

LE SOLUZIONI TECNOLOGICHE PER IL COMPOSTAGGIO IN AMBIENTE CONFINATO: CONFRONTO TECNICO ED ECONOMICO

Lorella Rossi, Sergio Piccinini - C.R.P.A. SpA, Reggio Emilia (www.crpa.it)

1. INTRODUZIONE

I sistemi di compostaggio che prevalgono negli impianti di recente realizzazione o in fase di ampliamento e in diversi progetti in fase di approvazione sono “sistemi confinati o chiusi” quali biocelle, biocontainers, biotunnel, bacini, ecc.. La presente relazione si pone l’obiettivo di illustrare sinteticamente le caratteristiche salienti di quelle che in questi ultimi tempi stanno suscitando maggiore interesse. 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 [1, 2]. 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.

2. IL COMPOSTAGGIO IN AMBIENTE CONFINATO

Le motivazioni alla base del forte impulso che, rispetto a pochi anni fa [3], stanno avendo i sistemi chiusi sono verosimilmente le seguenti:

- lo svolgimento della prima fase di bio-ossidazione in ambiente confinato con controllo dei parametri di processo e trattamento delle arie esauste permette il rispetto delle prescrizioni 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);
- adottando sistemi confinati a minimo ingombro e modulari, gli impianti in esercizio possono aumentare la potenzialità di trattamento di scarti umidi e putrescibili, pur disponendo di spazi ristretti. 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;
- la modularità che caratterizza molti di tali sistemi ne consente l’adozione 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.

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 30 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 [4, 5].

3. RASSEGNA DELLE PRINCIPALI PROPOSTE TECNOLOGICHE PER IL COMPOSTAGGIO IN AMBIENTE CONFINATO

Di seguito si riporta una sintetica descrizione delle tecnologie proposte da ditte presenti sul mercato italiano per la prima fase del processo di compostaggio di scarti organici selezionati alla fonte.

La tabella 1 riporta i dettagli tecnici essenziali; nella parte descrittiva che segue si illustrano brevemente le peculiarità di ciascuna. Tutte le informazioni riportate sono state desunte dalla documentazione tecnica fornita direttamente dalla ditta proponente. 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.

I volumi utili associati a ciascuna tecnologia sono indicativi, in quanto spesso la volumetria è adattata alle esigenze specifiche del committente, così come le dotazioni impiantistiche accessorie.

Maggiori informazioni in merito a macchine o attrezzature e altre tecnologie di compostaggio possono essere desunte da precedenti relazioni riportate negli Atti dei corsi CIC degli anni scorsi (vedi bibliografia).

Tabella 1 – Caratteristiche salienti dei sistemi di compostaggio descritti (ca: cemento armato; ac: acciaio) [7]

| | BIOE BIOE CONTROL | CESARO IL GIRASOLE | DE.CO Bio-DE.CO | DE.CO Bio-DE.CO | ECODECO BIOCUBI |
|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--|
| Miscelatore Carico/scarico | sì pala | sì pala | -- pala | sì pala | sì automatico |
| TIPOLOGIA | cumulo statico | biocella statica | biocella statica | container scarrabile | biocella statica a ciclo continuo |
| <i>Unità di bio-ossidazione</i> | | | | | |
| Materiale | telo Gore-Tex | ca/ac | ca | ca | ca |
| Larghezza (m) | a richiesta | 4,5-6,0 | 5 | 2,5 | 20 |
| Lunghezza (m) | a richiesta | 20 - 40 | 15 | 6,5 | 80-100 |
| Altezza tot/utile (m) | -- | 5/2,5 | 4 | 2,5 | 13/3,0 |
| Vol. tot/utile (m ³) | -- | /1000-4000 | 300/ | 38/ | 26000/6000 |
| Movimentazioni | no | no | no | no | sì |
| Tempo rit. (giorni) | 15-20 | 14 | 14 | 14-18 | 20 |
| Modulo minimo (n° unità) | -- | -- | 3 unità | 6 unità | 1 |
| Capacità modulo (t/a) | -- | 10-40.000 | 7.500 | 2.500-3.000 | 25-40.000 |
| SISTEMA DI AERAZIONE | | | | | |
| Processo: n° vent. | 1/cumulo | 1/unità | 1 ogni 3 unità | 1/modulo | 23 in aspir |
| Ambiente.: n° vent. | -- | -- | unico | 1/modulo | -- |
| Ricircolo aria | no | sì | sì | no | no |
| Scambiat. di calore: | no | no | no | no | no |
| Controllo processo | | | | | |
| Parametri | T, U e O ₂ | T, U e O ₂ | T, U e O ₂ | T | T |
| Sito di misura: | massa | aria e massa | massa | massa | aria |
| Umidificaz. massa | no | sì | no | no | sì |
| Ricircolo percolato | no | sì, per scrubber | sì, unità ad hoc | no | sì |
| TRATTAMENTO ARIE ESAUSTE | | | | | |
| Scrubber | no | sì, ad acqua | -- | no | no |
| Biofiltro | no | 1/unità | unico | 1/modulo | 1 |

Tabella 1 (segue) – Caratteristiche salienti dei sistemi di compostaggio descritti (ca: cemento armato; ac: acciaio; opz: opzionale) [7]

| | ECOTEC SYSTEM THONI | ENTSORGA LE COCCINELLE | ENTSORGA SCARABEO | LADURNER HERHOF | SORAIN CECCHINI HUMIX | Tipo WENDELIN SUTCO |
|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Miscelatore Carico/scarico | si+vagliatura automatico | si pala | si pala | si pala | si pala | si automatico |
| TIPOLOGIA | biocella dinamica | container scarrabile | biocella statica | biocella statica | bacino a ciclo continuo | bacino a ciclo continuo |
| <i>Unità di bio-ossidazione</i> | | | | | | |
| Materiale | ac | ac | ca | ca | ca | ca |
| Larghezza (m) | -- | 2,5 | 8 | 4 | 10 | 33-35 |
| Lunghezza (m) | -- | 6,5 | 16 | 30 | 10 – 40 | 120– 140 |
| Altezza tot/utile (m) | -- | 2,65/1,5 | 4,5/ | 3,45/ | 3,5/2,5 | -/3,3-2,8 |
| Vol. tot/utile (m ³) | --/100 | 43/25 | 580/500 | 410/320 | /250-1000 | /2000-3000 |
| Movimentazioni | si | no | no | no | si | si |
| Tempo ritenz. (d) | 10-14 | 7-14 | 10-14 | 8-10 | 30 | 28-70 |
| Modulo minimo (n° unità) | 2 unità | 8 unità | 4 unità | 2 unità | 1 | 1 |
| Capacità modulo (t/anno) | 6.000-7.000 | 3.000-5.000 | 20-24.000 | 6.000-8.000 | 5.000-15.000 | 100-200.000 |
| SISTEMA DI AERAZIONE | | | | | | |
| Processo: n° vent. | 1/unità | 1/modulo | 1/unità | 1/unità | 2 | 4-7 |
| Ambiente: n° vent. | 1/unità | 1/modulo | 1/unità | 1/unità | opz. | opz. |
| Ricircolo aria | si | no | si | si | opz. | opz. |
| Scambiat. di calore: | no | no | 1 | 2 | opz. | no |
| Controllo processo | | | | | | |
| Parametri | T [O ₂ , CO ₂] | T | T e O ₂ | CO ₂ e T | T | T |
| Sito di misura: | massa | massa | aria e massa | aria | aria e massa | massa |
| Umidificaz. massa | si | si | si | si | si | si |
| Ricircolo percolato | si | si | si | si | si | si |
| TRATTAMENTO ARIE ESAUSTE | | | | | | |
| Scrubber | si, ad acqua | no | no | | opt. | opt. |
| Biofiltro | multipli, scarrab. | 1/modulo | 1/modulo | unico | multipli | unico |

3.1 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).

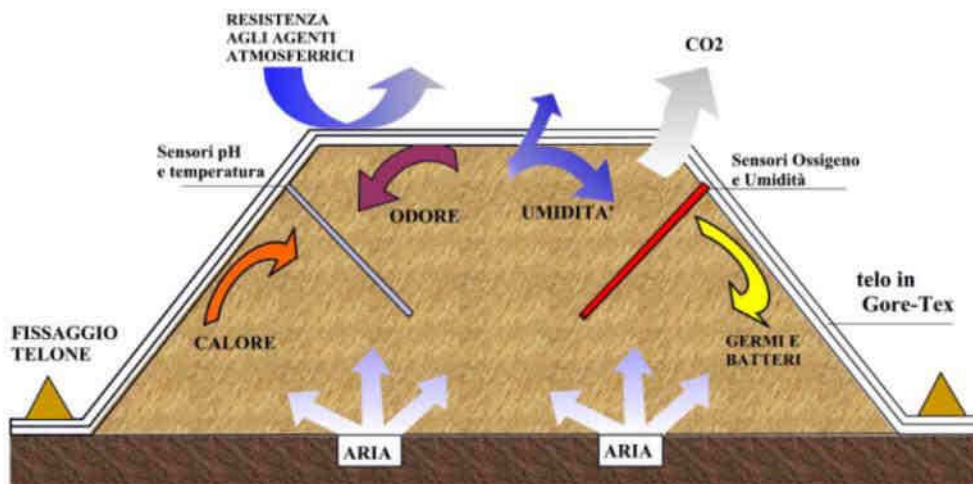


Figura 1 – Principio di funzionamento del telo Gore-Tex (Document. tecnica BIOE)



Figura 2 – Cumuli di RU indifferenziati coperti con telo Gore-Tex (Document. 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 da 0,03 €/kg per quantità modeste (1000-3000 t/anno) a 0,01 €/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.

3.2 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 m², cui corrisponde un volume utile sino a circa 4000 m³.

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.

3.3 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.

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 lignocellulosici 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 m³. Il gruppo di aspirazione e insufflazione dell'aria e il biofiltro 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.

3.4 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 3) con dimensioni standard.

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 una batteria di ventilatori che operano in aspirazione dal plenum posto sotto la pavimentazione fessurata in cemento, ognuno dei quali è al servizio di una sezione trasversale di 3,5 m di larghezza per 6 m di altezza, pari al volume giornaliero necessario; ogni sezione corrisponde quindi a una biocella virtuale non delimitata da pareti ma regolata singolarmente nel flusso d'aria. 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.

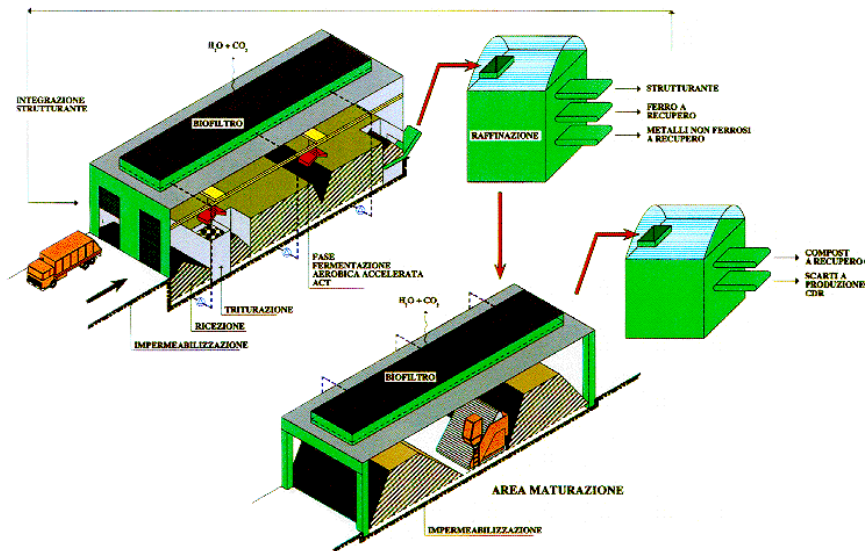


Figura 3 - Schema dell'impianto "BIOCUBI" per la bioessiccazione della frazione umida (Documentazione tecnica ECODECO).

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.

3.5 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 m³. Si tratta di containers sigillati di volume significativo collocati a punto fisso in 2 o più unità (figura 4). Alle unità di bio-ossidazione 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, ...).

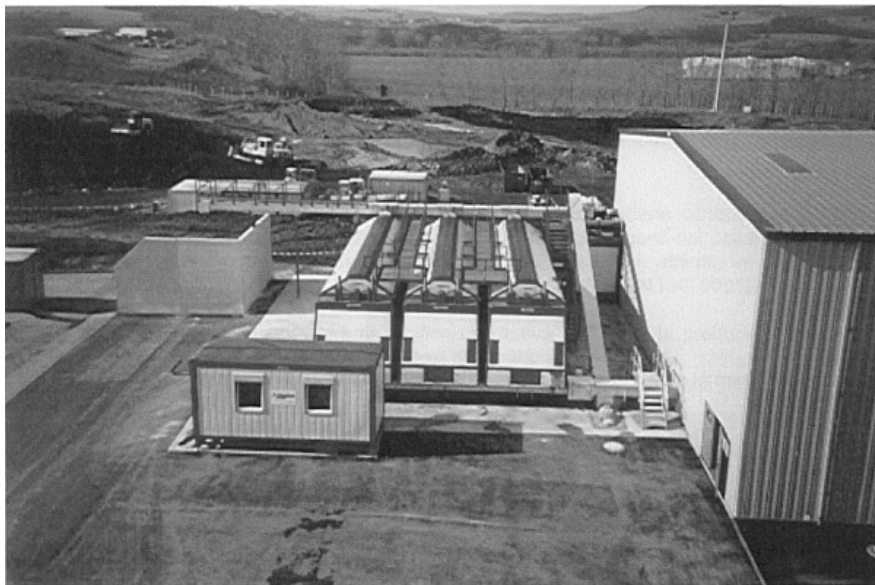


Figura 4 – Biocelle dinamiche Thöni TDM: impianto di Gera (D) (Documentazione tecnica Ecotec System.- Thöni)

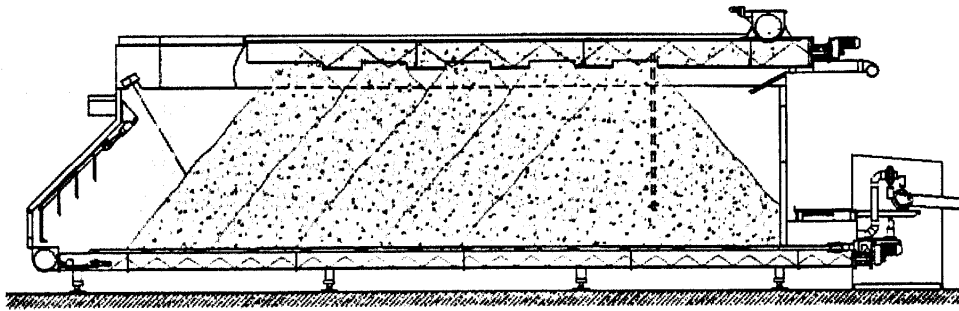


Figura 5 – Biocella dinamica Thöni TDM: modalità di riempimento (Documentazione tecnica Ecotec System.- Thöni)

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 5)

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 O_2 e 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. 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_2/O_2 nell'aria esausta. Allo scopo può essere impiegata sia aria fresca che aria ricircolata

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, costituito da biofiltri, di tipo a container scarrabili.

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 775.000 euro (anno 2000). In termini unitari, il costo di investimento varia da 100,00 a 130,00 €/t in ingresso.

3.6 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 m³ ciascuno.

Il singolo reattore, gestibile in modo autonomo sulla base dei conferimenti giornalieri di scarti umidi, una volta opportunamente posizionato all'aperto su platea (figura 6), deve essere collegato alla linea di processo (figura 7) 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. 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.

La portata d'aria massima installata varia da 1.700 a 3.400 m³/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 O₂/kg SV*h (l'indice statico è risultato invece inferiore a 500 mg O₂/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 circa 238.000,00 euro (460 milioni di lire) e comprende l'assistenza all'avvio (istruzione del personale, definizione delle miscele, ecc.).

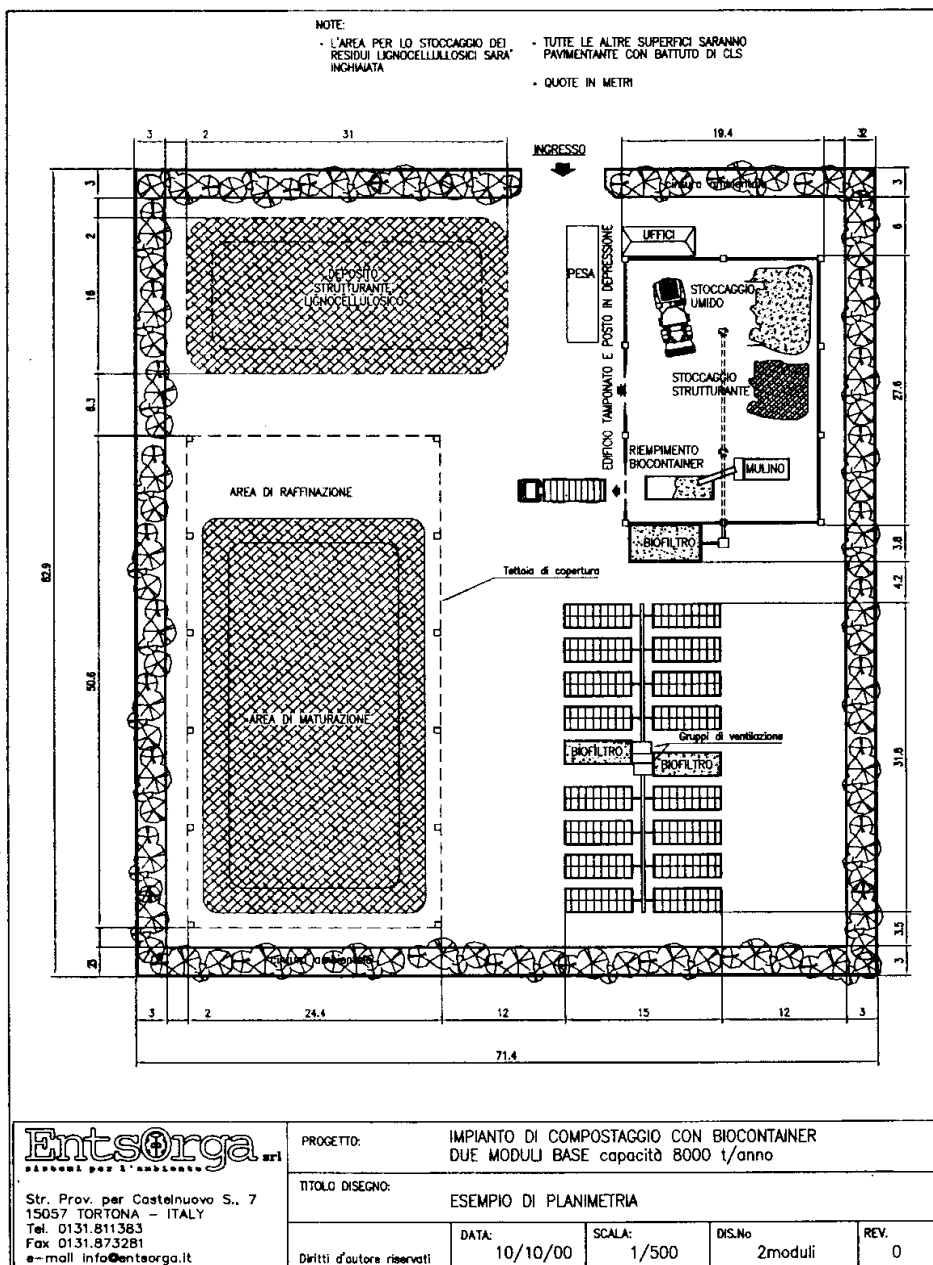


Figura 6 – Esempio di impianto con due moduli “LE COCCINELLE” (Documentazione tecnica Entsorga Italia)

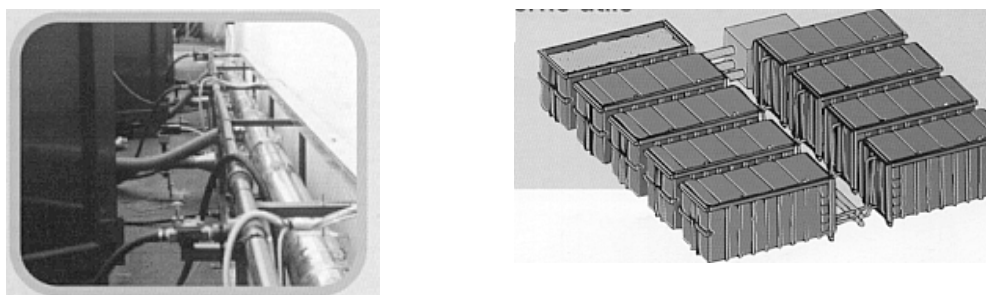


Figura 7 – Sistema di compostaggio “LE COCCINELLE” a biocontainer mobili (Documentazione tecnica Entsorga Italia)

3.7 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 8). 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.

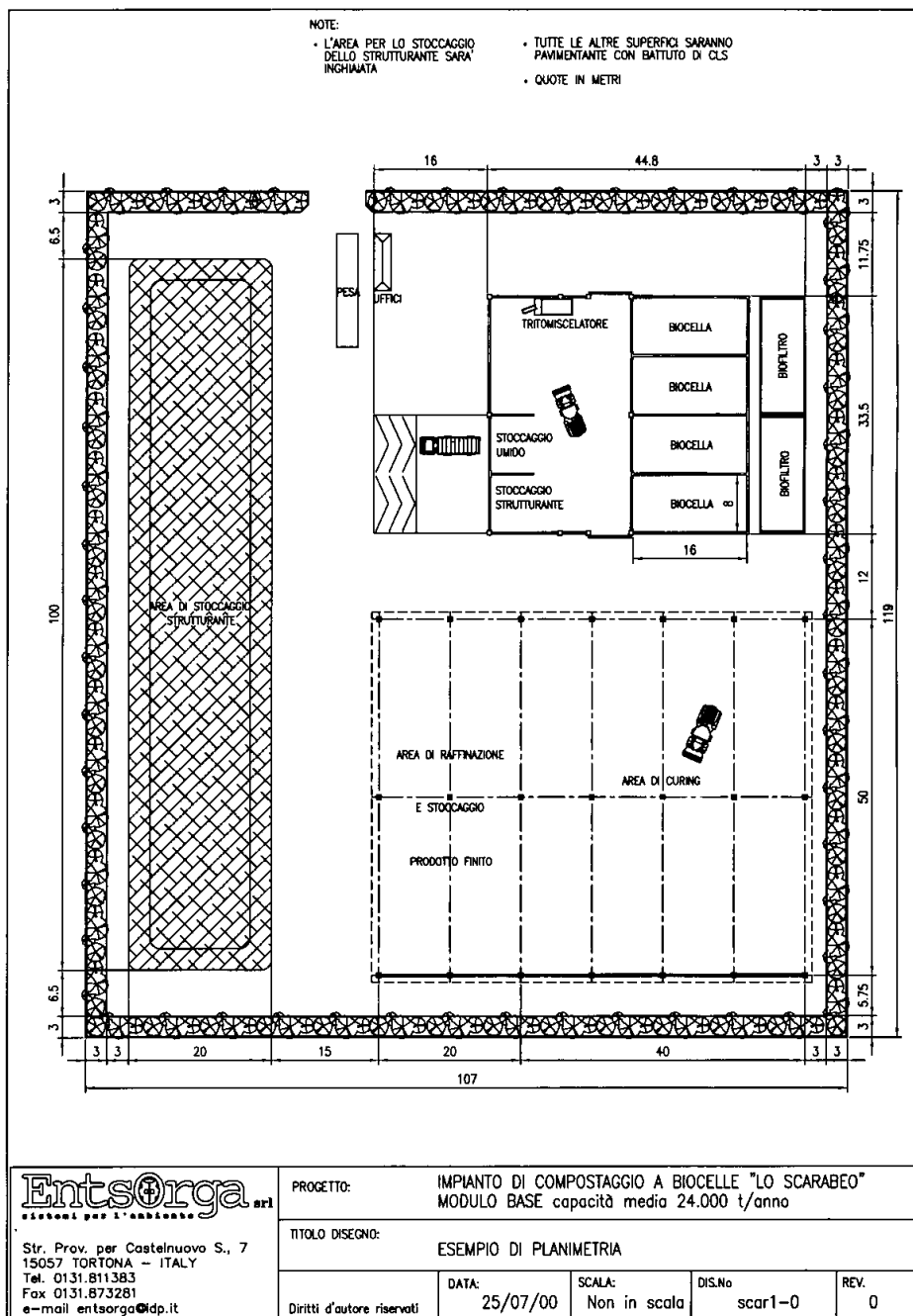


Figura 8 – Esempio di impianto a biocelle con modulo base “Scarabeo” (Documentazione tecnica Entsorga Italia)

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 649.000,00 euro (anno 2000). In termini unitari il costo di investimento ammonta a circa 27,00-33,00 €/t in ingresso.

3.8 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 m³.

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 9).

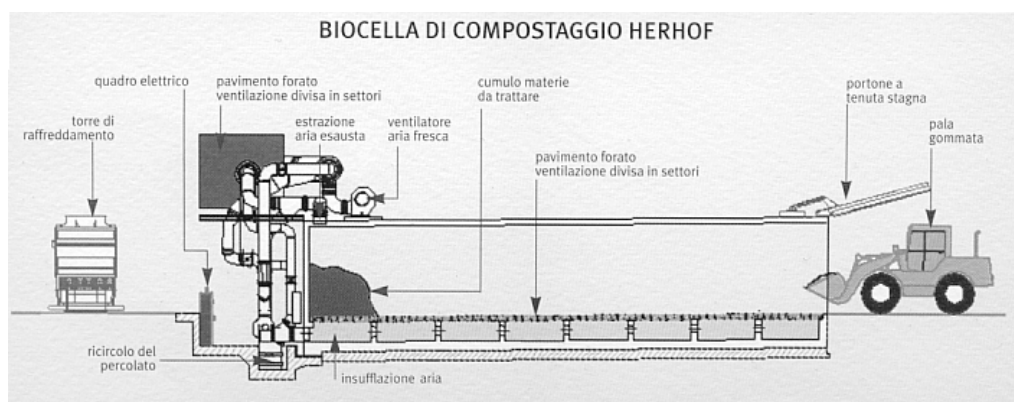


Figura 9 – Sezione della Biocella di compostaggio Herhof. (Documentazione tecnica Ladurner – Herhof)

L'aria esausta, aspirata dalla parte superiore della biocella, viene continuamente reimpressa nella parte bassa. 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.

Mediamente, della portata oraria (circa 3.200-3.600 m³/h per l'unità di volume utile di 320 m³) 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.



Figura 10 – Batteria di biocelle: zona di carico-scarico. (Documentazione tecnica Ladurner – Herhof)

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 CO₂ 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 m³ per arrivare a circa 63 kW per biocella di volume utile di 320 m³.

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 (figura 10).

Il costo di investimento (anno 2000) per l'unità di maggiore dimensione (320 m³ utili) completa del sistema di aerazione, di trattamento delle arie esauste e di governo del processo, ammonta a circa 414.000,00 euro. In condizioni ottimali (presenza di 4-5 biocelle di volume maggiore), il costo unitario di investimento varia da 62,00 a 77,00 €/t di rifiuto in ingresso.

3.9 Sistema "HUMIX" – Sorain Cecchini Ambiente SCA, Roma

Si tratta di un sistema modulare con reattore orizzontale a ciclo continuo di tipo semplificato (figura 11); 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 riciclate, 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 1.033.000,00 euro. I termini unitari il costo di investimento è pari a circa 67,00 €/t di materiale in ingresso.

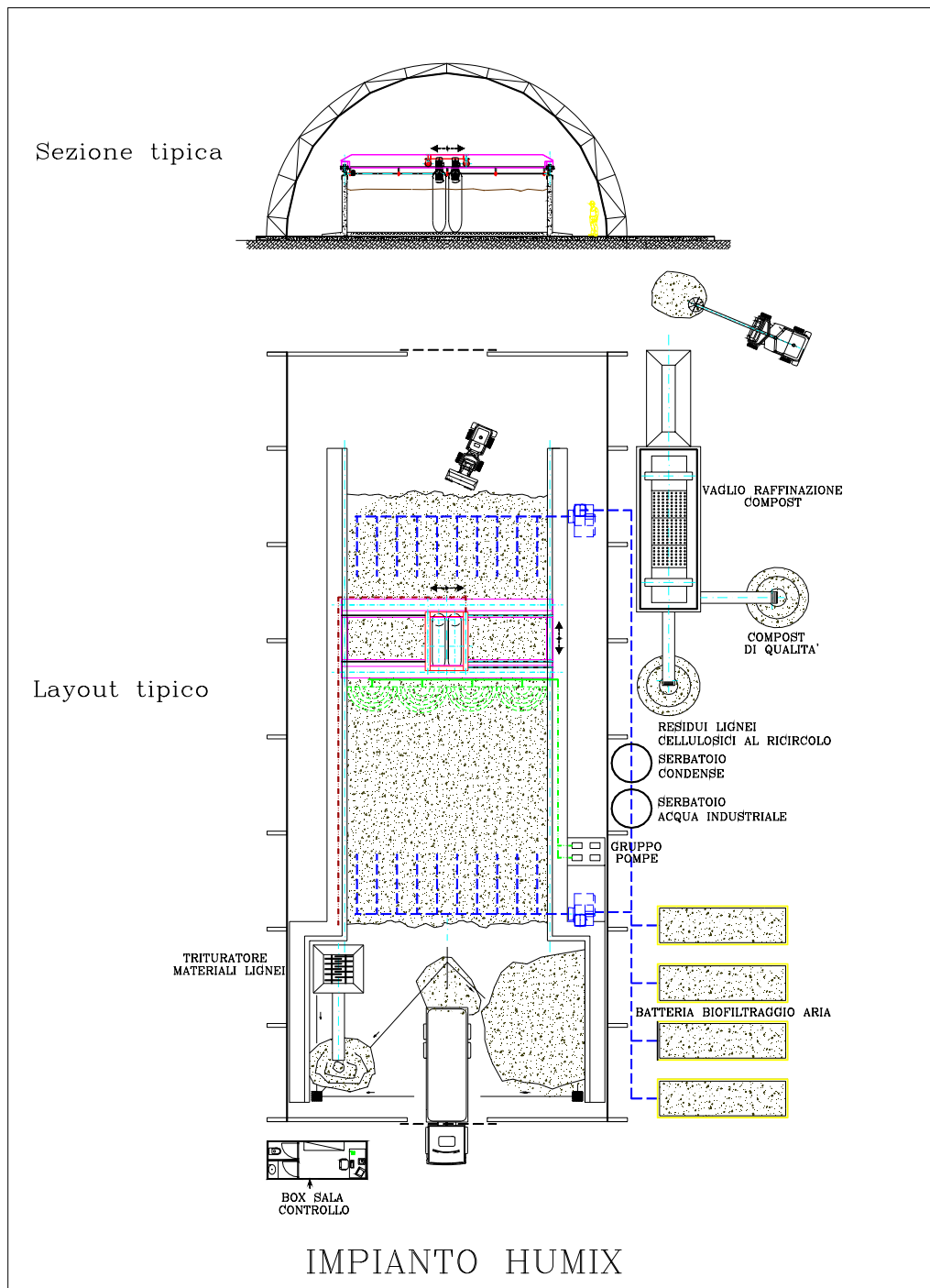


Figura 11 – Esempio di impianto con sistema HUMIX (Documentazione tecnica Sorain Cecchini Ambiente)

3.10 Sistema a BACINO A CICLO CONTINUO CON APPARATO TRASLATORE (tipo “WENDELIN”, “SUTCO”)

A differenza delle corsie dinamiche a ciclo continuo, il materiale è disposto in un'unica corsia di larghezza elevata (sino a 33-35 m) e di altezza sino a 3,3 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. 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 variabile da 10 a circa 30 cm) e scarica su un nastro elevatore trasportatore. Un secondo nastro trasportatore dispone in un nuovo cumulo il materiale proveniente dall'elevatore. 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 variabile da 5 sino a 10-12 settimane.

La tecnologia a bacino a ciclo continuo è presente in svariati impianti europei. Di recente è stata adottata anche in Italia in impianti di selezione RU per la stabilizzazione della frazione organica (Campania); l'applicazione su matrici selezionate conta una sola realizzazione (Treviso).

4. STIMA DEI COSTI DI INVESTIMENTO

4.1 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 bioossidazione 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. Più in particolare:

- *sistema a cumuli aerati e rivoltati meccanicamente (CR)*: rivoltamento con macchina traslatrice a rotori ad asse verticale, azionata da trattrice, di cumuli a sezione trapezoidale con base di almeno 10 m (tempo di ritenzione: 30 giorni). Potenzialità di trattamento: 10.000 e 20.000 t/anno;
- *sistema a trincea dinamica aerata (TD)*: 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. Tempo di ritenzione: 28 giorni. Potenzialità di trattamento: 20.000 e 40.000 t/anno;
- *sistema a biocella statica (BS)*: biocella in muratura a tenuta stagna con 2 scambiatori di calore per ricircolo aria esausta (3 biocelle con volume utile di circa 170 m³ ciascuna per 10.000

t/anno; per 20.000 e 40.000 t/anno rispettivamente 3 e 6 biocelle con volume utile di circa 300 m³ ciascuna). Tempo di ritenzione: *10 giorni*. Potenzialità di trattamento: *10.000, 20.000 e 40.000 t/anno*.

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 biocelle statiche. 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.

4.2. 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*. Si richiama l’attenzione, in particolare, sui diversi tempi di ritenzione, variabili da 10 a 30 giorni;
- adozione di criteri univoci di dimensionamento (tabella 2) 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 3);
- ad eccezione di ciò che riguarda la preparazione della miscela di partenza e della fase di bio-ossidazione, 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. Il costo del parco macchine è compreso nei costi di investimento totale, ma non in quelli di stretta pertinenza della fase di bio-ossidazione.

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”.

Tabella 2 – Descrizione delle zone funzionali dell’impianto e tempi di stoccaggio

| | |
|--|--|
| A. Ricezione matrici umide e miscelazione | - Al chiuso in depressione con invio arie esauste a trattamento - tempo di ritenzione: 3 giorni |
| B. Fase bio-ossidazione - tempo di ritenzione (giorni): | - Al chiuso in depressione con invio arie esauste a trattamento. Tempo di ritenzione variabile CR: 30 giorni TD: 28 giorni BS: 10 giorni |
| C. Maturazione | - Sistemazione in cumulo su platea coperta con periodiche movimentazioni - tempo di ritenzione: 60 giorni |
| D. Stoccaggio scarti lignocellulosici triturati | - Platea scoperta, compresa zona triturazione - tempo di ritenzione: 180 giorni |
| E. Stoccaggio compost finito | - Platea coperta, compresa zona vagliatura - tempo di ritenzione: 120 giorni |
| F. SUPERFICIE TOTALE (*) | (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 3 - Criteri di dimensionamento del sistema di trattamento delle arie esauste mediante biofiltro

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

4.3. 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 12) e varia da circa 1.8 milioni di euro per la taglia minore (10.000 t/a) a più di 6,2 milioni di euro 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 13), si nota come essi rappresentino mediamente non più del 40-50% del costo totale.

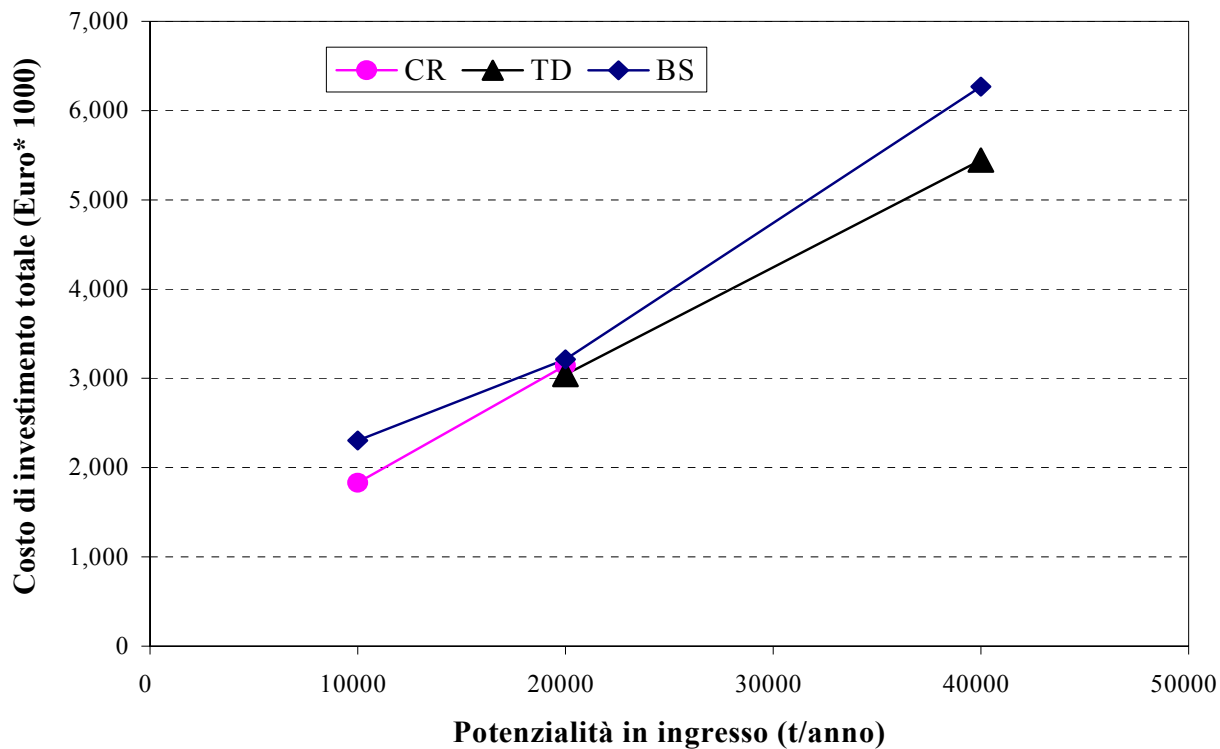


Figura 12 – Costi di investimento totale con tecnologie di compostaggio diverse in funzione della potenzialità di trattamento

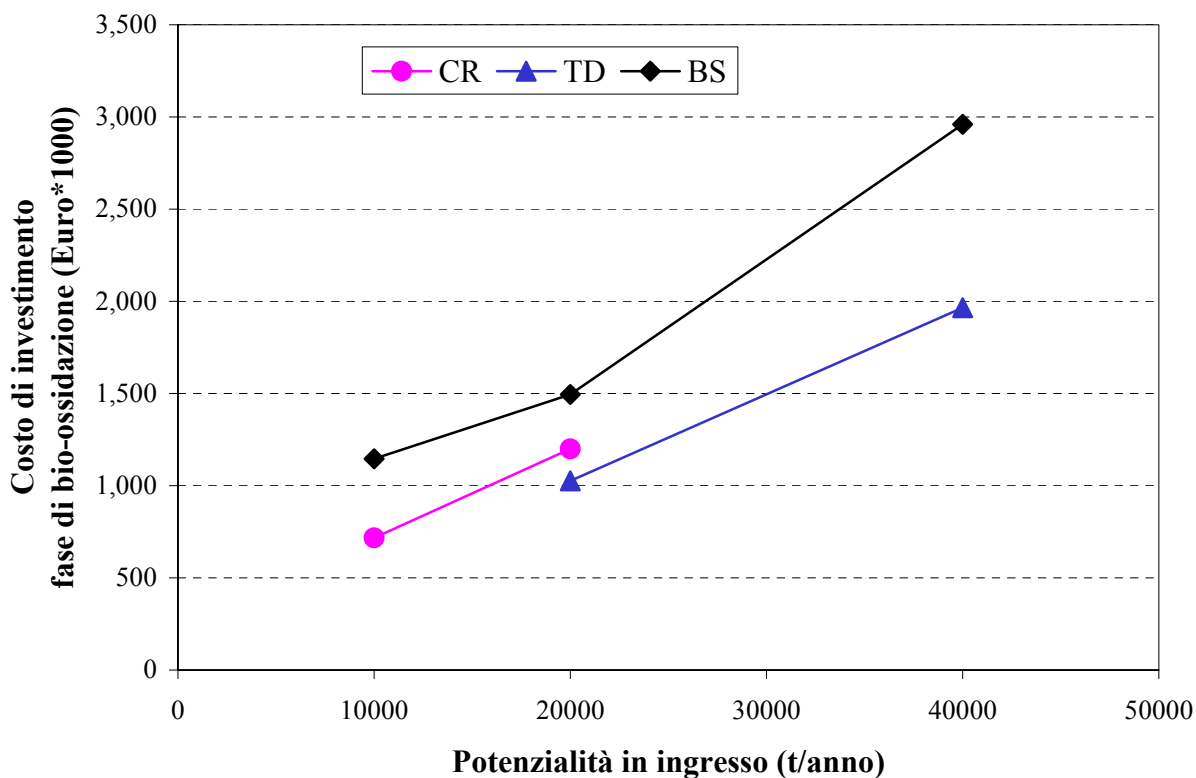


Figura 13 – Costi di investimento per la fase di bio-ossidazione (compreso il trattamento arie esauste, escluse le attrezzature non strettamente pertinenti) con tecnologie di compostaggio diverse in funzione della potenzialità di trattamento

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 15, 16 e 17), 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 14 e 15). Resta comunque la soluzione più economica per impianti di taglia minore, anche in considerazione del fatto che l'impianto di aerazione dei cumuli spesso non 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 15) comporta un investimento di circa 3 milioni di euro con differenze minime tra le diverse tecnologie. Si osservi la diversa ripartizione dei costi tra opere civili e opere elettromeccaniche;
- per potenzialità di 40.000 t/anno (figura 16) l'investimento complessivo è compreso tra i 5 e i 7 milioni di euro. Il sistema a biocelle è il più costoso, a causa della elevata quota destinata alle opere elettromeccaniche.

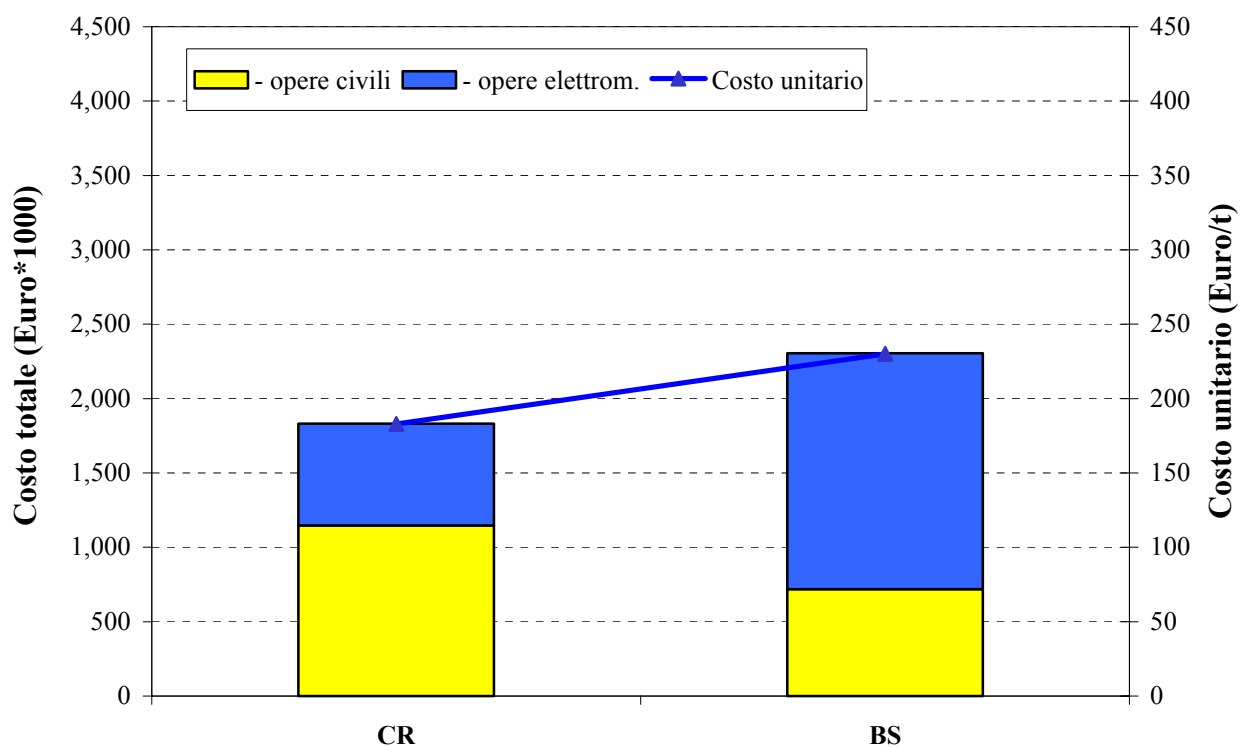


Figura 14 – Costo di investimento totale per impianti da 10.000 t/anno

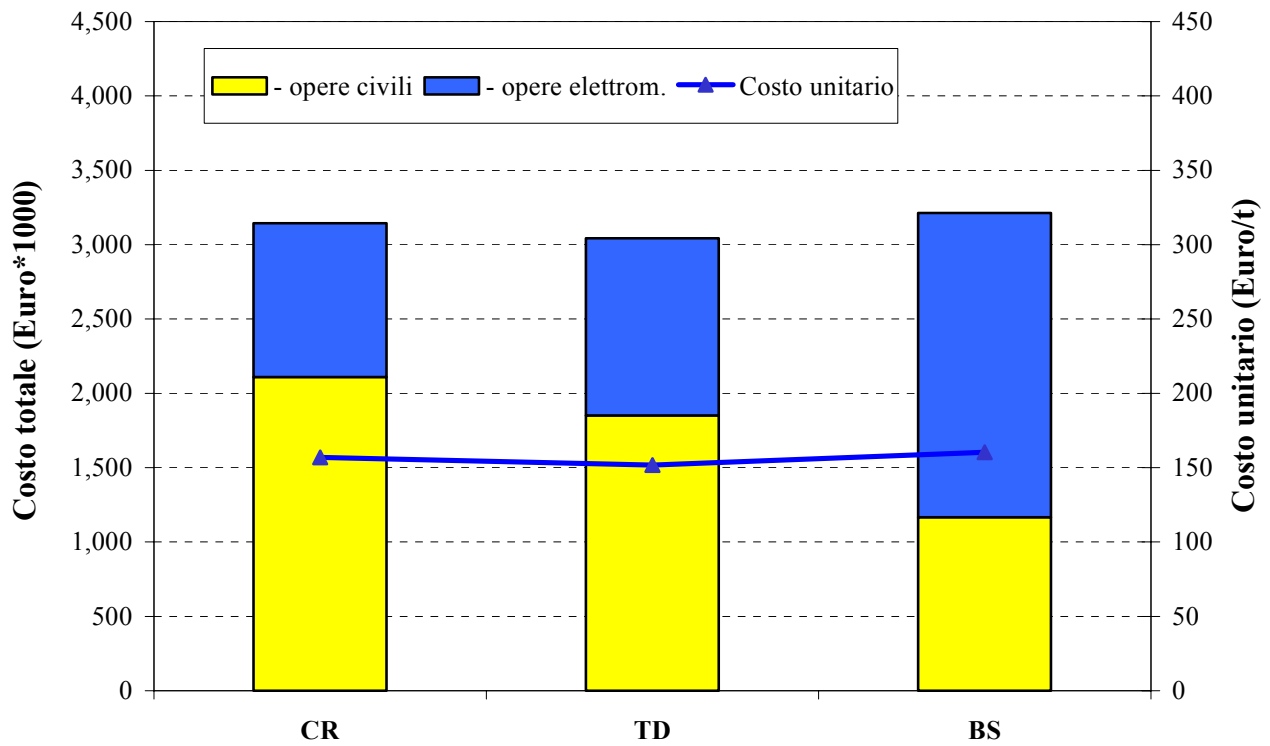


Figura 15 – Costo di investimento totale per impianti da 20.000 t/anno

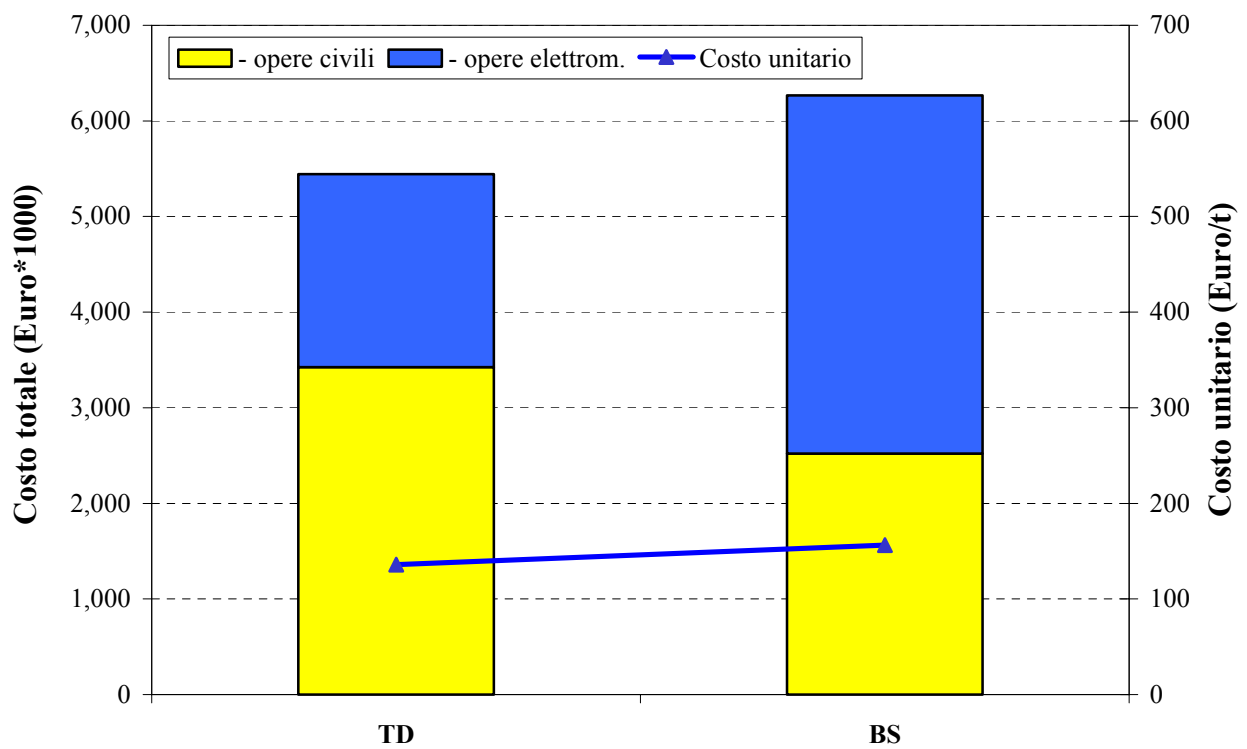


Figura 16 – Costo di investimento totale per impianti da 40.000 t/anno

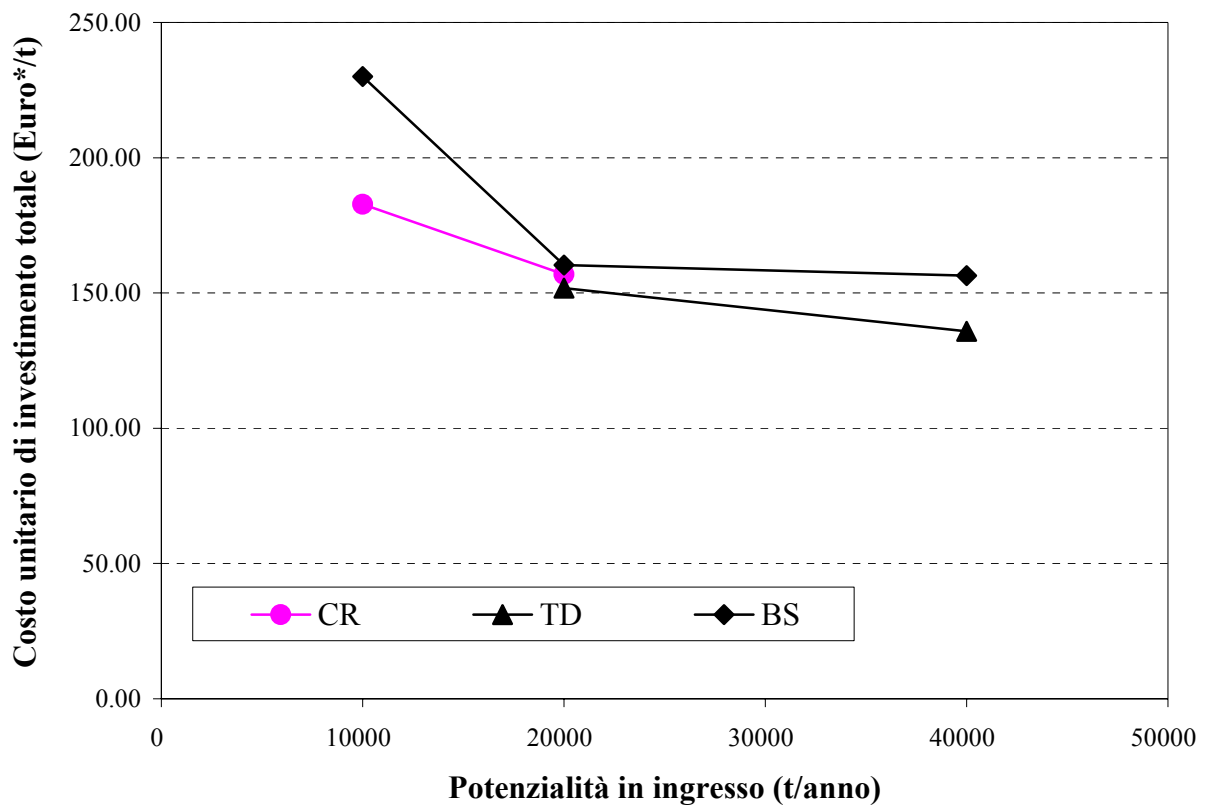


Figura 17 – Costo unitario di investimento totale in funzione della tecnologia di compostaggio

Il costo unitario di investimento totale (figura 17) 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.

Se si considera solamente la fase di bio-ossidazione (compreso il trattamento delle arie esauste), il relativo costo unitario di investimento (figura 18) diminuisce (50-120 euro/t), ma si differenzia maggiormente in funzione della tecnologia. 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 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;
- il sistema a biocelle statiche è il più costoso, soprattutto alla potenzialità minore. L'elevato contenuto tecnologico si traduce in elevati costi di investimento in opere elettromeccaniche (le biocelle statiche, tra quelli considerati, sono peraltro l'unico sistema con ricircolo delle arie esauste).

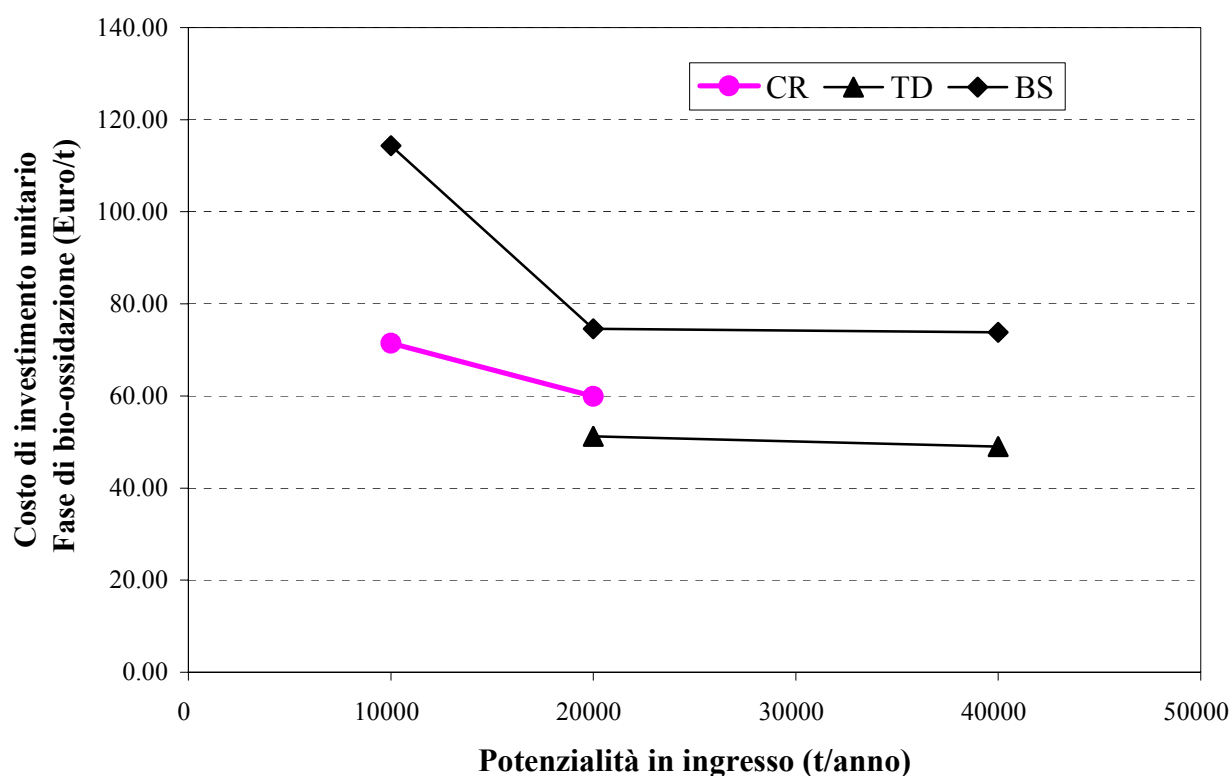


Figura 18 – Costo unitario di investimento per la fase di bio-ossidazione (compreso il trattamento delle arie esauste)

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;

- la flessibilità in relazione, ad esempio, a variazione dei flussi in ingresso e/ o fermo macchine per manutenzione;
- le esigenze di manutenzione, l'efficienza e la durata di strutture e attrezzature;
- il personale necessario (numero e qualifica degli addetti).

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

4.4. 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 19), stimato come indicato in tabella 2. Mediamente, lo spazio occupato varia dai 600 ai 900 m² ogni 1000 t/anno di rifiuti in ingresso. All'aumentare della potenzialità, come atteso, si ha un migliore sfruttamento della superficie.

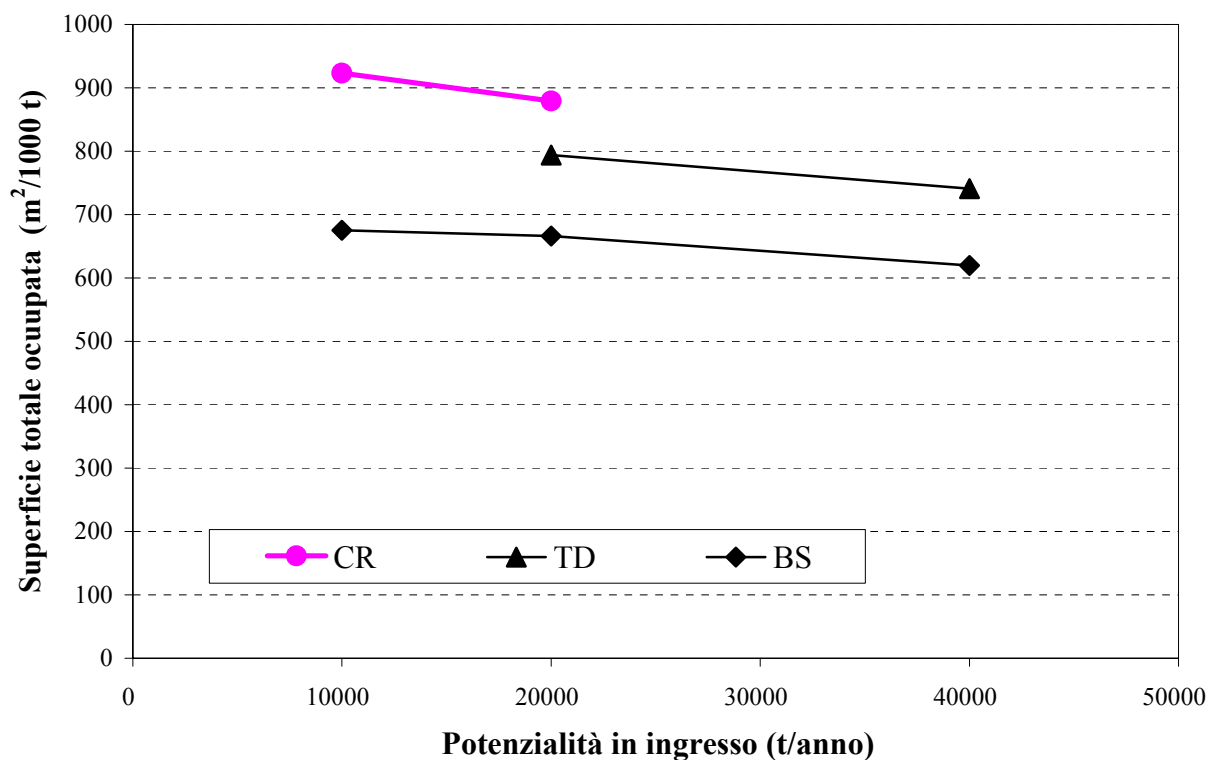


Figura 19– Impegno totale di superficie in funzione della tecnologia di compostaggio

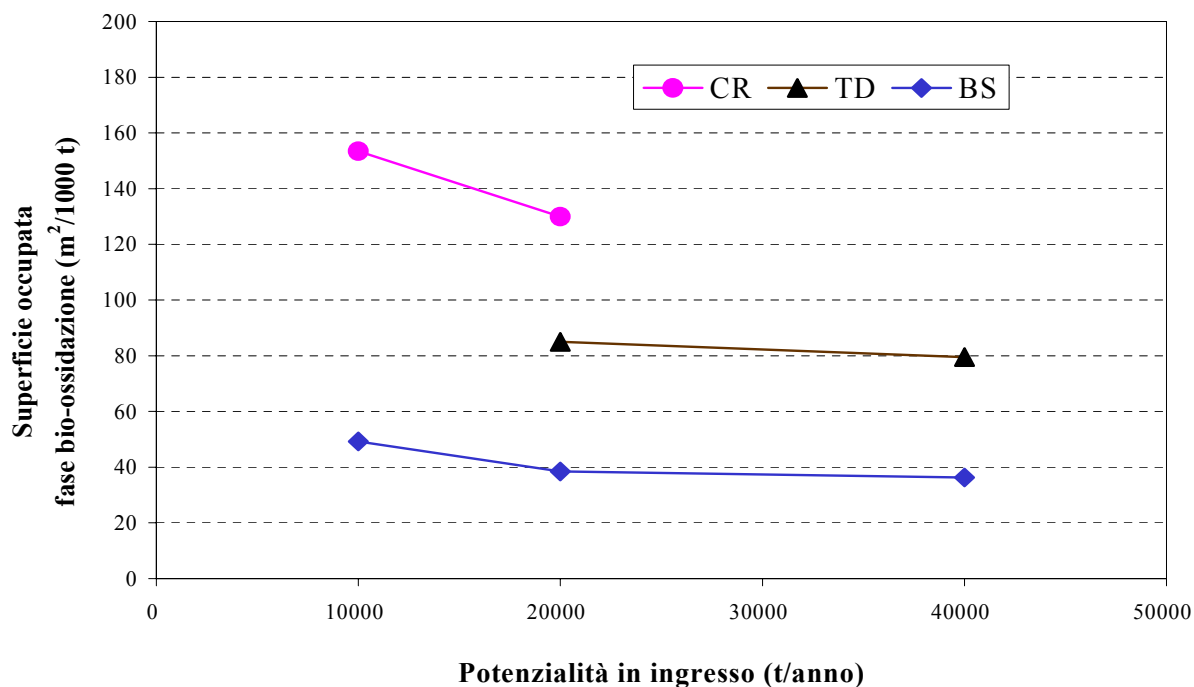


Figura 20 – Superficie occupata dalla fase di bio-ossidazione, compresa la ricezione delle matrici umide e la miscelazione

La tecnologia di compostaggio influisce in modo evidente sullo spazio occupato; se si esamina la sola fase di bio-ossidazione (figura 20), 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 pari a circa un terzo di quello relativo alle altre tecnologie (10 anziché 28-30 giorni). A parità di tempo di ritenzione (28-30 giorni), la trincea risulta pertanto essere quello più conveniente in termini di spazio occupato.

5. CONCLUSIONI

Da un punto di vista tecnico e operativo con l'adozione di sistemi chiusi illustrati nel cap.3, 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.

7. BIBLIOGRAFIA

[1] Valli L., Piccinini S. *Gli odori negli impianti di compostaggio: come si producono e come determinarli* – Atti del Corso Nazionale di Specializzazione “Il compostaggio: novità e prospettive” C.I.C., Fiera di Rimini, Rimini, novembre 2000.

[2] Favoino E. - *Il problema degli odori negli impianti di compostaggio e la loro minimizzazione* – Atti del 2° Corso Nazionale di Specializzazione “Compost: produzione e utilizzo” C.I.C., Fiera di Rimini, Rimini, settembre 2001.

[3] A cura di CRPA, SAPM, CIC - *Annuario del compost di qualità 1999-2000*. Il Verde Editoriale – ottobre '99.

[4] 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” C.I.C., Reggio Emilia, maggio 1999.

[5] 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” C.I.C., Reggio Emilia, maggio 1999.

[6] 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” C.I.C., Valenzano (BA), maggio 1999.

[7] Rossi L., Piccinini S. – *Le tecnologie di compostaggio: soluzioni innovative* – Atti del 2° Corso Nazionale di Specializzazione “Compost: produzione e utilizzo” C.I.C., Fiera di Rimini, Rimini, settembre 2001.