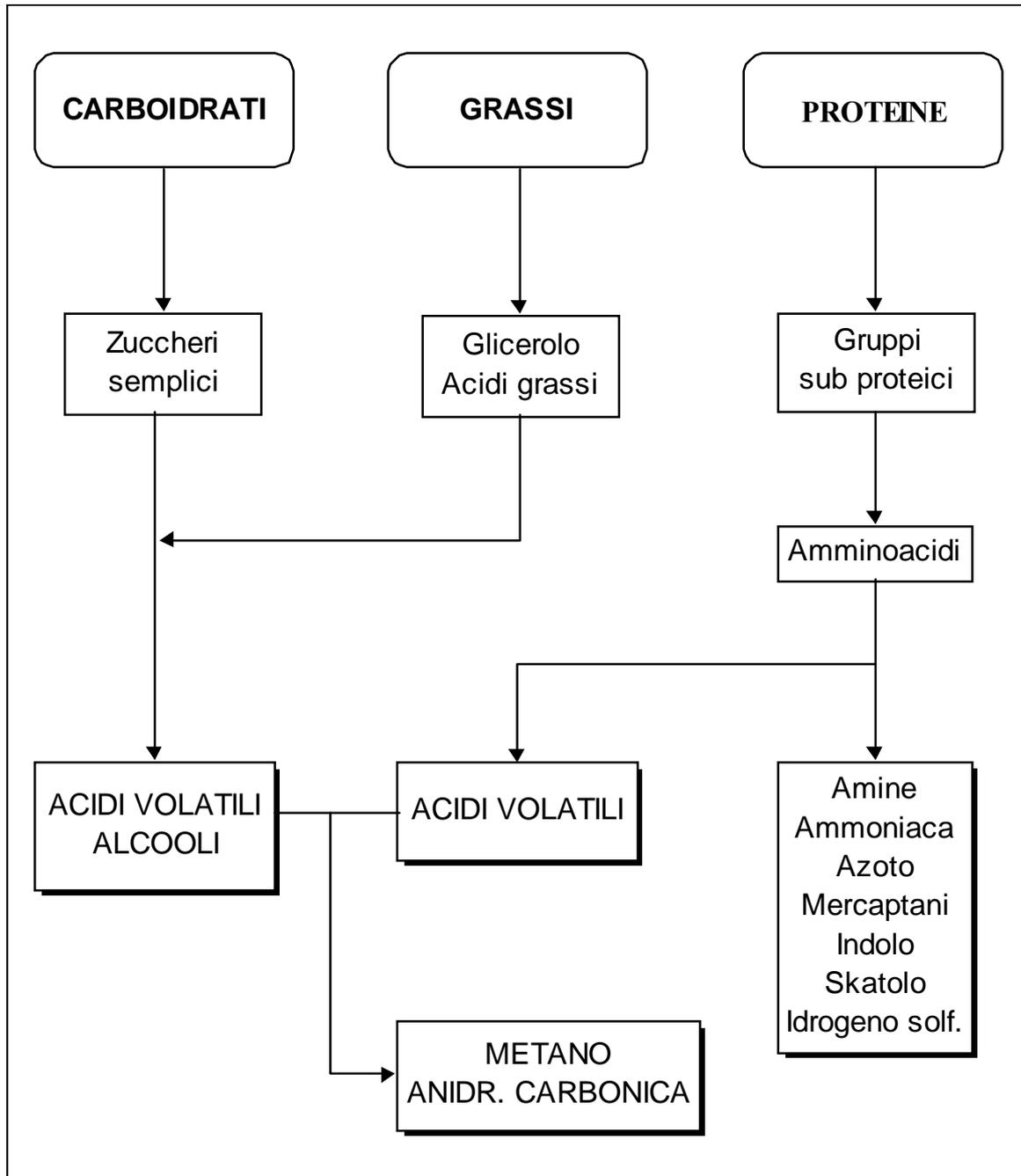
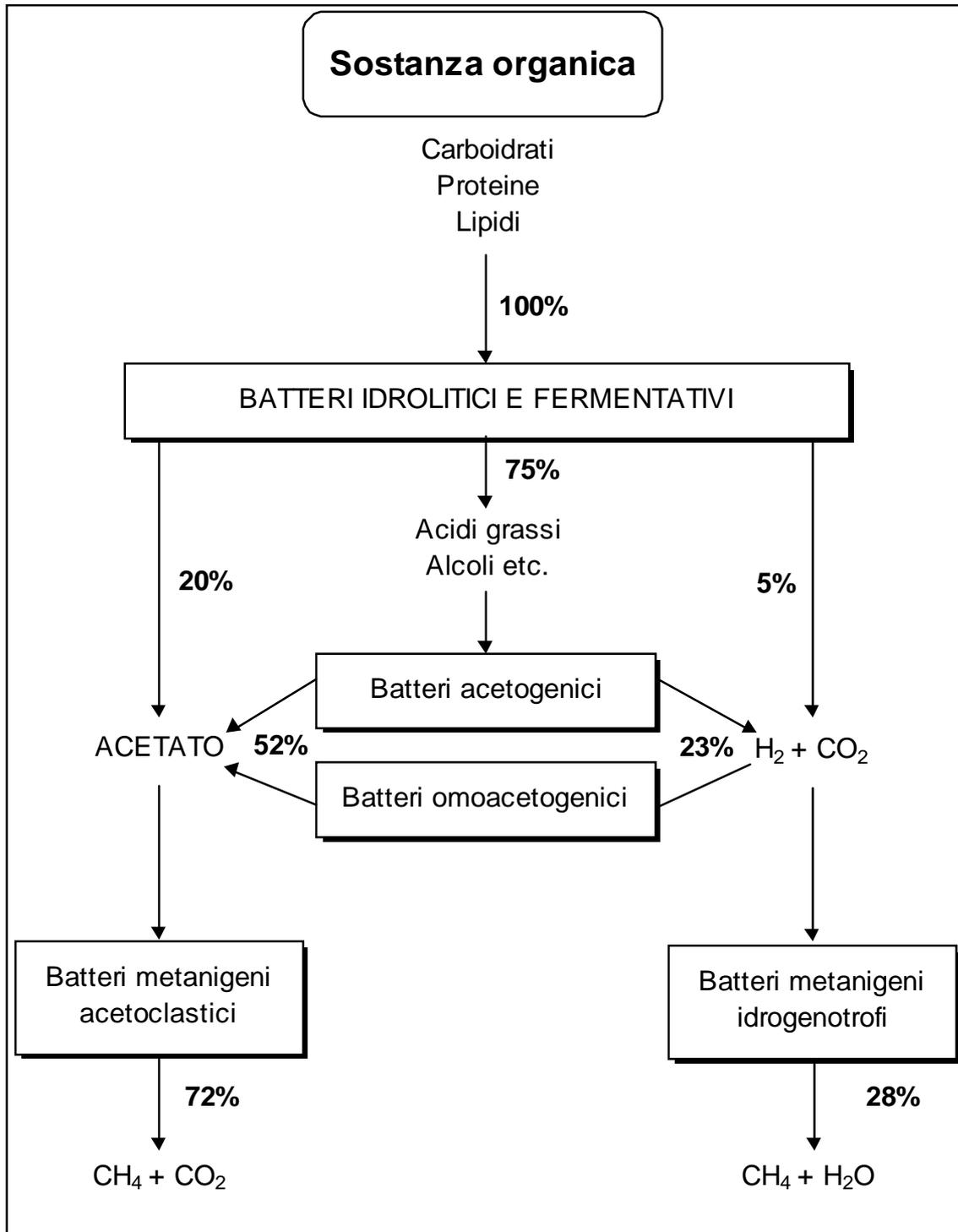


Figura 30 – Schema del processo biologico di digestione anaerobica



## LE TECNICHE DI DIGESTIONE

Le tecniche di digestione anaerobica possono essere suddivise in due gruppi principali:

- Digestione **a secco** (dry digestion), quando il substrato avviato a digestione ha un contenuto di solidi totali (ST)  $\geq 20\%$ ;
- Digestione **a umido** (wet digestion), quando il substrato ha un contenuto di ST  $\leq 10\%$ .

Processi con valori di secco intermedi sono meno comuni e vengono in genere definiti processi a semisecco.

Il processo di digestione anaerobica è anche suddiviso in:

- processo **monostadio**; le fasi di idrolisi, fermentazione acida e metanigena avvengono contemporaneamente in un unico reattore;
- processo **bistadio**; il substrato organico viene idrolizzato separatamente in un primo stadio, ove avviene anche la fase acida, mentre la fase metanigena viene condotta in un secondo stadio.

Un'ulteriore suddivisione dei processi di digestione anaerobica può essere fatta in base al tipo di alimentazione del reattore, che può essere continua o in batch, e in base al fatto che il substrato all'interno del reattore venga miscelato o scorra sequenzialmente attraversando via via fasi diverse (plug flow).

La digestione anaerobica può, inoltre, essere condotta, come già ricordato, o in condizione mesofile (circa 35°C) o termofile (circa 55°C); la scelta tra queste due condizioni determina in genere anche la durata (il tempo di residenza) del processo. Mediamente in mesofilia si hanno tempi di residenza compresi nel range 14-30 giorni, mentre in termofilia il tempo di residenza è in genere inferiore ai 14-16 giorni.

Il rendimento in biogas e quindi energetico del processo è molto variabile e dipende dalla biodegradabilità del substrato trattato. Relativamente al trattamento della frazione organica dei rifiuti urbani derivante da raccolta differenziata e/o alla fonte, in letteratura si riportano valori di conversione in biogas compresi tra un minimo di 0,40-0,50 m<sup>3</sup>/kgSValimentati, per la digestione in mesofilia, ed un massimo di 0,60-0,85 m<sup>3</sup>/kgSValimentati, per la digestione in termofilia. In genere durante la digestione anaerobica si ottiene una riduzione di almeno il 50% dei Solidi Volatili (SV) alimentati

### 3.2 Stato dell'arte della stabilizzazione e valorizzazione aerobica ed anaerobica dei rifiuti organici in Europa

In una recente pubblicazione (J. Barth, 2000) si stimava che in Europa almeno il 32% dei rifiuti urbani e la gran parte dei rifiuti organici industriali, approssimativamente più del 40% della produzione totale di rifiuti in Europa, potrebbe essere trattata con un processo biologico aerobico e/o anaerobico.

In Europa si producono annualmente circa 50 milioni di tonnellate di rifiuti organici che potrebbero essere raccolti in modo differenziato. Attualmente circa il 34% (circa 17 milioni di tonnellate) del totale di cui sopra è raccolto in modo differenziato. Ciò significa una produzione di compost di circa 9 milioni di tonnellate per anno.

Attualmente si possono stimare oltre 500 impianti di *compostaggio* operativi in Europa, di cui oltre 100 in Italia e circa 400 distribuiti fra Germania, Austria, Danimarca, Olanda e Belgio

Relativamente alla *digestione anaerobica* (A. Tilche, F. Malaspina, 1998), la sua diffusione è incominciata nel settore della stabilizzazione dei fanghi di depurazione (si stimano circa 36000 digestori operativi attualmente in Europa, con una produzione potenziale di biogas pari a circa 1,7

milioni di m<sup>3</sup> di metano per giorno). Attualmente è considerata una delle tecnologie migliori per il trattamento delle acque reflue industriali ad alto carico organico (già nel 1994 erano operativi circa 400 impianti di biogas industriali e centralizzati). Numerosi sono anche i digestori anaerobici operanti su liquami zootecnici (attualmente circa 700 impianti, di cui circa 70 in Italia (S. Piccinini, 2000)), sono operativi nei paesi della Comunità Europea, in particolare in Germania e Danimarca).

E' doveroso ricordare anche che il recupero di biogas dalle discariche per rifiuti urbani rappresenta in Europa la più importante fonte di energia alternativa da biomasse, con circa 4,5 milioni di m<sup>3</sup> di metano per giorno utilizzati.

Negli ultimi anni sta crescendo anche l'utilizzo della digestione anaerobica nel trattamento della frazione organica raccolta in modo differenziato dei rifiuti urbani (FORSU), in miscela con altri scarti organici industriali e con liquami zootecnici (co-digestione). In Danimarca, in particolare, sono attualmente funzionanti 19 impianti centralizzati di co-digestione che trattano annualmente circa 800.000 t di liquami zootecnici e 200.000 t di residui organici industriali e FORSU.

In una recente pubblicazione (L. De Baere, 1999) sono stati censiti in Europa 53 impianti di digestione anaerobica che trattano un substrato contenente almeno il 10% di frazione organica di rifiuti urbani (sia da raccolta differenziata che da selezione meccanica a valle), in un quantitativo superiore, in ciascun impianto, alle 3000 t/anno. In tale pubblicazione si stima nei 53 impianti una potenzialità di trattamento di circa 1.037.000 t di frazione organica da rifiuti urbani. La maggior parte degli impianti è stata realizzata in Germania (circa 30); in una pubblicazione più recente (M. Kranert, K. Hillebrecht, 2000) sono 44 gli impianti di digestione anaerobica operativi in Germania su frazione organica da rifiuti urbani e industriali (biowaste).

### 3.2.1 La situazione in Italia della digestione anaerobica

Anche in Italia, come nel resto d'Europa, i digestori anaerobici sono diffusi nella stabilizzazione dei *fanghi di supero* dei depuratori delle acque reflue urbane. Una indagine (Gerli A., Merzagora W., 2000), individuava circa 120 digestori anaerobici operanti in altrettanti impianti di depurazione di reflui urbani, con una potenzialità di trattamento delle acque reflue di circa 21,5 milioni di abitanti equivalenti.

Diversi impianti di biogas sono stati realizzati anche *nell'agroindustria*, in particolare in distillerie, zuccherifici, stabilimenti per la produzione di succhi di frutta e prodotti dolciari.

Relativamente alla digestione anaerobica delle *frazioni organiche dei rifiuti urbani*, sia derivanti da raccolte differenziate che da selezione meccanica, non vi sono molte esperienze:

- per quanto riguarda il trattamento della *frazione organica da selezione meccanica*, vi è un impianto in avviamento a Verona, realizzato da Snamprogetti ( 4 digestori da 2000 m<sup>3</sup> ciascuno, in grado di trattare 200 t/giorno di FORSU e 40 t/giorno di fanghi di depurazione), un impianto in fase terminale di realizzazione a Villacidro (CA), costruito da BTA(D) e FISIA Italimpianti (2 digestori da 2000 m<sup>3</sup> ciascuno in grado di trattare 120 t/giorno di FORSU) e un impianto in appalto in provincia di Grosseto (3 digestori da 2400 m<sup>3</sup> ciascuno in grado di trattare 200 t/giorno di FORSU e 15 t/giorno di fanghi di depurazione);
- per quanto riguarda il trattamento della *frazione organica preselezionata*, da raccolta differenziata, oltre agli impianti di Marsciano (PG) (vedi cap.3.4.5) e Agrilux (PD) che operano prevalentemente su liquami zootecnici e che codigeriscono anche FORSU, vi è in appalto un impianto del Consorzio Tergola a Camposampiero (PD) (vedi cap.3.4.1). Quest'ultimo impianto rappresenta un chiaro esempio di sistema integrato. Infatti, gli impianti che costituiscono il centro (depurazione biologica, codigestione anaerobica, cogenerazione e compostaggio aerobico) sono tra loro strettamente interconnessi al fine di sfruttare al massimo le sinergie gestionali e di processo rese disponibili delle moderne tecnologie utilizzate.

Relativamente agli impianti di digestione anaerobica su *liquami zootecnici*, una indagine (Piccinini S., 2000) condotta presso le ditte di costruzione di impianti, studi di progettazione, enti e istituti nazionali, regionali e provinciali che si interessano di digestione anaerobica, associazioni del mondo zootecnico, ha consentito di appurare che attualmente in Italia sono operativi su liquami zootecnici 72 impianti di biogas. Cinque di questi sono impianti centralizzati e 67 sono impianti aziendali. La quasi totalità degli impianti è localizzata nelle regioni del nord.

La maggior parte degli impianti operano con liquame suino; solamente 12 impianti aziendali, tutti localizzati nella provincia di Bolzano, e due centralizzati trattano liquame bovino.

Sono ancora pochi gli impianti che trattano miscele di più reflui, non solo zootecnici: negli impianti centralizzati vengono trattati anche fanghi di depurazione, reflui dell'agroindustria, in particolare, acque di vegetazione dell'industria olearia, e rifiuti organici domestici, derivanti da raccolta differenziata dei rifiuti urbani.

Nella maggior parte degli impianti aziendali dell'Alto Adige vengono trattati con i liquami bovini anche scarti organici domestici e della ristorazione.

I cinque impianti centralizzati sono tutti reattori completamente miscelati operanti in un intervallo di temperatura mesofila (30-40°C). Tra gli impianti aziendali prevalgono quelli di tipo semplificato e a basso costo, realizzati sovrapponendo una copertura di materiale plastico ad una vasca o laguna di stoccaggio dei liquami.

Relativamente all'uso del biogas, la cogenerazione (produzione combinata di calore ed energia elettrica) è prevalente: in tutti gli impianti centralizzati e in 40 impianti aziendali sono installati cogeneratori; in 21 impianti, in genere annessi a caseifici per la produzione di Grana Padano o Parmigiano-Reggiano, il biogas viene bruciato direttamente in caldaia.

### 3.3 Integrazione tra sistema anaerobico e aerobico: vantaggi e svantaggi

Il fatto che, a fronte del consolidamento del ruolo del compostaggio aerobico, anche la digestione anaerobica stia ottenendo sempre maggiore attenzione tra le tecnologie per il trattamento dei rifiuti solidi organici, ha invogliato, in particolare in questi ultimi cinque anni, sempre più i progettisti ad esaminare le **possibili** integrazioni dei due processi al fine di ottimizzarne i rispettivi pregi e minimizzarne gli svantaggi.

I principali vantaggi e svantaggi dei due processi possono essere così sintetizzati:

- la digestione anaerobica produce energia rinnovabile (biogas) a fronte del compostaggio aerobico che consuma energia;
- gli impianti anaerobici sono in grado di trattare tutte le tipologie di rifiuti organici indipendentemente dalla loro umidità, a differenza del compostaggio che richiede un certo tenore di sostanza secca nella miscela di partenza;
- gli impianti anaerobici sono reattori chiusi e quindi non vi è rilascio di emissioni gassose maleodoranti in atmosfera, come può avvenire durante la prima fase termofila del compostaggio ( per quanto tale inconveniente può essere affrontato e risolto con l'adozione di adeguati sistemi di canalizzazione e trattamento delle arie esauste);
- nella digestione anaerobica si ha acqua di processo in eccesso che necessita di uno specifico trattamento, mentre nel compostaggio le eventuali acque di percolazione possono essere riciclate come agente umidificante sui cumuli in fase termofila. La necessità di trattare eventuali acque di supero richiederebbe una buona integrazione tra sistemi di trattamento delle acque e dei rifiuti; le situazioni più favorevoli sono quelle in cui gli impianti di depurazione dei reflui civili e/o industriali e quelli di trattamento degli scarti organici fanno parte di un'unica

gestione di impresa o di una strategia integrata pubblica di gestione ambientale. In tal caso infatti non si hanno costi sensibili di avvio delle acque di supero della digestione anaerobica al trattamento di depurazione, fattore che invece comporta costi aggiuntivi a forte incidenza unitaria nel caso di avvio a depurazione in impianti gestiti da terzi;

- gli impianti di digestione anaerobica richiedono investimenti iniziali maggiori rispetto a quelli di compostaggio;
- la qualità agronomica del digerito, in uscita dalla digestione anaerobica, è più scadente di quella del compost aerobico. L'utilizzo agronomico del digerito è principalmente nelle colture di pieno campo, per la presenza dell'azoto prevalentemente in forma ammoniacale e la natura ancora relativamente fermentescibile della sostanza organica residua. Il compost può trovare, invece, applicazione anche nell'agricoltura specializzata (frutticoltura, orticoltura), nella vivaistica in vaso ed in terra, nel giardinaggio, ecc.

L'integrazione dei due processi può portare interessanti vantaggi, quali in particolare:

- si migliora nettamente il bilancio energetico dell'impianto, in quanto nella fase anaerobica si ha in genere la produzione di un surplus di energia rispetto al fabbisogno dell'intero impianto;
- si possono controllare meglio e con costi minori i problemi olfattivi; le fasi maggiormente odorigene sono gestite in reattore chiuso e le "arie esauste" sono rappresentate dal biogas (utilizzato e non immesso in atmosfera). Il digerito è già un materiale semi-stabilizzato e, quindi, il controllo degli impatti olfattivi durante il post-compostaggio aerobico risulta più agevole,
- si ha un minor impegno di superficie a parità di rifiuto trattato, pur tenendo conto delle superfici necessarie per il post-compostaggio aerobico, grazie alla maggior compattezza dell'impiantistica anaerobica;
- grazie al recupero energetico collegato allo sfruttamento del biogas prodotto, si riduce l'emissione di CO<sub>2</sub> in atmosfera (Kubler and Rumphorst, 1999) da un minimo del 25% sino al 67% (nel caso di completo utilizzo dell'energia termica prodotta in cogenerazione); l'attenzione verso i trattamenti dei rifiuti a bassa emissione di gas serra è un fattore che assumerà sempre più importanza in futuro,
- in distretti a bassa disponibilità di matrici strutturali, la digestione anaerobica consente una efficace gestione delle prime fasi di bioconversione delle matrici ad elevata umidità (scarti alimentari, fanghi, deiezioni zootecniche); il digerito presenta un quantitativo totale di solidi volatili fermentescibili inferiore e può convenientemente essere compostato con i limitati quantitativi di scarto ligneocellulosico disponibile

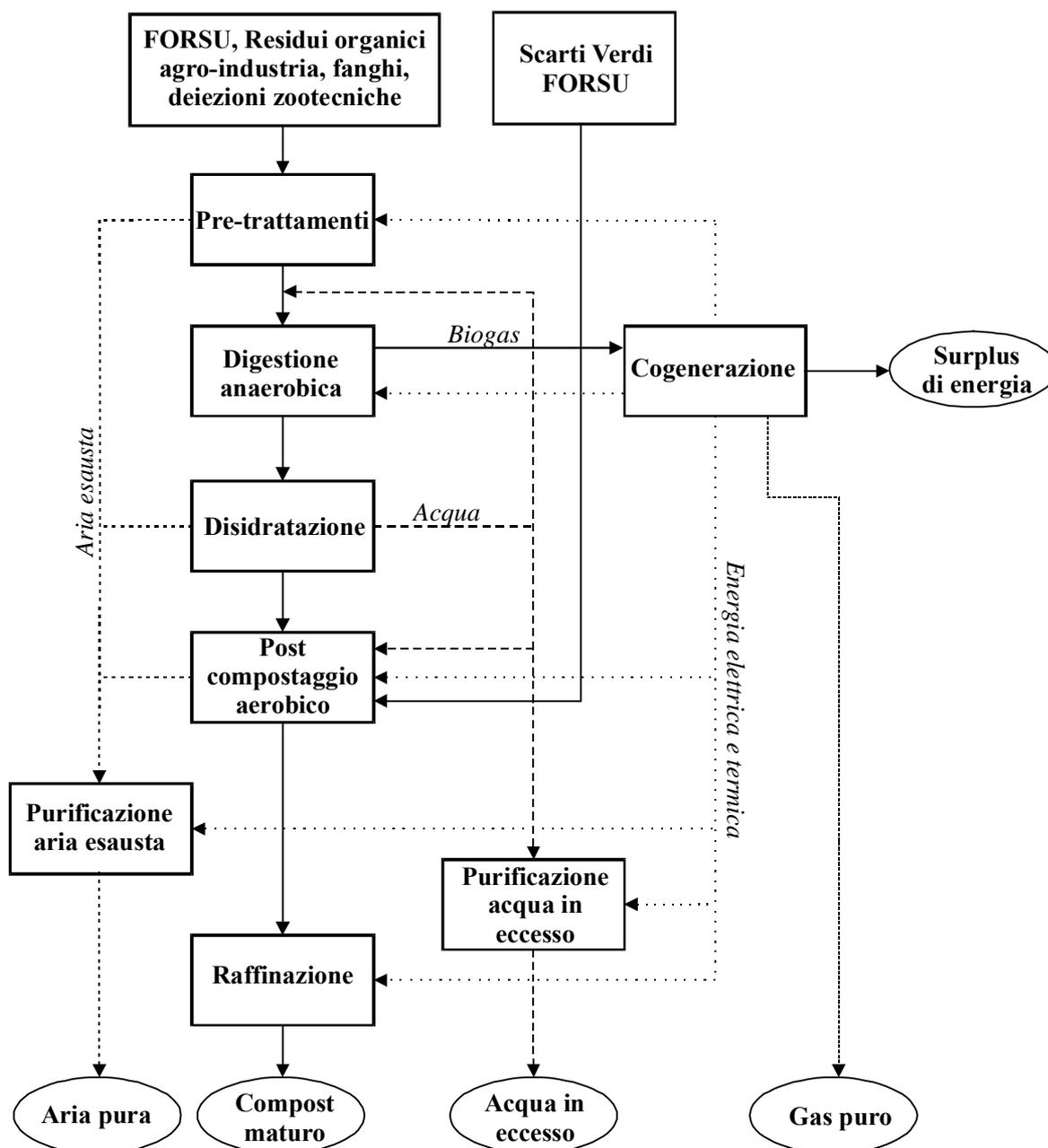
Alcune condizioni favorevoli per il superamento del problema relativo ai maggiori oneri di investimento unitari – e dunque ai maggiori costi di ammortamento incidenti sul costo complessivo unitario di esercizio – possono essere le seguenti:

- disponibilità di finanziamenti a fondo perso (es. sui progetti relativi all'innovazione tecnologica, od alle risorse energetiche alternative); questo sembra essere ad oggi il maggiore *driver* per l'espansione della digestione anaerobica, sia in Italia che in altri Paesi. Non a caso si prevede che la Spagna a breve diventi uno dei paesi europei con la maggior capacità di digestione anaerobica, grazie ai fondi strutturali della CE che hanno consentito l'adozione di massicci programmi di allestimento di logistica dedicata. Il finanziamento a fondo perso, abbattendo il costo di ammortamento relativo, elimina dal confronto con il compostaggio *tout-court* il fattore di maggiore differenziale sui costi di esercizio;
- sovvenzioni alla produzione di energia elettrica, quali quelli previsti dal provvedimento "CIP 6/92" ed dai recenti "Certificati verdi".

Nella *figura 31* si riporta, a titolo di esempio, lo schema del ciclo di trattamento integrato anaerobico/aerobico di rifiuti organici.

L'inserimento della digestione anaerobica, secondo lo schema di *figura 31*, risulta interessante anche per tutti quegli impianti di compostaggio che, alla luce dell'incremento delle raccolte differenziate secco/umido, si trovano nella necessità di aumentare la capacità di trattamento dell'umido.

**Figura 31 – Schema del ciclo di trattamento integrato anaerobico/aerobico**



### 3.4 Esempi di sistemi integrati anaerobici/aerobici realizzati e/o in progetto

#### 3.4.1 L'impianto di Camposampiero (PD)

L'impianto è attualmente in fase di costruzione a cura del Consorzio Tergola (PD) (W. Giacetti, 1999; M. Bacchini, 2000) e rappresenta un chiaro esempio di sistema integrato.

Infatti, gli impianti che costituiscono il centro (depurazione biologica, codigestione anaerobica, cogenerazione e compostaggio aerobico) sono tra loro strettamente interconnessi al fine di sfruttare al massimo le sinergie gestionali e di processo rese disponibili delle moderne tecnologie utilizzate.

Complessivamente il centro potrà trattare:

- liquami civili e industriali per una capacità depurativa di 35.000 A.E. (ampliabile fino a 70.000 A.E.);
- fino a 16.000 t/a di frazione organica dei rifiuti solidi urbani e scarti vegetali (erba, ramaglie, ecc.);
- da 25.000 a 50.000 t/a di reflui zootecnici;
- da 12.500 a 25.000 t/a di fanghi dalla depurazione biologica;

e consentirà di produrre:

- acqua depurata riutilizzabile anche in irrigazione;
- energia elettrica e termica che andranno autoconsumate all'interno degli impianti o resi disponibili per utilizzatori esterni;
- da 10.000 a 15.000 t/a di compost di qualità;
- fino a 90.000 t/a di frazione liquida stabilizzata ricca di azoto e quindi riutilizzabile in fertirrigazione.

Tutte le lavorazioni potenzialmente causa di esalazioni moleste sono state previste all'interno di locali confinanti mantenuti in depressione da un sistema di aspirazione che invia l'aria a biofiltri in grado di rilasciarla in atmosfera "pulita".

Nella *figura 32* è riportato lo schema di flusso del centro di trattamento.

Il centro è composto da 3 impianti, funzionalmente autonomi, ma connessi fra loro per gli scambi dei flussi:

- modulo di depurazione delle acque di fognatura e della frazione liquida;
- modulo di codigestione anaerobica degli scarti organici;
- modulo di compostaggio aerobico della frazione solida.

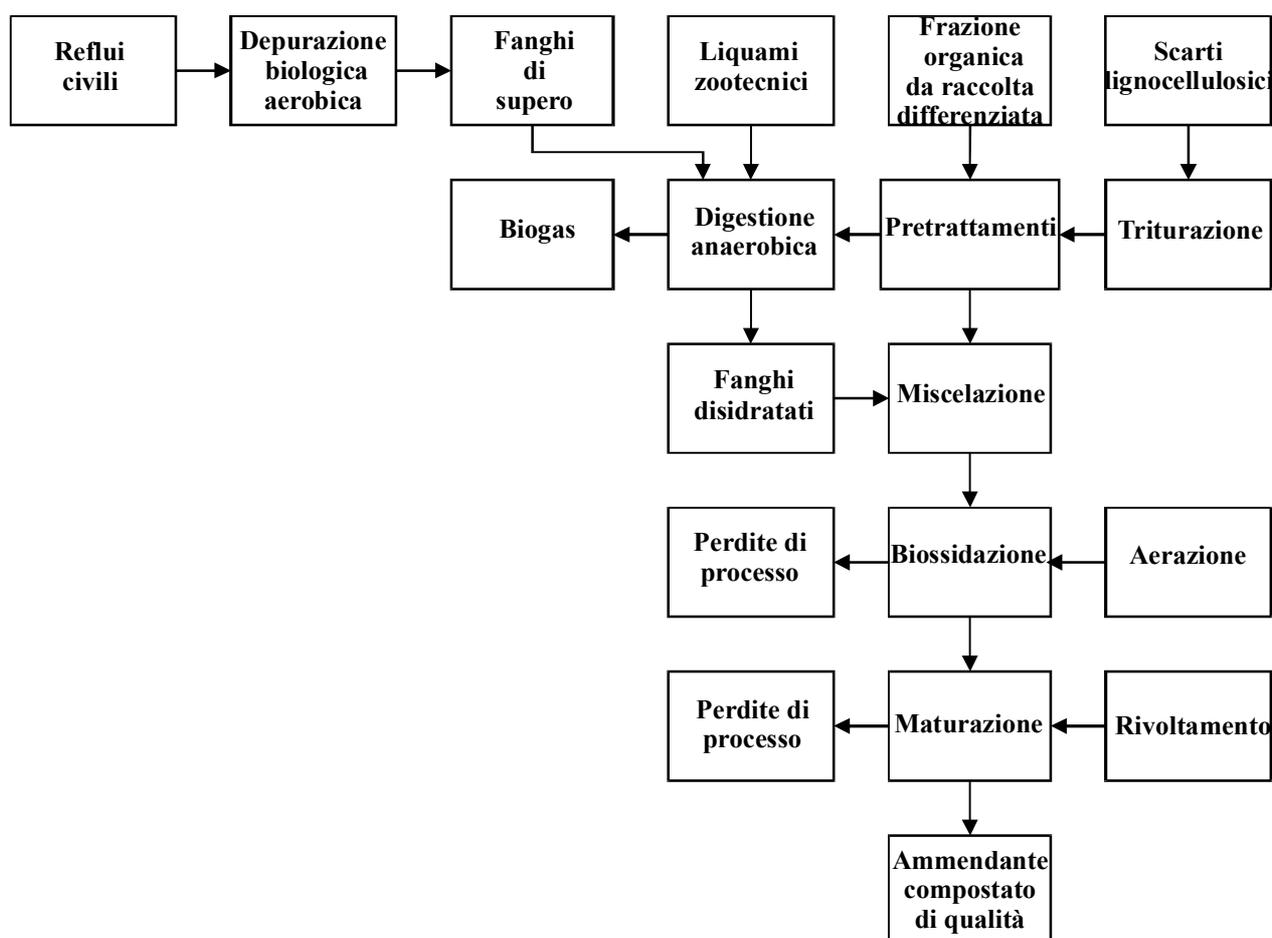
Il modulo di trattamento liquami urbani utilizza il classico processo biologico a fanghi attivi.

Il modulo di codigestione prevede:

- la ricezione dei materiali e lo stoccaggio in ambienti totalmente isolati dall'esterno e mantenuti in depressione;
- la codigestione "a umido", ovvero con concentrazioni di solidi totali dell'ordine del 8÷10% nel digestore;
- la cogenerazione di energia elettrica e calore con turbine a gas, che dovrebbe coprire circa il 70% del consumo interno di energia elettrica, e il 100% del fabbisogno di calore;

- il pretrattamento della miscela mediante “pulper” con separazione preventiva delle frazioni leggere (eventuali plastiche) e pesanti (inerti);
- la digestione anaerobica termofila a 55 °C, con una produzione stimata di 1.700.000 Nm<sup>3</sup>/anno di biogas, corrispondente a 3.300.000 kWh/anno di energia elettrica;
- la separazione solido/liquida: il fango digerito viene inviato ad una centrifuga. La frazione solida viene trasportata per mezzo di nastri trasportatori all’impianto di compostaggio; la frazione liquida va direttamente nel serbatoio della igienizzazione, con un volume utile di ca. 370 m<sup>3</sup>. La parte della frazione liquida di supero viene portata all’impianto di depurazione.

**Figura 32 – Schema di flusso del Centro di Camposampiero (PD)**



Il post-compostaggio aerobico della frazione solida unita a ramaglie avviene in un capannone coperto, con ricambio d’aria, mentre la maturazione e la raffinazione si svolgono in aie all’aperto.

I flussi al compostaggio sono la somma delle 12.000 t/a di solido proveniente dalla codigestione e delle 6.000÷8.000 t/a di scarti vegetali.

Il processo è stato dimensionato con un margine di sicurezza del 30% per due possibili linee:

- una linea da 16.000 t/a prevalentemente composte da fanghi digeriti e scarti vegetali con funzione di materiale di struttura;
- una linea da 10.000 t/a per materiali più secchi.

La fase attiva del compostaggio avviene in un capannone chiuso su 7+7 corsie larghe 3,65 m, lunghe 32,5 m, in cumuli alti 2,30 m. Sono previsti 6 rivoltamenti su cicli di circa 32 giorni per mezzo di una macchina automatica trasportata da un carroponte.

La fase di maturazione si svolge su 9 cumuli di 40x6x2,5 m in cicli di 40÷65 giorni con 3÷5 rivoltamenti per ciclo.

## I COSTI

Relativamente ai costi di investimento è previsto un totale lavori a base d'asta di circa 38,6 miliardi (di cui circa 10,7 per l'impianto di depurazione reflui civili, 12,3 per la co-digestione e 5,9 per il compostaggio) che sommato alle somme a disposizione porta ad un investimento globale di circa 44 miliardi.

Per quanto riguarda i costi di gestione si prevedono circa 2,8 miliardi/anno (circa 800 milioni per la depurazione civile, circa 1,4 miliardi per la co-digestione e circa 600 milioni per il compostaggio).

I ricavi stimati, non tenendo in considerazione i possibili proventi derivanti dalla vendita del compost e dal conferimento dei reflui zootecnici, ammontano a circa 2,5 miliardi.

### 3.4.2 L'impianto di "Braunschweig-Watenbüttel" (Germania)

#### PREMESSA

In Germania (M. Kranert, K. Hillebrecht, 2000) circa 8 milioni di tonnellate/anno di rifiuti organici preselezionati (biowastes) vengono sottoposte a trattamento biologico: l'85% sono compostati e il 15% sono sottoposti a digestione anaerobica. Attualmente ci sono 44 impianti di digestione anaerobica di biowastes con una capacità di circa 1,2 milioni di tonnellate/anno. L'80% di questi impianti opera in fase liquida (wet digestion) e per la maggior parte in co-digestione (mediante l'alimentazione prevede il 25% di biowaste, il 25% di scarti organici agroindustriali e il restante 50% di liquami zootecnici e fanghi di depurazione). Circa il 60% di questi impianti è un monostadio, di cui il 75% operante in fase liquida e in mesofilia (35-37 °C). I digestori operanti in fase solida (dry digestion) sono, invece, per la maggior parte, condotti in regime termofilo (circa 55°C).

#### DESCRIZIONE GENERALE

L'impianto KOMPO-GAS della Braunschweiger Kompost GmbH situato a Braunschweig-Watenbüttel (Germania) è stato costruito dalla Bühler GmbH Germany nel 1997 e tratta 20000 t/a di rifiuti organici (figura 33).

I rifiuti organici raccolti in modo differenziato sono sottoposti ad un processo anaerobico termofilo. Durante la prima fase del processo si separano le impurità dalla biomassa e quest'ultima viene ridotta in piccoli pezzi per aumentare la superficie specifica e rendere così più agevole la digestione. Attraverso un miscelatore si aggiunge acqua (il refluo chiarificato derivante dalla disidratazione del digerito) quanto basta per ottimizzare il substrato in funzione della digestione e dopo questo pretrattamento la biomassa entra nel reattore.

Il substrato passa attraverso uno scambiatore di calore, dove viene riscaldato ad una temperatura costante di 55°C, e pompato poi nel reattore. Il materiale digerito viene riportato all'interno del digestore attraverso un sistema interno di ricircolo fungendo così come una sorta di "materiale di inoculazione".

L'impianto KOMPO-GAS è un digestore orizzontale. Come conseguenza si innesta un flusso, tipico dei processi semi-continui, con una sosta costante del digerito, necessaria per prevenire eventuali flussi di corto circuito. È garantita una totale igienizzazione della biomasse in uscita assicurata dal

processo termofilo. Si producono 80 – 140 m<sup>3</sup> di biogas con circa il 60 % di metano per tonnellata di biomassa. Il biogas è utilizzato previa deumidificazione, in alimentazione a cogeneratori alloggiati in container vicini all'impianto di trattamento.

Il tempo di ritenzione del materiale organico all'interno del reattore è all'incirca pari a 20-22 giorni, in funzione della capacità volumetrica del digestore e delle variazioni stagionali dei quantitativi di rifiuto in arrivo all'impianto.

Il residuo digerito (25 – 30 m<sup>3</sup>/d) viene sottoposto a disidratazione sino ad ottenere un secco del 35% circa, quindi viene avviato ad un processo di compostaggio aerobico in cumulo rivoltato sotto capannone per altri circa 10 giorni. L'aria esausta dalle varie fasi di trattamento è trattata tramite biofiltro.

#### PARAMETRI DI PROCESSO E BILANCI

**Tabella 13 - Parametri di processo dell'impianto di digestione "Braunschweig-Watenbüttel" - Il bilancio del flusso di massa è basato sul periodo 11/98 - 12/98**

Parametro	Valore
Capacità	20000 t/a
Pre-trattamento	tempo di ritenzione ~ 3 d
Digestore	tempo di ritenzione ~ 20 d, T = 55°C
Postcompostaggio aerobico	tempo di ritenzione ~ 10 d
Residuo	25 – 30 m <sup>3</sup> /d
Gas prodotto	5000 m <sup>3</sup> /d
Energia prodotta	30000 kWh/d
Potenza installata	~ 710 kW

L'input giornaliero di rifiuti organici varia tra 25 – 55 t (con contenuto in acqua compreso tra 50% - 70%) e 15 - 30 t di acqua derivante dalla disidratazione del digerito pressione. All'uscita del digestore il contenuto di acqua raggiunge l'80%. L'entità della degradazione del materiale organico varia fortemente in funzione della composizione della biomassa in ingresso ed è compresa tra il 34% e il 91%. Il tenore in solidi volatili si riduce di una percentuale compresa tra il 47% - 52%.

Il pH nel digestore varia tra 7 e 8,2 e si stabilizza nel corso della fermentazione. Nel miscelatore (biomassa-acqua di disidratazione) si misurano valori anche inferiori a 4,5.

Nel periodo 19.11.1998 - 22.12.1998 è stato calcolato, su di un ingresso totale di 1407 t di biomassa, il bilancio energetico dell'impianto di "Braunschweig-Watenbüttel". Durante questo periodo sono stati prodotti circa 132.500 Nm<sup>3</sup> di biogas equivalenti all'incirca a 715.000 kWh. Circa il 60% dell'energia (430.000 kWh) era termica, il 30% (215.000 kWh) è stata trasformata tramite i generatori in elettricità, ed il restante 10% (70.000 kWh) è stato perso.

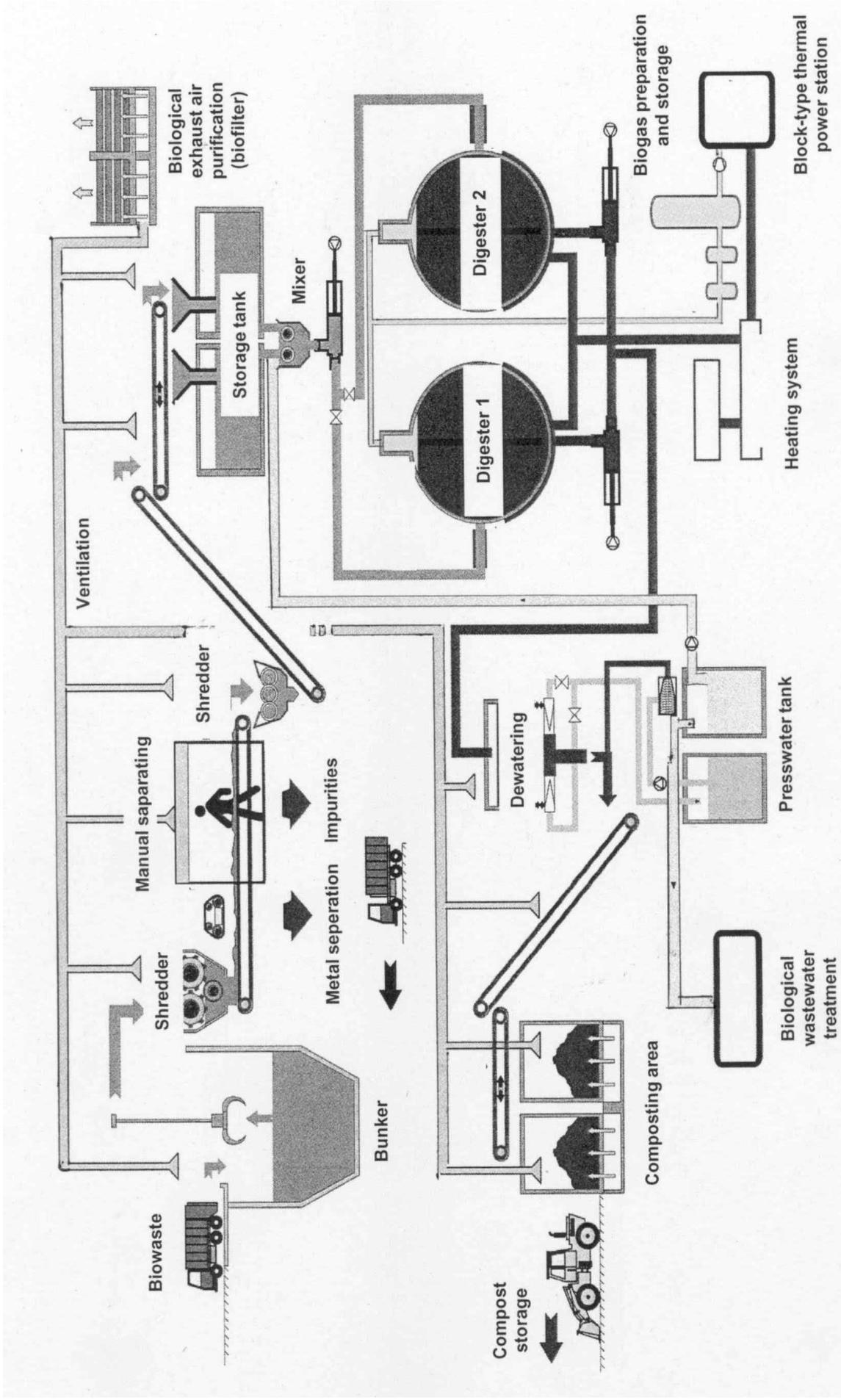
Per il funzionamento del digestore sono stati utilizzati 75.000 kWh di elettricità e 120.000 kWh di energia termica. La rimanente elettricità (140.000 kWh) è stata immessa nella rete elettrica locale, mentre il calore residuo prodotto (310.000 kWh) è stato dissipato senza nessun riutilizzo.

#### I COSTI

L'impianto è costato, come investimento, circa 20 miliardi di Lire (circa 20 milioni di marchi tedeschi). I costi di esercizio ammontano a circa 50-60.000 Lire per tonnellata di rifiuto trattato (circa 50-60 DM/t).



Figura 33 - Schema dell'impianto KOMPO-GAS situato a Braunschweig-Watenbüttel (Germania)



### 3.4.3 L'impianto consortile di Marsciano (PG)

L'impianto consortile di digestione anaerobica di Marsciano (PG) è stato costruito nel 1987 ed è entrato in piena attività nel 1988. L'impianto dal 1994 è gestito dalla S.I.A. S.p.A., una società pubblico/privata che si occupa dei servizi di igiene pubblica nell'area circostante all'impianto. L'impianto di disinquinamento di Olmeto è nato per consentire il recupero di *energia e fertilizzanti* dai reflui degli allevamenti zootecnici, con la contemporanea *soluzione dei problemi legati all'elevato impatto ambientale* degli stessi

L'impianto riceve deiezioni suine, bovine e avicole da circa 80 aziende (aderenti alla Cooperativa Ecologica Allevatori Marsciano-C.E.A.M.). Il liquame zootecnico è trasportato all'impianto prevalentemente (circa l'85% del volume conferito) mediante una rete di circa 50 km di condotte sotterranee. L'impianto tratta anche reflui provenienti dalle aziende di produzione dell'olio d'oliva e da macelli.

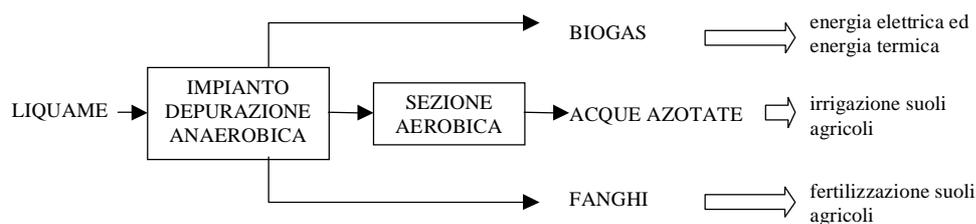
Attualmente l'impianto riceve 300-400 m<sup>3</sup> di biomassa al giorno (contro un carico giornaliero previsto da progetto di 800-900 m<sup>3</sup>/giorno). E' in corso di studio un progetto per l'ampliamento del bacino di utenza dell'impianto di Marsciano, al territorio limitrofo del Comune di Perugia, avente problemi legati all'elevato impatto ambientale dei reflui zootecnici. Il progetto prevede il trattamento di ulteriori 250 m<sup>3</sup>/giorno di liquame, giungendo così ad un quantitativo complessivo di circa 600 m<sup>3</sup>/g.

L'impianto era originariamente costituito da:

- una vasca di ricezione del refluo sia animale sia di altra natura organica,
- due reattori anaerobici primari,
- un reattore secondario,
- una sezione per la disidratazione fanghi,
- due lagune per lo stoccaggio dell'effluente proveniente dal digestore secondario e dalla sezione disidratazione fanghi;
- una sezione per il trattamento e l'utilizzo del biogas, costituita da un sistema di purificazione e successivo stoccaggio del gas, una stazione di cogenerazione, una sezione per l'essiccamento del tabacco e delle granelle di mais e una torcia.

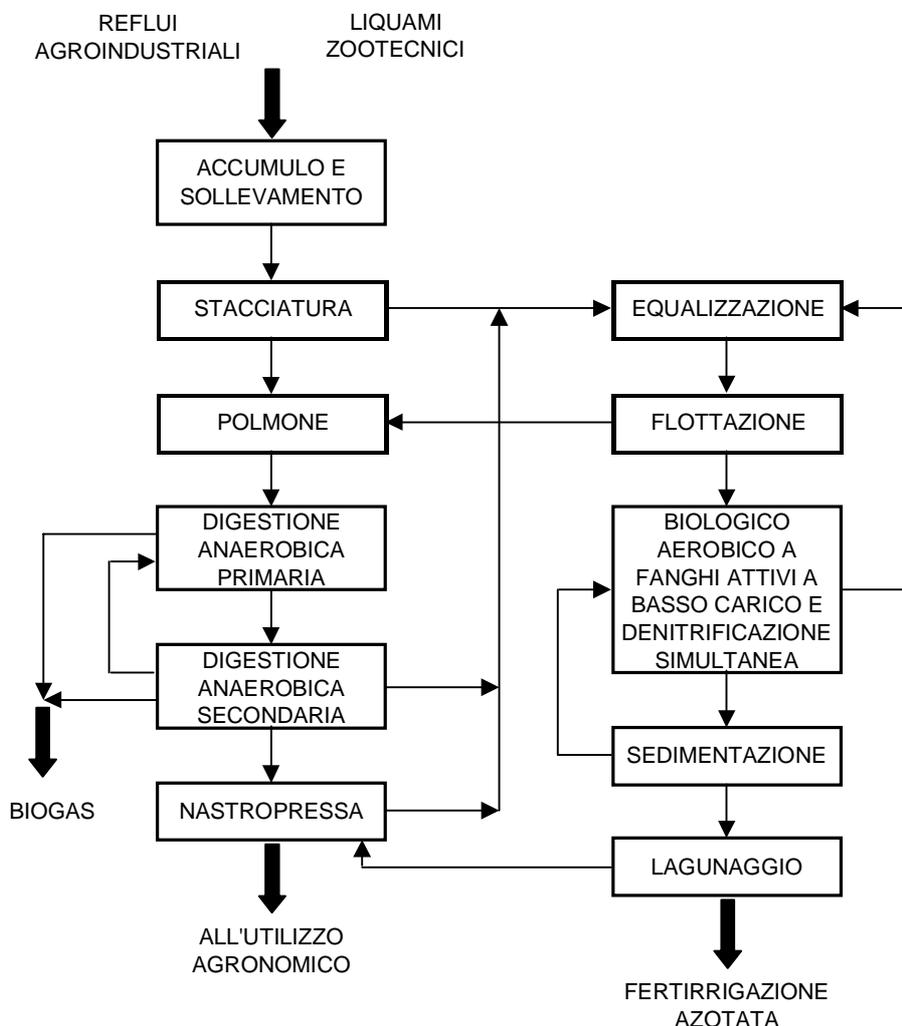
Attualmente, ottobre 2000, è in fase di completamento e di avvio una nuova linea di trattamento aerobico che si affianca ai digestori anaerobici secondo il principio di funzionamento riassunto nello schema (*figura 34*) che segue.

**Figura 34 – Schema di funzionamento dell'impianto di Marsciano (PG)**



Con il prossimo anno il processo che si adotterà per il trattamento dei reflui in arrivo all'impianto sarà quello riassunto nello schema a blocchi (figura 35) che segue.

**Figura 35 – Schema a blocchi dell'impianto di Marsciano (PG)**



I reflui animali e il rifiuto organico sono raccolti in una vasca di pre-stoccaggio. In questa vasca il liquame è mescolato per assicurare completa omogeneità e per evitare la sedimentazione di solidi sul fondo. Il liquame può essere inviato direttamente ai digestori anaerobici o alla flottazione. Nel secondo caso ai digestori viene alimentato il fango di flottazione e il chiarificato va alla linea aerobica a fanghi attivi.

La biomassa è digerita in un processo a due stadi; i due reattori primari sono completamente miscelati e hanno un volume di 6000 m<sup>3</sup> ognuno mentre il reattore secondario funge sia da sedimentatore che da gasometro e ha un volume di 2000 m<sup>3</sup>. I reattori primari sono riscaldati per mezzo di scambiatori di calore, termicamente isolati da una copertura di resina poliuretanica, miscelati per mezzo di un sistema di insufflazione di gas pressurizzato. La temperatura di digestione è di circa 35°C.

Il digestore secondario, non riscaldato, consente una maggiore produzione di gas grazie al ricircolo al reattore primario del fango sedimentato sul fondo (ricco di biomassa attiva).

L'impianto è costituito anche da una sezione di purificazione del gas in cui si attua una desolfurazione per prevenire la corrosione ed evitare concentrazioni tossiche di solfuro di idrogeno ( $H_2S$ ). La rimozione di  $H_2S$  è realizzata per mezzo di sodio ipoclorito in una torre di lavaggio; il biogas purificato che esce dalla cima della colonna è ricco di acqua che deve essere rimossa onde evitare accumulo di condensa nella linea del gas con conseguente possibile formazione di soluzioni acide corrosive.

L'impianto è dotato di tre moduli cogenerativi: complessivamente la potenza elettrica installata è di 800 kW e quella termica è di 1.600 kW. Si produce energia elettrica con una resa del 20-30 % ed energia termica con una resa del 60-70 %, l'efficienza globale dei motori è dell'85 %. L'energia elettrica prodotta viene utilizzata per il fabbisogno dell'impianto; le eccedenze sono vendute all'ENEL.

L'energia termica è impiegata per riscaldare i digestori primari e la palazzina degli uffici situata nell'area dell'impianto

La produzione di biogas attuale ammonta a circa 5300  $m^3$ /giorno (la produzione totale annuale nel 1997 ammontava a 1921000  $m^3$ , 1884000 dei quali erano indirizzati ad usi termici ed elettrici).

La produzione annuale totale di energia elettrica nel 1997 è stata di 2.263.755 kWh con 1.152.800  $Nm^3$  di biogas usato per la cogenerazione. Durante il periodo invernale, se il sistema di cogenerazione è insufficiente a garantire un riscaldamento ottimale dei digestori, è previsto l'utilizzo di un boiler ausiliario da 1450 kW di potenza. Il biogas prodotto può essere utilizzato anche per alimentare le fornaci a gas per l'essiccamento del tabacco e delle granelle di mais.

Attualmente l'efficienza totale di rimozione del COD è circa il 79%: la concentrazione media del COD del refluo in ingresso è circa 39000 mg/l mentre quella dell'effluente è circa 8000 mg/l. Con l'avviamento della nuova linea aerobica a fanghi attivi si prevede di ottenere un effluente con un COD inferiore ai 400 mg/l e con un tenore di azoto (prevalentemente in forma nitrica) inferiore ai 700 mg/l.

Il fango digerito è disidratato mediante nastropressa e dopo un periodo di stoccaggio su apposita platea in cemento viene utilizzato in agricoltura ai sensi del D.lgs 99/92.

L'impianto ha una capacità di stoccaggio, nelle due lagune presenti, della frazione liquida corrispondente a circa 240 giorni. L'effluente proveniente dal digestore secondario (attualmente pari in media a circa 240-260  $m^3$ /giorno) e dalla sezione disidratazione fanghi è raccolto nelle lagune e quindi utilizzato per lo spandimento agronomico attraverso un sistema di fertirrigazione interrato costruito in connessione con l'impianto.

#### **LA CO-DIGESTIONE ANAEROBICA PER IL TRATTAMENTO DEL BIOWASTE**

SIA spa gestisce il servizio di nettezza urbana per il territorio dei Comuni di Marsciano, Giano, Collazzone e San Venanzo ed è in procinto di attivare un piano per la raccolta secco-umido presso le utenze domestiche e le grandi utenze specializzate (ristoranti, mense, ecc.) di tutto il territorio servito (circa 25.000 abitanti equivalenti).

La produzione attuale di rifiuti nella zona interessata è di 1,1 kg/abitante-giorno per un totale di circa 10.000 ton/anno. Sulla base dei risultati ottenuti in realtà territoriali simili dal punto di vista socio-economico si prevede un'efficienza nell'intercettazione dell'organico (escluso il verde da potature, destinato al compostaggio) del 20%. La quantità di *biowaste* generata sarà quindi di 2.000 ton/anno circa.

L'imminente attivazione della raccolta differenziata del *biowaste* e la presenza nel territorio dell'impianto di trattamento dei liquami zootecnici descritto in precedenza, gestito peraltro dalla stessa società SIA, offre l'opportunità per sperimentare una soluzione impiantistica inedita per la

realtà Italiana, ma già diffusa in altri paesi Europei, quali la Danimarca e la Germania: la co-digestione anaerobica del *biowaste* con i liquami zootecnici.

Nel caso specifico dell'impianto di Marsciano, con il trattamento congiunto delle due biomasse si possono ottenere diversi vantaggi:

- riduzione delle diseconomie derivanti dalla sottoutilizzazione dell'impianto;
- miglioramento dell'efficienza del processo per aumento del carico organico del materiale in ingresso;
- possibilità di trattamento in loco del *biowaste* (risparmio sul trasporto agli impianti di compostaggio).

#### ADEGUAMENTO IMPIANTISTICO

Per mettere l'impianto in condizione di ricevere il nuovo flusso di materiale organico dovrà essere realizzata una sezione aggiuntiva per l'inserimento del *biowaste* nel processo.

##### 1. Ricevimento e pretrattamento

Gli automezzi provenienti dalla raccolta differenziata dell'organico domestico, dopo pesatura, scaricano il *biowaste* nella tramoggia di carico di una macchina rompisacchi seguita da un vaglio a tamburo rotante (con fori da  $\varnothing$  35 mm), da un separatore magnetico a nastro ed infine da un tritratore a martelli per un primo sminuzzamento del materiale.

##### 2. Diluizione

Il rifiuto sminuzzato è poi immesso in una vasca di diluizione dove viene aggiunta acqua di ricircolo (acque azotate) nella quantità sufficiente a rendere pompabile la miscela: è previsto un rapporto di diluizione compreso fra 1:2 e 1:3. In questa fase possono essere separati materiali indesiderati pesanti che sedimentano e vengono rimossi dal fondo e materiali leggeri (plastica) che galleggiano e sono allontanate con un raschiatore, mentre i materiali organici sminuzzati vengono mantenuti in sospensione per mezzo di agitatori lenti.

##### 3. Miscelazione

La sospensione viene poi pompata verso la vasca di equalizzazione dei liquami, per mezzo di una pompa-tritratrice che opera lo sminuzzamento fine del materiale (particelle  $\varnothing$  1-2 mm). Seguono le fasi già descritte di trattamento.

A seguito delle modifiche descritte sarà necessario procedere ad una ottimizzazione gestionale delle operazioni di pretrattamento e miscelazione del *biowaste* e delle procedure di gestione delle diverse fasi del trattamento anaerobico e di quello aerobico. I principali parametri di processo sui quali è possibile agire per ottenere la massimizzazione dell'efficienza della digestione anaerobica sono:

- grado di diluizione del *biowaste* in ingresso attraverso una maggiore o minore quota di ricircolo delle acque azotate;
- pH della miscela in ingresso (il *biowaste* è molto acido e potrebbe essere necessaria una neutralizzazione con alcali);

Contemporaneamente si dovranno monitorare tutte le variabili e gli aspetti tecnologici che possono risentire delle mutate caratteristiche del materiale in ingresso.

- pH
- concentrazione degli acidi volatili;
- alcalinità totale;

- quantità del biogas prodotto (*efficienza di gassificazione*);
- qualità del biogas (contenuto in H<sub>2</sub>S);
- qualità delle acque azotate (*efficienza di rimozione*),
- qualità dei fanghi (contenuto in materiali estranei e metalli pesanti);

Occorrerà anche valutare sulla base delle caratteristiche dei fanghi disidratati in uscita dalla attuale linea di trattamento, l'opportunità di attivare un compostaggio aerobico per una ulteriore stabilizzazione e valorizzazione del materiale prima del suo utilizzo agronomico, anche in vista di una sua valorizzazione economica.

#### 4. Pretrattamento della frazione umida da raccolta differenziata in carenza di materiale ligneocellulosico

La gestione delle biomasse fortemente fermentescibili (residui alimentari quali frazione organica dei RU, mercatali, scarti dei servizi di ristorazione; biomasse agroindustriali ad alta putrescibilità quali cascami di macellazione, della lavorazione delle carni e della trasformazione dell'ortofrutta; fanghi di depurazione di origine urbana ed agroindustriale) richiede considerazioni processistiche articolate che guidino le scelte progettuali e gestionali.

Anzitutto è sempre opportuno il condizionamento delle miscele tramite l'aggiunta di un agente di "bulking" ("strutturante": in genere materiali ligneocellulosici quali cascami di potatura, trucioli, cortecce, paglie, lolle e pule, ecc.); l'obiettivo è quello di conferire alla massa porosità sufficiente e di contenerne l'umidità entro il limite del 70% - per sistemi "dinamici", ossia che prevedono il rivoltamento - o meglio del 55/60 %, - per sistemi statici o debolmente dinamici (basse frequenze di rivoltamento); tali limiti sono generalmente compatibili con la gestione aerobica del processo in ogni punto della massa e con il mantenimento delle condizioni di permeabilità all'aria.

Ciò implica la destinazione di una quota rilevante del flusso di materiali ligneocellulosici verso gli impianti di compostaggio delle biomasse putrescibili. Occorre ricordare, infatti, che il materiale ligneocellulosico rappresenta:

- ✓ il 40/50 % in peso della miscela iniziale avviata a compostaggio nel caso di sistemi statici;
- ✓ almeno il 20/30 % in peso nel caso di tecnologie dinamiche.

In alternativa, va considerato l'approvvigionamento di materiali alternativi di "bulking" dal settore agricolo e dall'agroindustria (trucioli, cortecce, lolle, paglie, ecc.), che però in diversi casi possono comportare oneri non trascurabili di acquisto e/o trasporto.

In definitiva, in particolare in aree dove non sono prevedibili forti flussi di materiali ligneocellulosici dalla gestione del verde pubblico e privato (come nelle aree metropolitane) o in cui le specifiche raccolte differenziate sono in corso di attivazione e sviluppo (quali quelle del centro e del sud Italia) sono da preventivare, a fronte di un aumento delle raccolte differenziate dell'organico domestico, diverse situazioni di compostaggio di biomasse fortemente fermentescibili in situazione di carenza di materiale ligneocellulosico strutturante.

Sono quindi da considerare con estremo interesse:

- ✓ le strategie adatte al trattamento di biomasse non strutturate (come la digestione anaerobica e la sua integrazione con il compostaggio, *vedi cap.3*),
- ✓ le iniziative di pretrattamento della frazione umida da raccolta differenziata volte a diminuire il fabbisogno di materiale strutturante in fase di compostaggio.

Di seguito si riporta un esempio già operativo in scala reale di pretrattamento volto a separare dai rifiuti organici una frazione solida, avviabile a compostaggio con minore fabbisogno di materiale ligneocellulosico, ed una liquida, avviabile a digestione anaerobica (in altri casi quest'ultima, se opportunamente stoccata, potrebbe essere invece reimpressa in ciclo per il ristoro dell'umidità in corso di maturazione).

## 4.1 Esempio applicativo

Presso l'impianto di compostaggio di S.E.S.A spa di Este, Padova è operativo il primo impianto di separazione dei rifiuti organici umidi in una frazione solida ed in una liquida, installato in Italia.

Di seguito viene descritto l'intero impianto di compostaggio, ponendo particolare attenzione alla sezione di selezione e precondizionamento degli scarti alimentari dove è inserito il separatore di cui sopra.

La S.E.S.A. S.p.A. risultava già titolare di un impianto di compostaggio, autorizzato per un quantitativo medio giornaliero di materiale da compostare (rappresentato da fanghi biologici, pollina, verde, frazione organica di rifiuti solidi urbani) pari a 220 t/g, con una potenzialità di trattamento complessivo pari a 62.050 t/anno, modificato ed ampliato con la variante progettuale che ha dato origine all'impianto nella sua versione attuale.

Il nuovo sistema di compostaggio adottato a servizio delle raccolte differenziate spinte attuate in vari Comuni, si basa sul compostaggio di materiale per lo più vegetale e organico (scarti di cucina, ecc.).

Tutte le operazioni di lavorazione dei rifiuti (ricezione, selezione, biossidazione accelerata e maturazione) avvengono all'interno di edifici coperti e tamponati, fra loro comunicanti.

Dal punto di vista funzionale, gli ambienti operativi possono essere schematicamente distinti come di seguito:

- Zona A: stoccaggio del materiale verde triturato, e stoccaggio finale del prodotto compostato,
- Zona B: ricezione e lavorazione della frazione umida e preparazione della miscela delle varie frazioni da compostare;
- Zona C: stoccaggio del compost maturo
- Zona D: maturazione e raffinazione del compost maturo
- Zona E (Biotunnel): biossidazione accelerata con governo elettronico delle funzioni di controllo dei processi;
- Zona F: scrubber per il pretrattamento dell'aria esausta.
- Zona G: biofiltro per il trattamento finale dell'aria esausta.

L'impianto è inoltre funzionalmente completato dai seguenti elementi:

- sala controllo e governo elettronico dell'impianto,
- vasca di raccolta FORSU pompabile per l'impianto di digestione anaerobica Agrilux
- rete di raccolta delle acque dei acque piazzali, vasche di stoccaggio e sistemi di riutilizzo delle stesse nel processo

Le misure delle varie porzioni dell'edificio sono le seguenti:

- la porzione A del capannone misura circa 35m x 30m.
- la porzione B del capannone misura circa 137m x 30m.
- la porzione C del capannone misura circa 40m x 30m.
- la porzione D del capannone misura circa 61m x 30m.

L'altezza interna utile dell'edificio è di 7.35 m con l'eccezione della zona corrispondente alle ultime 3 campate a sud dell'impianto di altezza utile pari a circa 10 m

L'edificio per i biotunnel ha forma rettangolare e misura complessivamente in pianta m 50 m x 60 m con altezza utile di 5 m circa; ogni tunnel ha dimensioni utili pari a m 50 x 4.75 x 5 H, e volume pari a 1190 mc circa.

#### **ACCESSO ALLA SALA CONFERIMENTO MATERIALI**

L'entrata alla sala conferimento avviene tramite n°4 portoni sezionali ad apertura rapida che si aprono con automatismo e relative fotocellule.

#### **PLATEA DI AERAZIONE DEL VERDE**

Per il verde è previsto che dopo la triturazione all'esterno sia stoccato all'interno della sala A, completata con pavimentazione aerata. L'insufflazione d'aria viene adottata per allontanare parte dell'umidità del materiale, influenzando concordemente sulla umidità della miscela iniziale.

#### **SELEZIONE E PRECONDIZIONAMENTO DEGLI SCARTI ALIMENTARI**

L'attrezzatura prevista per le fasi di pretrattamento è costituita da tre unità integrate:

prima unità: le attrezzature impiegate in questa fase sono:

1. tritratore/aprisacco
2. vaglio a tamburo rotante Ø 80 mm

La vagliatura dei rifiuti separa:

- ✓ il sovrvallo (formato prevalentemente dai sacchetti di contenimento, tali materiali vengono avviati a biostabilizzazione in tunnel dedicati onde abbattere la fermentescibilità delle parti organiche ad essi adese)
- ✓ l'umido; quest'ultimo è avviato alla fase successiva di pretrattamento per l'impianto di digestione anaerobica del Consorzio Agrilux di Lozzo Atestino (PD).

seconda unità: n. 2 sottostazioni in cui opera una macchina apposita ("Mashseparator" della ditta Komptech, importata in Italia dalla ditta Wirtgen macchine srl, vedi *figura 36*) intesa a separare una frazione solida/palabile da utilizzare per la preparazione dei cumuli da introdurre nei tunnel ed una frazione liquida/pompabile, destinata all'impianto di digestione anaerobica Agrilux.

terza unità: stoccaggio in vasca interrata sottostante le macchine operatrici della frazione organica pompabile da avviare al riutilizzo presso l'impianto di digestione anaerobica Agrilux.

La fase successiva è rappresentata dalla miscelazione nella sala B della frazione palabile con il verde per il suo successivo caricamento nel biotunnel.

Figura 36 - "Mashseparator" della ditta Komptech, importata in Italia dalla ditta Wirtgen macchine srl, immagini e dati presi dal catalogo 2000

# TECNICA DI PROCEDIMENTO

MASHSEPERATOR - IL CUORE DEL PROCEDIMENTO BSFC



Il procedimento BSFC non fa passare la totalità dei rifiuti attraverso la fermentazione; solo la parte liquida arriva alla fermentazione. La parte solida viene estratta dal Mashseparator e può esser processato in un impianto di compostaggio aperto.

- ✓ divisione dei rifiuti organici umidi in una frazione solida e una frazione liquida
- ✓ alto rendimento di portata grazie all'uso di coclee duplex
- ✓ prima di essere spremuto il materiale è preparato di maniera efficacissima
- ✓ la coclea della pressa è resistente ai materiali disturbanti
- ✓ protezione automatica degli aggregati della pressa



Il Mashseparator, cuore del procedimento BSFC, divide i rifiuti organici umidi in una frazione solida e una frazione liquida



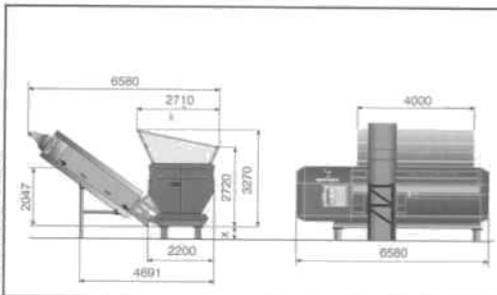
Il Mashseparator dispone di una protezione anti sovraccarica per garantire la protezione degli aggregati della pressa.

## MASHSEPERATOR

## DATI TECNICI

<b>comando</b>	motore Mercedes benz Diesel oppure 2 motori elettrici	162 kW 2 x 75 kW
<b>volume del contenitore</b>		15 m <sup>3</sup>
<b>portata<sup>1)</sup></b>	simplex duplex	7-14 m <sup>3</sup> /h 14-28m <sup>3</sup> /h
<b>dimensioni della macchina</b>	lunghezza totale larghezza totale altezza totale altezza di carica peso totale ammesso	6930 mm 2450 mm 3600 mm 3000 mm 15000 kg
<b>accessori supplementari</b>	telecomando radio 7 canali, dispositivo di pesa, impianto di comando elettrico <sup>2)</sup>	

<sup>1)</sup> in relazione al tipo di materiale e alla qualità della compressione; <sup>2)</sup> opzionale, <sup>3)</sup> nella versione elettrica



X ... separabili ausiliari

Nella scheda seguente vengono riportati i dati principali relativi a prestazioni ed effetti del sistema MASHSEPARATOR per la regolazione dell'umidità della miscela in ingresso. Vengono riportate due ipotesi di umidità del materiale lignocellulosico dopo la prestabilizzazione su platea aerata.

140.000ton/anno FORSU

56.000parte pompabile ad AGRILUX

84.000parte palabile a compostaggio

90%umidità parte pompabile

50.400 acqua asportata

80%umidità FORSU in ingresso

112.000 acqua iniziale

61.600 acqua residua

73 % umidità del FORSU a compostaggio

27 % s.s. del FORSU a compostaggio

25.200 ton/anno di verde

Dopo  
prestabilizzazione  
su platea insufflata

40%umidità del verde IPOTESI 1

66 % umidità della miscela

30%umidità del verde IPOTESI 2

63 % umidità della miscela

Nella *tabella 14* sono riportate le caratteristiche della frazione liquida risultante dal separatore ed avviata a digestione anaerobica.

L'impianto di digestione anaerobica Agrilux è gestito dalla stessa società che gestisce l'impianto di compostaggio SESA; esso è dotato di un reattore anaerobico operante in mesofilia con un volume di 5000 m<sup>3</sup> e il biogas prodotto viene utilizzato in cogenerazione.

**Tabella 14 - Analisi del liquido di pressatura di rifiuti da raccolta differenziata domestica ottenuto con il Mashseparator (Fonte: Wirtgen Macchine srl)**

Parametro	U. M.	VALORE
Umidità	% tq	88,0
Sostanza secca	% tq	12,0
Reazione	pH	3,25
Conducibilità	mS/cm	4,38
Sostanza organica ("degradable")	% ss	61,2
COD	mgO <sub>2</sub> /L	113.880
BOD5	mgO <sub>2</sub> /L	50.160
Solidi volatili	% ss	84,3
Carbonio totale	% ss	47,4
TOC	% ss	47,3
Azoto ammoniacale (NH <sub>4</sub> -N)	% ss	0,12
Azoto nitrico (NO <sub>3</sub> -N)	% ss	0,055
Azoto Kjeldahl	% ss	3,08
Azoto totale	% ss	3,15
Fosforo totale (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	% ss	1,10
Calcio (Ca)	% ss	5.730
Magnesio (Mg)	mg/kg ss	385
Potassio (K)	mg/kg ss	25.250
Manganese (Mn)	mg/kg ss	85,4
Cadmio(Cd)	mg/kg ss	0,26
Cromo totale (Cr)	mg/kg ss	18,8
Cromo VI (Cr VI)	mg/kg ss	1,53
Rame (Cu)	mg/kg ss	35,4
Nichel (Ni)	mg/kg ss	6,16
Piombo (Pb)	mg/kg ss	35,7
Mercurio (Hg)	mg/kg ss	< 0,3
Zinco (Zn)	mg/kg ss	127

#### TRATTAMENTO DI BIODIDAZIONE ACCELERATA NELLE BIOCELLE

Sono disponibili 14 tunnel, 2 dei quali dedicati alla biostabilizzazione dei materiali organici da separazione meccanica eseguita presso altri siti.

Dopo il riempimento del tunnel, inizia la fase di biostabilizzazione mediante trattamento aerobico.

L'aria di processo nella biocella è insufflata nella matrice da compostare dal basso, attraverso condotte all'interno del pavimento; temperatura, umidità e portata dell'aria sono controllate dal governo elettronico di processo secondo quanto preimpostato dal software di processo.

Nelle condizioni ideali di processo il ciclo completo di biossificazione ha una durata di 14 giorni.

Dopo aver attraversato la matrice organica nei biotunnel l'aria viene aspirata e miscelata secondo il ciclo di lavoro con aria fresca, e quindi di nuovo inviata al ventilatore per essere ricircolata nei biotunnel.

E' possibile miscelare l'aria di ricircolo con aria fresca, proveniente dalle aree di lavorazione, indipendentemente per ogni biotunnel nelle proporzioni previste dal ciclo di processo tramite una serranda, azionata dal governo elettronico dell'impianto per mantenere le concentrazioni di umidità,

ossigeno e temperatura del processo ottimale nelle singole biocelle.

L'aria di processo in esubero proveniente da ognuno dei due blocchi di biotunnel è inviata al trattamento finale prima dell'immissione in atmosfera mediante scrubber e biofiltro. Nei biotunnel può altresì essere immessa acqua di processo, con portata stabilita dal governo elettronico di gestione, per aumentare l'umidità della miscela fino alla percentuale ottimale impostata.

**Figura 37 - Vista esterna della sezione di biossificazione accelerata dal lato biofiltro**



#### **MATURAZIONE E RAFFINAZIONE**

Al termine del periodo di biostabilizzazione il tunnel viene svuotato ed il materiale viene accumulato per la fase di maturazione, la cui durata è fissata dalla DGRV 766/00 in 45 giorni.

Durante od alla fine della fase di maturazione il compost subisce le operazioni di raffinazione finale rappresentate da:

- una prima vagliatura con diametro dei fori di vagliatura Ø40; in tal modo vengono allontanati dal sistema gli scarti grossolani, con elevata presenza di film plastici ed altri materiali di disturbo, su cui si esegue una separazione delle plastiche prima dell'avvio a ricircolo dei materiali legnosi
- una successiva vagliatura per il materiale passante al precedente vaglio mediante vaglio a tamburo rotante a foro piccolo per l'ottenimento, da un lato, del terriccio compostato, e dall'altro, del sopravaglio a composizione prevalentemente legnosa da reimmettere nel processo come materiale a funzione strutturale.

#### **BIOSTABILIZZAZIONE DELL'ORGANICO DA SEPARAZIONE MECCANICA**

L'impianto ospita anche una linea di biostabilizzazione di scarto organico da separazione meccanica del rifiuto indifferenziato o residuo delle raccolte differenziate.

Circa 18.000 ton/anno, provenienti da separazione meccanica condotta in altri impianti sul territorio provinciale, vengono stabilizzate in due biotunnel dedicati per 14 giorni.

L'operazione comporta una perdita di peso, per mineralizzazione ed evaporazione, pari a circa il 40%. Il materiale trattato viene utilizzato come "biostabilizzato da discarica" ex DGRV n° 766/2000 per le coperture giornaliere della discarica adiacente.

**FLUSSI DELLE ACQUE METEORICHE E DI PROCESSO DALL'IMPIANTO DI COMPOSTAGGIO**

La raccolta del percolato formatosi in ogni biotunnel avviene in due serbatoi, ognuno con capienza di 300 mc, posti sotto la camera di lavaggio dei due scrubber.

La raccolta e lo stoccaggio delle acque meteoriche del piazzale esterno all'impianto di compostaggio può avvenire in diverse vasche e cisterne da cui possono essere poi prelevate e all'occorrenza impiegate per reintegrare le acque di processo (scrubber, biofiltro, biotunnel).

Le acque dei pluviali provenienti dai tetti non contaminate vengono convogliate direttamente alla rete di scolo superficiale.

I percolati-colaticci dello sgrondo della F.O.R.S.U., interni all'area di conferimento, lavorazione e selezione rifiuti (ad esclusione della frazione liquida prodotta dai due Mashseparator) vengono convogliati ad una vasca interna con volume di 640 m<sup>3</sup>. tali acque vengono utilizzate per le esigenze di reintegrazione periodica dell'umidità nelle sezioni di processo sensibili.

E' evidente che in un'ottica di sistema, in casi di mancata disponibilità di un impianto collegato di digestione anaerobica, il processo potrebbe avvalersi anche del ricircolo (in sezioni a maturazione progressivamente avanzata e ad umidità criticamente bassa), delle acque separate in fase iniziale dal Mashseparator.

## 5. Riferimenti bibliografici

- A cura CRPA (1996) – Biogas e cogenerazione nell'allevamento suino: manuale pratico – ENEL S.p.A..
- A cura del Gruppo di lavoro CITEC (2000) – Le linee guida per la progettazione, la realizzazione e la gestione degli impianti a tecnologia complessa per lo smaltimento dei rifiuti urbani- Sep Pollution 2000, Padova Fiere.
- A cura di C.R.P.A. (1996) - Rassegna di attrezzature per il compostaggio – tratta da “Annuario del compost di qualità” . Supplemento ad ACER n. 6.
- A cura di CRPA, SAPM, CIC - Annuario del compost di qualità 1999-2000. - Il Verde Editoriale – ottobre '99.
- A. Tilche, F. Malaspina (1998) – Biogas production in Europe: an overview”, atti della 10<sup>th</sup> European Conference “Biomass for energy and industry”, Würzburg, Germania, 8-11 Giugno 1998.
- AA.VV - Casi di studio: presentazione di impianti - 3° Corso Nazionale di Perfezionamento “Progettazione e gestione di impianti di compostaggio ” organizzato dal C.I.C., Reggio Emilia, maggio 1999.
- ANPA – ONR (2001), Rapporto rifiuti – Giugno 2001, Roma.
- ANPA-Rapporto interno-Recupero mediante compostaggio di scarti organici selezionati alla fonte- III° Obiettivo Intermedio. A cura di C.R.P.A.e Scuola Agraria del Parco di Monza, novembre 1998.
- Canovai, L. Bernardini, F. Valentini, U. Desideri (2000) – Possibilità di trattamento di biomasse da raccolta differenziata nell'impianto di trattamento anaerobico dei reflui zootecnici sito nel comune di Marsciano(PG)- relazione presentata al Convegno “Produzione ed utilizzo di biogas, recupero di energia e razionalizzazione del ciclo di trattamento rifiuti”, organizzato da Itabia nell'ambito della fiera Sep-Pollution 2000, Padova, 31/03/2000.
- Centemero M., Caimi V. – Impieghi del compost: settori di maggior rilevanza, modalità d'uso, scenari attuali di mercato - Atti del 2° Corso nazionale di Specializzazione CIC, Rimini, Settembre 2001.
- Cristoforetti A. (1998) - I sistemi operativi - Atti del 3° Corso nazionale di base: Produzione e impiego del compost di qualità. a cura del Consorzio Italiano Compostatori - S. Michele all'Adige, marzo.
- Favoino E.. Trattamenti biologici e ripristino ambientale: il punto di vista tecnico. Atti SEP-Pollution 1998, Padova.
- Favoino, E., Ricci, M., Tornavacca, A.: “Il rifiuto biologico tra i Quindici”. Rifiuti Oggi, Anno 10, nn. 102-104, pp. 28-29, 2000.
- Giacetti W. (1999) – Consorzio bacino di Padova Uno e Consorzio Tergola, la pianificazione e la gestione integrata delle biomasse nell'Alta Padovana- Atti del 3° Corso Nazionale di Perfezionamento “Progettazione e gestione di impianti di compostaggio” a cura del CIC, Reggio E., Maggio 1999.
- Grueneklee, E., “Produzione, qualità e marketing del compost in Germania”; Atti del Convegno:“Manifesto per il Compostaggio in Italia”, Milano, 1997.
- H. Kubler, M. Rumphorst (1999) – Evaluation of processes for treatment of biowaste under the aspects of energy balance and CO<sub>2</sub> emission – Atti del II International Symposium on Anaerobic Digestion of solid waste, Barcellona, 15-17 Giugno 1999.

- J. Barth (2000) – European compost production, sources, quantities, qualities and use in selected countries – Relazione tenuta al Convegno “Compost: la situazione nel 2000”, Sep-Pollution, 31.3.00, Padova.
- J. Mata-Alvarez, S. Macé, P. Llabrés (2000) – Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives – *Bioresource technology* 74, 3-16.
- Krogmann U. (1992) - Sistemi di compostaggio dinamici e semidinamici. Atti del 2° Forum Internazionale Recupero di risorse dai rifiuti di AMI e C.I.S.A.. C.I.S.A. Cagliari pp. 333-350.
- L. De Baere (1999) – Anaerobic digestion of solid waste: state of the art – atti del II International Symposium on Anaerobic Digestion of solid waste, Barcellona, 15-17 Giugno 1999.
- M. Bacchini (2000) – Il processo di fermentazione anaerobica delle frazioni organiche nel contesto del recupero dei rifiuti nel Consorzio Bacino di padova Uno – rapporto del Consorzio Tergola (PD).
- M. Kranert, K. Hillebrecht (2000) – Anaerobic digestion of organic waste, process parameters and balances in practice – Internet Conference on Material Flow Analysis of Integrated Bio-Systems, Marzo-Ottobre 2000, [www.ias.unu.edu/proceedings/icibs/ic-mfa](http://www.ias.unu.edu/proceedings/icibs/ic-mfa).
- Piccinini S. (1991) - La situazione del compostaggio in Italia: panoramica sugli impianti.- 1a Conferenza Nazionale sul Compostaggio – Atti di RICICLA '99, 21-24 ottobre 1999, Maggioli editore.
- Piccinini S. (2000) – Interessanti prospettive per il biogas da liquami zootecnici – L'Informatore Agrario, n. 13.
- Riva G., Navarotto P.L. (1991) - Macchine ed attrezzature per il compostaggio – Macchine e motori agricoli n. 4.
- Rossi L., Piccinini S. – Bio-ossidazione accelerata: proposte tecnologiche – Atti del Corso Nazionale di Specializzazione “Il compostaggio: novità e prospettive” C.I.C., Fiera di Rimini, Rimini, novembre 2000.
- Rossi L., Piccinini S. - I possibili sistemi operativi: tecnologie, macchine e attrezzature utilizzabili - 4° Corso Nazionale di base “Produzione ed impiego del compost di qualità” organizzato dal C.I.C., Valenzano (BA), maggio 1999.
- Rossi L., Piccinini S. - L'impianto di compostaggio per matrici selezionate: criteri progettuali e scelte tecnologiche - 3° Corso Nazionale di Perfezionamento “Progettazione e gestione di impianti di compostaggio” organizzato dal C.I.C., Reggio Emilia, maggio 1999.
- Zagaroli M., Canovai A., Mazzoni G.- La progettazione dell'impianto di compostaggio a tecnologia complessa - 3° Corso Nazionale di Perfezionamento “Progettazione e gestione di impianti di compostaggio” organizzato dal C.I.C., Reggio Emilia, maggio 1999.
- Ziviani L. (1998) – Metodi e tecniche impiegate nella trasformazione microbiologica, nella selezione e nel raffinamento dei prodotti ottenuti. Atti del 1° Corso Nazionale di aggiornamento e specializzazione: Produzione e impiego di compost. Istituto Agrario di S. Michele all'Adige (TN).
- Zorzi G., Cristoforetti A. (1995) - Logistica e cantierizzazione delle operazioni: macchine e sistemi operativi - Atti del Corso nazionale: Il compostaggio di qualità: criteri , sistemi, esperienze- S. Michele all'Adige, 3-7 aprile.