

**MASTER UNIVERSITARIO DI PRIMO LIVELLO
IN
TECNOLOGIE PER LA GESTIONE DEI RIFIUTI**

*organizzato da Alma Mater Studiorum, Università di Bologna – Facoltà di
Chimica Industriale – in convenzione con Assoform Rimini*

***MESSA A REGIME DEI SISTEMI DI ABBATTIMENTO DELLE
EMISSIONI ODORIGENE IN UN IMPIANTO DI
COMPOSTAGGIO DELLA PROVINCIA DI RIMINI***

GIUSEPPE LAZAZZARA

**Direttore del Master
Prof. Luciano Morselli**

**Tutor Aziendali
Dott. ssa Giovanna Sacchini
HERA S.p.A.**

Attività finanziata dal FSE – Ob. 3 Misura C 3 – Rif. 2002-0066/SC3

1. INDICE

1	- SOMMARIO	pag. 1
2	- INTRODUZIONE	? 2
3	- COMPOSTAGGIO	? 7
3.1	- Il contesto normativo	? 8
3.1.1	- Normativa Comunitaria	? 8
3.1.2	- Normativa italiana	? 11
3.1.2.1	- Realizzazione e gestione di impianti di compostaggio: il sistema autorizzativo	? 21
3.1.2.2	- La procedura semplificata	? 22
3.2	- Il processo di compostaggio	? 27
3.2.1	- Definizione di compostaggio	? 27
3.2.2	- Dinamica del processo	? 27
3.2.3	- L'ecosistema microbico alla base del processo	? 29
3.2.3.1	- I batteri	? 31
3.2.3.2	- Gli attinomiceti	? 32
3.2.3.3	- I funghi	? 32
3.2.3.4	- I protozoi e la macrofauna	? 33
3.2.4	- I diversi tipi di trattamento biologico	? 34
3.2.5	- Le tecnologie per la bioconversione aerobica	? 36
3.2.5.1	- Generalità sul compostaggio di qualità	? 36
3.2.5.2	- I fattori di scelta delle tecnologie e la coerenza operativa degli impianti	? 37
3.2.6	- Fattori che influenzano il processo e controllo delle reazioni	? 38
3.2.6.1	- La concentrazione di ossigeno e l'aerazione	? 39
3.2.6.2	- La temperatura	? 40
3.2.6.3	- L'umidità	? 41
3.2.6.4	- La concentrazione ed il rapporto dei nutrienti	? 42
3.2.6.5	- Le proprietà fisico - meccaniche del substrato (porosità, struttura, tessitura e dimensione delle particelle)	? 43

3.2.6.6 - Il pH	? 45
3.2.7 - Aspetti metabolici delle reazioni microbiche a carico dei substrati sottoposti a compostaggio	? 46
3.2.7.1 - Le possibili vie di trasformazione biochimica dei composti organici	? 46
3.2.7.2 - Le trasformazioni a carico dei composti azotati	? 48
3.2.8 - Trattamenti anaerobici	? 50
3.2.9 - Trattamenti aerobici: principali tecnologie	? 52
3.2.9.1 - Sistemi aperti	? 53
3.2.9.2 - Sistemi chiusi	? 53
3.2.9.3 - Sistemi aerati e non aerati	? 55
3.2.9.4 - Sistemi versatili	? 58
3.2.9.5 - Bioessiccazione	? 58
3.3 - Aspetti progettuali	? 59
3.3.1 - Ricezione e stoccaggio	? 59
3.3.2 - Pretrattamento	? 60
3.3.3 - Fase di biossidazione	? 60
3.3.4 - Fase di trasformazione	? 61
3.3.5 - Post trattamenti	? 61
3.3.6 - Stoccaggio finale	? 61
3.3.7 - Mezzi operativi	? 61
3.4 - Aspetti gestionali	? 62
3.4.1 - Controllo del processo	? 62
3.5 - Presidi ambientali	? 63
3.5.1 - Controllo e gestione delle acque e dei percolati	? 63
3.5.2 - Controllo del rischio biologico	? 65
3.5.3 - Controllo delle emissioni gassose	? 65
3.6 - La normativa in materia di emissioni maleodoranti	? 66
3.7 - Cosa è l'odore, come lo si misura	? 72
3.7.1 - L'odore tra percezione soggettiva e sistemi oggettivi di valutazione	? 75
3.7.2 - Il problema della misura degli odori	? 78
3.7.3 - La misura olfattometrica	? 79

3.7.4	- L'olfattometro	? 80
3.8	- Le tecnologie di controllo ed abbattimento	? 81
3.8.1	- Torri di lavaggio (scrubbers ad umido)	? 82
3.8.2	- Biofiltri	? 83
4	- IMPIANTO DI COMPOSTAGGIO CA' BALDACCI	? 90
4.1	- Dati di progetto	? 92
4.1.1	- Potenzialità dell'impianto	? 92
4.1.2	- Materiali trattabili, produzione di compost di qualità, biostabilizzato, sottoprodotti e rifiuti	? 93
4.2	- Schema di flusso dell'impianto	? 97
4.3	- Caratteristiche, dimensionamento e bilancio di massa delle diverse sezioni di impianto	? 99
4.3.1	- Sezione ricevimento e triturazione frazione ligno-cellulosica	? 99
4.3.2	- Sezione ricevimento FOP, Frazione organica da selezione e miscelazione delle matrici	? 101
4.3.3	- Area prima maturazione	? 106
4.3.4	- Area di seconda maturazione	? 114
4.3.5	- Area di vagliatura finale e stoccaggio	? 116
4.3.6	- Trattamento emissioni gassose: sistema di ventilazione	? 119
4.3.7	- Biofiltri	? 123
5	- MATERIALI E METODI	? 128
5.1	- Supervisione	? 128
5.2	- Temperatura	? 128
5.3	- Umidità superficiale	? 129
5.4	- Umidità del letto del biofiltro	? 129
5.5.	- pH	? 130
5.6	- Perdite di carico	? 131
5.7	- Emissioni	? 132
6	- RISULTATI	? 136
6.1	- Temperatura	? 136
6.2	- Umidità superficiale	? 136
6.3	- Umidità del letto del biofiltro	? 138

6.3.1	- Rapporto di umidità	? 139
6.4	- pH	? 140
6.5	- Perdite di carico	? 141
6.6	- Emissioni	? 141
7	- CONCLUSIONI	? 145
8	- BIBLIOGRAFIA	? 148

1 – SOMMARIO

Nella gestione del processo di compostaggio sono individuabili delle criticità tecnologiche che possono pesantemente influenzare l'esito della conduzione sia in termini di bilancio economico che ambientale.

Alcuni fattori di criticità, se pur in maniera variabile a seconda della tipologia di materiale trattato, essendo intrinseci a fasi o operazioni che sempre caratterizzano il processo di compostaggio, sono ben individuati e già in fase progettuale si prevedono opere specifiche per il loro contenimento e controllo (presidi ambientali).

Appartengono a questa categoria la produzione di percolato, la potenziale aerodispersione di polveri e microrganismi patogeni, ma soprattutto l'emissione di odori molesti.

Lo scopo del mio lavoro di stage è stato il contenimento dell'emissioni dei cattivi odori in atmosfera, indagando, nella fase di messa a regime (a partire da luglio 2003), l'efficacia di rimozione dei presidi ambientali (biofiltri) in un nuovo impianto di compostaggio della Provincia di Rimini, sito in località Ca'Baldacci, e di proprietà di HERA S.p.A.

Importante è la gestione della strumentazione per la misura di determinati parametri del letto biofiltrante (umidità relativa, temperatura, pH, perdite di carico) per cui è obbligatorio il rilievo in continuo, in modo rientrino nei limiti posti dall'ARPA dell'Emilia-Romagna.

L'obiettivo quindi è testare il corretto funzionamento dei biofiltri, agendo sui suddetti parametri, ma anche su altri (per es. portata dei fumi in ingresso ai presidi ambientali), in modo da correlarli con le unità odorimetriche (O.U.), e mantenere quest'ultime su valori bassi ($< 200 \text{ O.U./m}^3$).

2 – INTRODUZIONE

Il compostaggio ed il trattamento biologico dei rifiuti stanno registrando un periodo di veloce sviluppo, in Italia, a seguito delle strategie delineate dal D.Lgs 22/97; il Decreto, infatti, introduce anche in Italia – a mimesi di quanto avviene massicciamente nei Paesi dell'Europa Settentrionale e Centrale ed in coerenza con le disposizioni delle Direttive e dei Piani di Azione Comunitaria – il concetto di “Gestione Integrata dei Rifiuti”; in essa 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 [13].

Riguardo alla gestione della frazione organica, il VI Programma d'Azione Comunitario precisa che tale tipologia di rifiuto deve essere riciclata e rimessa, dopo un trattamento di compostaggio, nell'ambiente al fine di garantire un apporto di sostanze utili per i terreni, ed individua, inoltre, tra le azioni specifiche volte ad incentivare il riciclaggio, la definizione, a livello europeo, di una specifica regolamentazione sui rifiuti biodegradabili e la revisione della direttiva sui fanghi di depurazione.

I rifiuti biodegradabili, per quantità e qualità, rappresentano un importante flusso di materiali che, se correttamente gestito, può concorrere alla drastica riduzione dello smaltimento in discarica (in linea con quanto predisposto dalla direttiva 99/31/CE) e all'innalzamento delle quote di rifiuti riciclati, con conseguente riduzione degli impatti complessivi generati sull'ambiente.

A tal riguardo la Commissione Europea ha già predisposto e discusso un documento di lavoro sui rifiuti biodegradabili che è stato condiviso dalla maggior parte degli Stati Membri.

Il documento della Commissione introduce disposizioni atte a regolamentare in maniera completa le attività di compostaggio e digestione anaerobica individuando, tra gli altri, i requisiti generali degli impianti di trattamento biologico (localizzazione, trattamento delle acque reflue e del percolato, controllo degli odori, misure di mitigazione dei disturbi e rischi).

Comunque, nonostante il compostaggio sia oggi una tecnologia matura ed il dibattito tecnico-scientifico sul tema vada avanti già da molti anni, gli aspetti ancora controversi sono rappresentati dai parametri da utilizzare sia per il controllo del processo di compostaggio stesso, sia per la qualità del prodotto finale e delle relative concentrazioni limite da adottare in funzione dei possibili utilizzi del compost, sia esso definito di qualità che non.

Ci sono molti parametri che possono essere utilizzati per il controllo del processo di compostaggio e/o del prodotto finale.

La qualità del prodotto finale rappresenta un fattore di fondamentale importanza al fine di determinare l'applicabilità del compost prodotto, qualunque sia il tipo di utilizzazione prevista. Così, ad esempio, nel caso in cui il compostaggio venga utilizzato solo per ridurre la massa e il volume dei rifiuti o per inibire la produzione di CH_4 prima di essere smaltito in discarica, basta solo verificare che il prodotto sia inerte, così come basta verificare che esso continui a sottostare ad una degradazione aerobica, se la sua utilizzazione è soltanto quella di copertura di una discarica.

Per quanto riguarda invece l'utilizzazione di compost in agricoltura o nei casi in cui debba essere venduto al dettaglio è di primaria importanza che vengano rispettati alcuni standard di qualità (chimici, fisici, microbiologici) in modo da garantire l'accettabilità da parte degli autorizzatori.

Importanti sono anche i parametri per controllare il processo stesso di compostaggio tra cui l'IR (indice di respirazione, sia dinamico che statico) e soprattutto le emissioni di cattivi odori in atmosfera.

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*. Su

questa strada, tecnici, Istituzioni competenti ad autorizzazioni e controlli e popolazioni interessate hanno giustamente individuato come fattore dirimente di qualificazione della strategia e consenso alle sue realizzazioni impiantistiche, il tema del contenimento delle emissioni odorigene [13].

Negli impianti di compostaggio le emissioni di composti maleodoranti sono riconducibili sia ai materiali in attesa dell'avvio al trattamento, sia, prevalentemente, alla massa in fase di trasformazione biologica. In generale la produzione di composti osmogeni viene associata alla presenza di condizioni di anaerobiosi nel materiale in trattamento, anomale per il processo di compostaggio, tipicamente aerobico. Tuttavia, anche una buona conduzione del processo, che mantenga ottimali condizioni di ossigenazione, riduce, ma non evita completamente la formazione di cattivi odori.

Attualmente non esistono metodologie chimiche adatte alla quantificazione degli odori, in particolare se questi sono originati da complessi pool di composti come nel caso di emissioni provenienti da processi di degradazione di sostanze organiche (impianti di compostaggio, discariche, industrie agroalimentari, reflui zootecnici, etc.). la determinazione chimica dei principali composti volatili responsabili degli odori, ottenibile mediante gascromatografia e spettrometria di massa, pur consentendo l'individuazione e la qualificazione delle specie chimiche coinvolte, non è tuttavia sufficiente a dare informazioni circa l'effetto olfattivo che la miscela di aria odorosa può produrre. L'odore è infatti una sensazione soggettiva, recepita cioè in modo diverso da ogni soggetto, sia per quanto riguarda l'intensità che la qualità dello stimolo olfattivo [31].

A tal proposito, negli ultimi anni, il problema degli odori emessi, sia da impianti di selezione dei rifiuti solidi urbani che da impianti di compostaggio, è che questi si sono insediati in zone sempre più prossime alle grandi aree urbane.

Per tali motivi gli Enti territoriali di controllo hanno emesso prescrizioni e norme che richiedono, oltre la misura dei principali inquinanti (H_2S e NH_3) e delle polveri, anche quella delle emissioni di odori [29].

La misura della concentrazione di odore in diversi punti di un impianto di compostaggio e del flusso osmogeno emesso dagli stessi può essere usata per accertare e documentare il rispetto delle norme all'emissione.

Per quanto riguarda le analisi dell'odore dell'aria di processo in realtà le norme dettano prescrizioni solo per quanto riguarda la concentrazione di odore all'emissione; occorre però sottolineare come le misure di concentrazione di odore in uscita dai presidi ambientali dovrebbero essere sempre correlate con le portate d'aria in gioco, in modo da poter valutare la potenza osmogena dell'impianto (OU/h) eventualmente specifica alla potenzialità dello stesso ($OU/t_{avorata}$) [29].

Va segnalato che spesso, nel settore della bioconversione, operatori e strutture di controllo hanno amplificato l'importanza, pure effettiva, dell'efficienza funzionale dei sistemi di presidio ambientale; in tale modo si è stabilita una sorta di equivalenza concettuale tra presenza e buona gestione del sistema di trattamento delle arie (generalmente – ma non sempre – asservito alle zone di ricezione, pretrattamento ed alle prime fasi del processo di bioconversione) e sicurezza olfattiva dell'impianto [13].

Tale condizione però non sempre è sufficiente a prevenire l'insorgenza degli impatti olfattivi; come insegna la storia, non solo delle condizioni operative più critiche, ma anche e soprattutto delle buone pratiche gestionali messe in campo, diversi possono essere i fattori da gestire.

La definizione di valori limite e la misurazione dell'odore in sede di controllo riguardano dunque principalmente (e correttamente) le emissioni puntuali dai sistemi di presidio.

Tuttavia, nel caso di problemi di odori effettivamente rilevati, un'accurata strategia di monitoraggio non dovrebbe prescindere dall'analisi complessiva dell'impianto dal punto di vista logistico-gestionale (fase di conferimento del materiale, pretrattamento, eventuali stoccaggi all'aperto di prodotto fresco o in maturazione, perdite dal capannone, ecc..) [13].

Il problema delle emissioni di odori, quindi, assume sempre più maggiore rilevanza ai fini della realizzazione e gestione degli impianti. Nel caso degli impianti di compostaggio, negli ultimi anni, si è assistito a una notevole crescita, in termini di numero, delle installazioni e potenzialità di trattamento.

L'adeguata gestione delle emissioni di odori da impianti di compostaggio costituisce una delle condizioni per l'ulteriore crescita del settore.

Così, come per le altre forme di inquinamento, si pone l'esigenza, pertanto, di mettere a punto strumenti adeguati per affrontare il problema delle molestie olfattive, a supporto delle politiche e misure di controllo ai fini di garantire una buona qualità dell'ambiente e mettere a punto criteri oggettivi per valutare la rilevanza della molestia [9]. È inoltre necessario disporre di adeguate conoscenze in merito ai fattori che determinano la diffusione degli odori, alle misure di prevenzione, alle migliori tecniche di abbattimento, agli obiettivi conseguibili con i diversi dispositivi, tra cui i biofiltri. I sistemi di filtrazione biologica, la cui applicazione per l'abbattimento delle emissioni olfattive moleste è diffusamente utilizzata, caratterizzati da una dinamica biochimica complessa. I processi di degradazione biologica delle sostanze odorigene sono caratterizzati da meccanismi lenti e adattivi, ossia rispondono alle modifiche delle condizioni interne ed esterne in tempi medio-lunghi. Risulta pertanto difficile e delicata la gestione di tali sistemi, soprattutto per quanto concerne il rispetto dei limiti imposti dalla normativa vigente sulla qualità dell'aria [19].

3 – COMPOSTAGGIO

Il compostaggio, che consiste nel processo controllato di trasformazione microbica di matrici organiche putrescibili in un materiale finale, ricco di humus, utilizzabile come ammendante, rientra, a pieno titolo, tra gli strumenti disponibili in sede di pianificazione della gestione dei rifiuti di una determinata comunità. Non certo, si badi bene, per sostituirsi in termini esclusivi ad altre forme di trattamento, ma con la finalità di implementarne sinergicamente l'efficienza.

Con il compostaggio è possibile stornare una cospicua quantità di rifiuti altrimenti destinati alle discariche ed agli inceneritori. Questo sistema è un indispensabile complemento alle tradizionali forme di riciclaggio. Tuttavia, il compostaggio non consiste in una mera riduzione di volume ovvero in un semplice schema di diversione di una parte dei rifiuti; esso rappresenta piuttosto una via per chiudere il cerchio del riciclaggio dei residui organici, con ricadute ambientali di notevole rilievo. Il compostaggio infatti consente di recuperare sostanza organica per reintegrarla nei terreni, prevenendo i fenomeni di erosione, incrementando la fertilità biologica dei suoli e contribuendo al ripristino dei siti contaminati da composti tossici.

Se ai piani di riciclaggio differenziato di materiali da rifiuti urbani, oltre ai tradizionali flussi della carta, del vetro, dei metalli e delle plastiche, viene aggiunto il riciclaggio della frazione putrescibile non è irrealistico arrivare a livelli di recupero del 60-70% sull'intero quantitativo di partenza [3]. Al compostaggio vengono avviati soltanto quei materiali compatibili con il trattamento biologico, lasciando aperte altre filiere per la corretta gestione delle frazioni non compostabili dei rifiuti urbani.

Riassumendo, dalle esperienze fin qui guadagnate a livello internazionale, possiamo trarre le indicazioni di seguito riportate [3].

a) La matrice destinata al compostaggio deve essere costituita da materiali compostabili per consentire la produzione di un compost che abbia un mercato.

- Sistemi sia di piccola che di larga scala possono funzionare bene soltanto con flussi di rifiuti a netta prevalenza di materiali organici compostabili.

- In tutti i casi in cui il compostaggio rientra nella strategia complessiva di gestione dei rifiuti, è necessario che si parta da un'accurata analisi del flusso di rifiuti, predisponendo, laddove richiesto, sistemi di separazione e raccolta differenziata alla fonte.

b) I sistemi di preselezione meccanica dei rifiuti indifferenziati non funzionano e, comunque, non consentono di ottenere compost di elevata qualità.

- Una leggera fase di preselezione può ancora risultare compatibile con flussi omogenei che possiedano già un elevato contenuto di materiali compostabili.

c) La sostenibilità economica del compostaggio dipende da tre fattori; il fallimento di uno soltanto dei tre può determinare l'insuccesso del sistema:

- Il costo del compostaggio deve essere, nelle diverse situazioni locali, se non competitivo, quantomeno comparabile rispetto ai costi di smaltimento di incenerimento e discarica.

- Il flusso di rifiuti in entrata all'impianto di compostaggio deve avere caratteristiche qualitative che non impediscano l'impiego del compost ottenuto.

- Deve esistere un potenziale bacino di utenza del prodotto finito, ai livelli di qualità ottenibili con la filiera tecnologica adottata.

d) La affidabilità tecnica di un sistema di compostaggio dipende, anch'essa, da tre fattori:

- L'impianto deve presentare uno schema di trattamento quanto più semplice possibile in relazione alle caratteristiche del flusso di rifiuti in entrata.

- La dimensione dell'impianto deve essere non eccessivamente grande. In generale, più complesso è il flusso di rifiuti in entrata, più piccola dovrebbe essere la taglia della stazione di compostaggio per garantire un migliore gestione del processo.

- L'intera filiera, dalla raccolta e separazione dei rifiuti, dal condizionamento alla preparazione della matrice da avviare alla biostabilizzazione fino al controllo del processo, deve essere disegnata per rendere ottimale le reazioni di trasformazione biologica [3].

3.1 - Il contesto normativo

1.1.1 3.1.1 - NORMATIVA COMUNITARIA

La normativa in materia di produzione ed impiego del compost è affidata, allo stato attuale, ai diversi Stati membri non essendo stata emanata alcuna direttiva in materia di qualità di compost atta ad armonizzare le normative nazionali.

Diversi Paesi hanno evidenziato il problema della mancanza di una disposizione in materia, soprattutto nel caso del compost di qualità, che può essere considerato prodotto e quindi incluso tra i fertilizzanti ammessi alla commercializzazione. In tal caso un Paese che preveda limiti meno restrittivi di un altro Paese può esportare verso quest'ultimo un compost che non rispetti i limiti di commercializzazione se prodotto in loco; tale problema è ben evidente in sede di Commissione Europea.

Attualmente, a livello comunitario sono in vigore strumenti normativi specifici in merito al marchio di qualità ecologica (Ecolabel) per i diversi prodotti, il cui sistema di assegnazione è individuato dal Regolamento 1980/2000/CE che ha sostituito il Regolamento del Consiglio 880/92/CEE istitutivo del sistema volontario di certificazione di qualità ecologica dei prodotti. Il Regolamento 1980/2000/CE stabilisce che il marchio di qualità può essere assegnato a prodotti che contribuiscono in maniera significativa a risolvere problemi ambientali di primaria importanza (articolo 3) e prevede che i criteri per la sua assegnazione siano individuati per gruppi di prodotti (articolo 4).

Ai sensi delle procedure per la definizione dei criteri relativi a ciascun gruppo di prodotti, previste dall'articolo 6 del suddetto regolamento, sono state elaborate ed adottate, per gli ammendanti del suolo ed i substrati di coltivazione, una serie di misure individuate dalla Decisione della Commissione 2001/688/CE. Con questa decisione vengono

rispettivamente definiti come ammendanti del suolo e substrati di coltivazione i *materiali da aggiungere al suolo in situ principalmente per conservarne o migliorarne le caratteristiche fisiche e che possono migliorarne le caratteristiche o le attività chimiche e/o biologiche* ed i *materiali diversi dai suoli in situ, dove vengono coltivati vegetali* (articolo 1). Tale decisione individua, inoltre, all'allegato 1 i criteri a cui deve conformarsi un prodotto, ricadente nel gruppo di prodotti definiti all'articolo 1, per ottenere il marchio di qualità ecologica.

L'etichetta ecologica europea certifica che il prodotto a cui è applicata garantisce un ridotto impatto ambientale e consente al consumatore di verificare immediatamente se il prodotto è conforme o meno ai requisiti prestabiliti. Va comunque ribadito che l'adesione al sistema Ecolabel è del tutto volontaria e che i prodotti privi di etichetta ecologica non sono soggetti ad alcuna penalizzazione nell'ambito del mercato comunitario.

Il piano di lavoro relativo al marchio di qualità ecologica per il periodo compreso tra il 1° gennaio 2002 ed il 31 dicembre 2004 è stato fissato dalla Commissione con la Decisione 2002/18/CE del 21 dicembre 2001 [3].

Importanza riveste anche la Direttiva CE 26 aprile 1999 n. 31 relativa alle Discariche, che ha come scopo quello di prevedere, mediante l'applicazione di rigidi requisiti tecnici ed operativi, procedure atte a prevenire o a ridurre il più possibile le ripercussioni negative sull'ambiente, richiedendo ai diversi Paesi Europei di delineare le strategie volte a conseguire i seguenti obiettivi:

1. diminuire *sostanzialmente* il quantitativo totale di rifiuti biodegradabili da avviare a discarica (riduzione al 75% del totale in peso, al 50%, al 35% su base nazionale entro 5, 8, 15 anni dalla entrata in vigore della Direttiva); per rifiuti biodegradabili, la Direttiva intende qualsiasi rifiuto soggetto a decomposizione aerobica o anaerobica, come alimenti, rifiuti dei giardini, carta e cartone;
2. garantire che i rifiuti da collocare in discarica siano comunque adeguatamente *pretrattati* allo scopo di ridurre l'attitudine a fermentare e produrre anidride carbonica, biogas e percolati [14].

Attualmente, all'esame degli Organi competenti in materia, c'è una bozza di Direttiva europea (Working Paper della Commissione Europea) sul compostaggio ed il trattamento meccanico-biologico, la quale contiene le seguenti idee guida:

1. promuovere il trattamento biologico dei rifiuti organici biodegradabili derivanti dal sistema delle raccolte differenziate al fine di eliminarne o ridurre gli effetti negativi sull'ambiente, garantendo elevati livelli di protezione del suolo e delle acque sotterranee, e riducendo le emissioni di gas serra;
2. migliorare la qualità dei suoli attraverso l'apporto di sostanza organica, garantendo l'incremento della disponibilità di acqua ed un maggiore utilizzo dei nutrienti;
3. trattamento meccanico/biologico del rifiuto residuo allo scopo di abbattere la fermentescibilità delle componenti organiche ancora presenti.

Il trattamento e l'utilizzo dei rifiuti organici biodegradabili deve essere in primo luogo finalizzato al recupero di materia ed energia, e solo in subordine costituire una via di smaltimento dei rifiuti.

In riferimento ai sistemi di raccolta differenziata, essi avranno lo scopo prioritario di raccogliere separatamente la frazione umida favorendo il recupero agronomico del prodotto.

L'Allegato III della Direttiva che si sta' delineando, contiene i limiti che caratterizzano le classi di qualità ambientale per il compost (da intendersi come prodotto fertilizzante liberamente impiegabile e commercializzabile in tutta Europa) e per il rifiuto biostabilizzato.

Per ciò che concerne invece il rifiuto indifferenziato o residuo, se lo stesso verrà sottoposto a trattamento meccanico/biologico prima del conferimento in discarica, potrà concorrere al raggiungimento degli obiettivi di riduzione dei materiali biodegradabili in discarica, definiti dalla Direttiva 1999/31 CE sulle discariche; in tale caso si intenderà che il materiale non è più "biodegradabile" se la fermentescibilità residua determinata attraverso l'Indice Respirimetrico Dinamico (IRD), sarà minore di 800-900 mg O₂ Kg SV⁻¹h⁻¹ per il compost di qualità, o minore di 1100-1200 mg O₂ Kg SV⁻¹h⁻¹ per il biostabilizzato, secondo quanto riportato dalla Decisione 688/2001/CE sull'Ecolabel.

L'indicazione di quest'ultimo parametro all'interno della bozza di Direttiva, consente di affermare che viene attribuito al trattamento meccanico/biologico un ruolo fondamentale per la definizione del criterio della accettabilità del rifiuto in discarica.

Tra l'altro, la determinazione della fermentescibilità residua e dei relativi valori limite, trova riscontro con quanto sta' attualmente accadendo in Italia nelle disposizioni di alcune Regioni (Veneto con Deliberazione di Giunta Regionale n. 766 del 10 marzo 2000, Lombardia con Deliberazione di Giunta Regionale n. 44263, Emilia-Romagna con Deliberazione di Giunta Regionale n. 647 del 1 marzo 2000).

3.1.2 - Normativa italiana

Il D.lgs. 22/97, che costituisce la norma nazionale di riferimento per la gestione dei rifiuti, in attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio, definisce, all'art. 6, comma 1, lett. q) il compost da rifiuti, come *"prodotto ottenuto dal compostaggio della frazione organica dei rifiuti urbani nel rispetto di apposite norme tecniche finalizzate a definire contenuti e usi compatibili con la tutela ambientale e sanitaria, e in particolare a definirne i gradi di qualità"*.

Il compostaggio rientra tra le operazioni di recupero previste dall'allegato C del citato decreto legislativo e, in particolare, tra quelle contraddistinte dal codice R3 *"Riciclo/recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi (comprese le operazioni di compostaggio e altre trasformazioni biologiche)"*. Tale operazione e la realizzazione degli impianti di recupero sono sottoposte ad autorizzazione. Inoltre è considerato un metodo di "riciclaggio organico" degli imballaggi (art. 35).

L'art. 18, comma 2, lettera p, precisa che è competenza dello Stato *"l'adozione delle norme tecniche, delle modalità e delle condizioni di utilizzo del prodotto ottenuto mediante compostaggio, con particolare riferimento all'utilizzo agronomico come fertilizzante, ai sensi della legge del 19 ottobre 1984, n. 748 (83) e successive modifiche e integrazioni, del prodotto di qualità ottenuto mediante compostaggio da rifiuti organici selezionati alla fonte con raccolta differenziata"*.

Sono invece di competenza delle Regioni (art. 19, comma 1, lettera b) *"la regolamentazione delle attività di gestione dei rifiuti, ivi compresa la raccolta differenziata di rifiuti urbani, anche pericolosi, con l'obiettivo prioritario*

della separazione dei rifiuti di provenienza alimentare, degli scarti di prodotti vegetali e animali, o comunque ad alto tasso di umidità, dai restanti rifiuti”.

Alle Province (art. 20, così come modificato dal D.Lgs. 389/1997) è infine demandato “*il controllo periodico di tutte le attività di gestione di intermediazione e di commercio dei rifiuti, ivi compreso l'accertamento delle violazioni del presente decreto*”.

Il compostaggio è incluso tra le operazioni di recupero, di cui all'Allegato C, lettera R3 come “*riciclo/recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi (comprese le operazioni di compostaggio ed altre trasformazioni biologiche)*”. Di conseguenza il compostaggio è una forma di gestione dei rifiuti cui si applicano, tra l'altro, gli obblighi di comunicazione annuali delle quantità e delle caratteristiche qualitative dei rifiuti oggetto delle predette attività (art. 11), nonché quella di tenuta dei registri di carico e scarico di cui all'art. 12 (cfr. anche i DD.MM. 5 febbraio 1998 n. 145 e n. 148) [21].

La trasformazione in compost delle frazioni organiche dei rifiuti e il loro successivo impiego, in relazione alle caratteristiche dei rifiuti avviati al trattamento, come ammendante o per impieghi paesistici, per il ripristino ambientale delle aree degradate o per altre forme di utilizzo, rappresentano, per l'Italia, un elemento nodale nella strategia di gestione integrata dei rifiuti, costituendo la forma più adeguata per il recupero di materia. La produzione di compost, in particolare di compost di qualità derivante da matrici selezionate alla raccolta, ha l'importante valenza di rendere disponibili ammendanti utilizzabili per il ripristino e/o il mantenimento di un adeguato tenore di sostanza organica dei suoli ai fini della conservazione della fertilità e la limitazione dei fenomeni di erosione e desertificazione, assai accentuati in alcune aree del Paese.

Attualmente sono individuate, dalla normativa italiana, due tipologie di compost:

- compost di qualità elevata, ottenuto esclusivamente da matrici organiche selezionate alla raccolta ed incluso nella categoria degli ammendanti commerciali in base alla Legge 748/84, con la denominazione di “ammendante compostato verde” o di “ammendante compostato misto”. Questa tipologia di compost si configura come prodotto ed è pertanto utilizzabile senza altri vincoli che non siano quelli di una buona pratica agricola

- compost di qualità inferiore, destinabile all'attività agricola, ma vincolato al rispetto di diversi standard qualitativi, di quantità massime utilizzabili e all'analisi preliminare dei terreni destinati all'utilizzo [3].

In generale per la produzione di fertilizzanti non sono necessarie specifiche autorizzazioni, ma nel caso del compostaggio, anche se dà luogo a fertilizzanti disciplinati dalla Legge 748/84, trattandosi di attività di gestione dei rifiuti, è necessario ottenere una specifica autorizzazione o, qualora ne ricorrano le condizioni, accedere alla procedura semplificata di cui al capo V del D.Lgs. 22/97.

Secondo l'art. 51 del medesimo decreto, l'effettuazione delle attività di compostaggio "...in mancanza della prescritta autorizzazione, iscrizione o comunicazione [...] è punito:

a) con la pena dell'arresto da tre mesi a un anno o con l'ammenda da €2500 a €25000 se si tratta di rifiuti non pericolosi;

b) con la pena dell'arresto da sei mesi a due anni e con l'ammenda da €2500 a €25000 se si tratta di rifiuti pericolosi [21].

I dati relativi al mercato del compost di qualità dimostrano che esso viene interamente assorbito dal mercato e che la disponibilità risponde solo marginalmente alla domanda che si esprime nel nostro Paese. Infatti, anche in caso di intercettazione massima di scarto organico compostabile (100 kg/ab/anno) e valorizzazione dello stesso mediante compostaggio, non si porrebbero problemi di eccesso di offerta rispetto alla domanda: la produzione potenziale di compost a livello nazionale risponderebbe ai fabbisogni di non oltre l'1,2% della superficie agricola utilizzabile dell'intero Paese.

Anche nel caso delle frazioni organiche presenti nel rifiuto indifferenziato, a valle del circuito della raccolta differenziata, il sistema di gestione integrata tracciato dal D.lgs 22/97, impone la ricerca di ulteriori possibilità di valorizzazione finalizzate al recupero di materia. In questo contesto si inserisce il trattamento biologico, mediante compostaggio di frazioni organiche derivanti da impianti di selezione meccanica a valle della raccolta, che dà luogo a materiali che potranno ancora essere avviati a circuiti di valorizzazione che prevedano specifiche prescrizioni e limitazioni in base alla tipologia di utilizzo. In relazione all'orientamento sempre più accentuato degli operatori agricoli verso produzioni di qualità, è prevedibile che vi siano scarse prospettive di impiego per tale tipologia di materiali nel settore agricolo, che risulta interessato, piuttosto, ai compost ottenuti da frazioni organiche da raccolta differenziata. Per il materiale biostabilizzato da rifiuti indifferenziati un impiego di elezione potrà essere rappresentato dalla destinazione ad attività di recupero ambientale e paesistiche, che possono richiedere anche impieghi massivi, per i quali viene richiesta la disponibilità di sostanza organica stabilizzata al fine di migliorare le caratteristiche dei materiali inerti impiegati. Lo strumento normativo può giocare un ruolo molto importante riguardo alla necessità di valorizzare la frazione organica dei rifiuti urbani soprattutto per quanto attiene ai materiali di non elevata qualità; si tratta di completare ed integrare il quadro legislativo già vigente per quanto attiene ai prodotti di qualità (Legge 748/84 e D.M. 27 marzo 1998), introducendo regole certe ed adeguate all'esigenza di garantire opportunità di utilizzo di tali materiali, fermo restando il rispetto di elevati livelli di tutela ambientale [3].

Va' sottolineato che per quanto riguarda il compost di qualità il vigente panorama normativo italiano è definito, in quanto sono ben individuate le caratteristiche che lo stesso deve possedere, essendo indicate negli allegati alla Legge 19 ottobre 1984 n. 748 "Nuove norme per la disciplina dei fertilizzanti" e nel successivo D.M. 27 marzo 1998 "Modifiche all'Allegato 1 C della Legge 19 ottobre 1984, n. 748", per gli ammendanti compostati (verdi e misti). Il Decreto Ministeriale 5 Febbraio 1998 "Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 Febbraio 1997, n°22", all'articolo 16.1 individua i rifiuti compostabili:

- a) Frazione organica dei rifiuti solidi urbani raccolta separatamente [200108] [200302]
- b) Rifiuti vegetali di coltivazioni agricole [020103]
- c) Segatura, trucioli, frammenti di legno, di sughero [030102] [030101] [030103] [030301]
- d) Rifiuti vegetali derivanti da attività agro-industriali [020304] [020501] [020701] [020702] [020704]
- e) Rifiuti tessili di origine vegetale: cascami e scarti di cotone, cascami e scarti di lino, cascami e scarti di iuta, cascami e scarti di canapa [040201]
- f) Rifiuti tessili di origine animale: cascami e scarti di lana, cascami e scarti di seta [040202]
- g) Deiezioni animali da sole o in miscela con materiale di lettiera o frazioni della stessa ottenute attraverso processi di separazione [020106]
- h) Scarti di legno non impregnato [150103][200107][030101][030199]
- i) Carta e cartone nelle forme usualmente commercializzate, non trattati per usi speciali o spalmati con prodotti chimici da ugelli diversi per l'impasto cartaceo, come carte autocopianti, termocopianti, poliaccoppiati, carte catramate, ecc. [200101][150101]
- j) Fibra e fanghi di carta [030306]
- k) Contenuto dei prestomaci [020102]
- l) Rifiuti ligneo-cellulosici derivanti dalla manutenzione del verde ornamentale, escluso spazzamento stradale [200201]
- m) Fanghi di depurazione, fanghi di depurazione delle industrie agro-alimentari [190804][190805][020201][020204][020301][020305][020403][020502][020603][020705][030302][040107][190602]
- n) Ceneri di combustione di sanse esauste e di scarti vegetali con le caratteristiche di cui al punto 18.1 [100101][100102][100103].

I fanghi utilizzati devono avere caratteristiche conformi a quelle previste all'allegato IB del decreto legislativo 27 Gennaio 1992, n°99; possono esser utilizzati in misura non superiore al 35% sulla sostanza secca nella preparazione della miscela di partenza. Tale percentuale può essere elevata al 50% per i fanghi derivanti da impianti di depurazione delle industrie alimentari.

I valori massimi di concentrazione dei metalli pesanti nei fanghi, le caratteristiche agronomiche e microbiologiche all'allegato IB del D.Lgs. 27 Gennaio 1992, n°99 sono:

Al punto
stesso decreto,
modalità
quali deve
processo di

Cadmio	20 mg/Kg SS
Mercurio	10 mg/Kg SS
Nichel	300 mg/Kg SS
Piombo	750 mg/Kg SS
Rame	1000 mg/Kg SS
Zinco	2500 mg/Kg SS
Carbonio organico %SS (Min)	20 %SS
Fosforo tot. %SS (Min)	0,4 %SS
Azoto tot. %SS (Min)	1,5 %SS
Salmonelle MPN/g SS (Max)	10³

16.1.3 dello
sono indicate le
attraverso le
essere condotto il
compostaggio.

Il prodotto ottenuto (compost) deve avere le caratteristiche indicate dal Decreto 27 Marzo 1998 “
Modificazione all'allegato 1 C della Legge 19 Ottobre 1984, n° 748 recante nuove norme per la disciplina dei
fertilizzanti”.

DENOMINAZIONE DEL TIPO	MODO DI PREPARAZIONE E COMPONENTI ESSENZIALI	TITOLO MINIMO IN ELEMENTI E/O SOSTANZE UTILI CRITERI CONCERNENTI LA VALUTAZIONE ALTRI REQUISITI RICHIESTI	ALTRE INDICAZIONI CONCERNENTI LA DENOMINAZIONE DEL TIPO	ELEMENTI E/O SOSTANZE UTILI IL CUI TITOLO DEVE ESSERE DICHIARATO. CARATTERISTICHE E DIVERSE DA DICHIARARE. ALTRI REQUISITI RICHIESTI
Ammendante compostato misto	Prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllato di rifiuti organici che possono essere costituiti dalla frazione organica degli RSU provenienti da raccolta differenziata, da rifiuti di origine animale compresi liquami zootecnici da rifiuti di attività agroindustriali e da lavorazione del legno e del tessile naturale non trattati da reflui e fanghi nonché dalle matrici previste per l'ammendante compostato verde.	Umidità: max 50% pH compreso tra 6-8,5 Carbonio organico sul secco: minimo 25% Acidi umici e fulvici sul secco: minimo 7% Azoto organico sul secco: almeno 80% dell'azoto totale. C/N massimo 25% Rame totale sul secco: massimo 150 p.p.m. Zinco totale sul secco: massimo 500 p.p.m.		Umidità pH Carbonio organico sul secco. Acidi umici e fulvici sul secco. Rame totale sul secco. Zinco totale sul secco. Salinità.

Note :

Per fanghi si intendono quelli definiti dal Decreto Legislativo 27 Gennaio 1992, n°99, di attuazione alla Direttiva 86/278/CEE concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura.

I fanghi tranne quelli agroindustriali, non possono superare il 35% (P/P) della miscela iniziale.

Sono altresì fissati i seguenti tenori massimi in metalli pesanti, espressi sulla sostanza secca:

-Pb totale: 140 p.p.m.

-Cd tot. : 1,5 p.p.m.

-Ni tot. : 50 p.p.m.

Hg tot. : 1,5 p.p.m.

Il tenore in cromo esavalente non deve superare il valore di 0,5 p.p.m. espresso sulla sostanza secca.

E' consentito dichiarare i titoli in altre forme di azoto, fosforo, totale e potassio totale.

Il tenore in materiale plastico, eventualmente presente, del diametro fino a 3,33 mm, non può superare lo 0,45% della sostanza secca.

Il tenore in materiale plastico, eventualmente presente, del diametro maggiore di 3,33 mm e fino a 10 mm non può superare lo 0,05% della sostanza secca.

Il tenore di altri materiali inerti, eventualmente presenti, del diametro fino a 3,33 mm, non può superare lo 0,9% della sostanza secca.

Il tenore di altri materiali inerti, eventualmente presenti, del diametro maggiore di 3,33 mm, ma inferiore a 10 mm non può superare lo 0,1% della sostanza secca.

Materiali plastici ed inerti superiori a 10 mm devono essere assenti.

Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica:

-Salmonelle : assenti in 25 g di campione tal quale , dopo vivificazione.

-Enterobacteriaceae totali: massimo $1,0 \cdot 10^2$ Unità formanti per colonie per g.

-Streptococchi fecali: massimo $1,0 \cdot 10^3$ (MPN*g)

-Nematodi: assenti in 50 g sul tal quale

-trematodi: assenti in 50 g sul tal quale

-Cestodi: assenti in 50 g sul tal quale.

LIMITI ALLEGATO 1.C LEGGE 748/84
(come modificati dal decreto 27 marzo 1998)
AMMENDANTE COMPOSTATO MISTO

Parametro

Azoto organico sul secco

D. 27.03.98> 80% dell'azoto totale
< 50% s.t.q.**2. UMIDITÀ**

Carbonio organico

> 25% s.s.

Acidi umici e fulvici

> 7% s.s.

C/N

< 25

pH

6-8,5

Rame totale

150 p.p.m s.s.

Zinco totale

500 p.p.m s.s.

Piombo totale

140 p.p.m s.s.

Cadmio totale

1,5 p.p.m s.s.

Nichel totale

50 p.p.m. s.s.

Mercurio totale

1,5 p.p.m s.s.

Cromo esavalente

0,5 p.p.m s.s.

Materiale plastico ($\emptyset \leq 3,33$ mm) $\leq 0,45$ % s.s.Materiale plastico ($3,33$ mm $< \emptyset \leq 10$ mm) $\leq 0,05$ % s.s.Altri materiali inerti ($\emptyset \leq 3,33$ mm) $\leq 0,9$ % s.s.Altri materiali inerti ($3,33$ mm $< \emptyset \leq 10$ mm) $\leq 0,1$ % s.s.Materiali plastici ed inerti ($\emptyset > 10$ mm)

Assenti

Salmonelle

Assenti in 25 g t.q., dopo riv.

Enterobacteriaceae totali

 $\leq 1 \times 10^2$ UFC per g

Streptococchi fecali

Max $1,0 \times 10^3$ (MNP \times g)

Nematodi

Assenti in 50 g t.q.

Trematodi

Assenti in 50 g t.q.

Cestodi

Assenti in 50 g t.q.

AMMENDANTE COMPOSTATO MISTO: prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllato di rifiuti organici che possono essere costituiti dalla frazione organica degli RSU proveniente da raccolta differenziata, da rifiuti di origine animale compresi liquami zootecnici, da rifiuti di attività agroindustriale e da lavorazione del legno e del tessile naturale non trattati, da reflui e fanghi, nonché dalle matrici previste per l'Ammendante Compostato Verde.

LIMITI ALLEGATO 1.C LEGGE 748/84
(come modificati dal decreto 27 marzo 1998)
AMMENDANTE COMPOSTATO VERDE

Parametro

Azoto organico sul secco

D. 27.03.98

> 80% dell'azoto totale
 < 50% s.t.q.

3. UMIDITÀ

Carbonio organico

> 30% s.s.

Acidi umici e fulvici

> 2,5% s.s.

C/N

< 50

pH

6-8,5

Rame totale

150 p.p.m s.s.

Zinco totale

500 p.p.m s.s.

Piombo totale

140 p.p.m s.s.

Cadmio totale

1,5 p.p.m s.s.

Nichel totale

50 p.p.m. s.s.

Mercurio totale

1,5 p.p.m s.s.

Cromo esavalente

0,5 p.p.m s.s.

Materiale plastico ($\varnothing \leq 3,33$ mm)

$\leq 0,45$ % s.s.

Materiale plastico ($3,33$ mm $< \varnothing \leq 10$ mm)

$\leq 0,05$ % s.s.

Altri materiali inerti ($\varnothing \leq 3,33$ mm)

$\leq 0,9$ % s.s.

Altri materiali inerti ($3,33$ mm $< \varnothing \leq 10$ mm)

$\leq 0,1$ % s.s.

Materiali plastici ed inerti ($\varnothing > 10$ mm)

Assenti

Salmonelle

Assenti in 25 g t.q., dopo riv.

Enterobacteriaceae totali

$\leq 1 \times 10^2$ UFC per g

Streptococchi fecali

Max $1,0 \times 10^3$ (MNP \times g)

Nematodi

Assenti in 50 g t.q.

Trematodi

Assenti in 50 g t.q.

Cestodi

Assenti in 50 g t.q.

A livello nazionale non esistono altre normative. Esiste, per ora, una bozza di Decreto, relativa alle "Norme

AMMENDANTE per COMPOSTATO VERDE biologico, che non è tecnicamente presente in prodotti di tipo commerciale, applicabili agli impianti di stabilizzazione controllata di rifiuti organici costituiti da scarti della manutenzione del verde ornamentale, residui delle colture, altri rifiuti di origine vegetale con esclusione di alghe e altre piante marine.

(in questa categoria rientra l'impianto di compostaggio in questione).

Ai fini dell'applicazione del Decreto si intende per:

- Trattamento biologico: trattamento del rifiuto inteso alla promozione dei processi spontanei di mineralizzazione, parziale o totale, a carico delle componenti organiche fermentescibili, in fase aerobica od anaerobica. Il termine indica l'insieme delle operazioni relative a tale trattamento, comprensive delle operazioni preliminari e finali sia di condizionamento della massa per promuovere i processi biologici, che di separazione di materiali estranei o di flussi di materiali refrattari alla bioconversione.

- Bioconversione: l'insieme dei processi strettamente biologici aerobici od anaerobici di trasformazione del materiale sottoposto al trattamento biologico.

- Compostaggio: processo di bioossidazione di matrici organiche biodegradabili in fase solida in condizioni controllate che evolve attraverso una fase termofila e porta alla stabilizzazione e maturazione della sostanza organica.

- Frazione umida: frazione alimentare dei rifiuti urbani (di origine domestica, mercatale, o da utenze di ristorazione collettiva) selezionata alla fonte mediante circuiti specifici di raccolta differenziata.

- Frazione verde o scarti verdi o frazione lignocellulosica: materiali vegetali provenienti da manutenzione degli spazi verdi pubblici e privati (parchi e giardini), nonché da potature delle coltivazioni arboree ed arbustive ed eventualmente integrati da altri materiali ligno-cellulosici quali trucioli, segatura, cassette, ecc., non trattati con collanti, impregnanti, ed altre sostanze potenzialmente inquinanti, ad esclusione dei:

- corpi fruttiferi se non derivanti dalle normali operazioni di potatura di branche, rami, tralci;
- materiali, anche se prevalentemente fogliosi, provenienti da operazioni di spazzamento stradale.

Inoltre le previsioni e gli obiettivi posti dalla Direttiva 99/31/CE erano stati sostanzialmente anticipati a livello nazionale dall'art. 5 comma 6 del D.Lgs. 22/97, il quale prevedeva che dal 01/01/2000 (termine poi posticipato al 16/07/2001) solo il rifiuto trattato – o quello residuo da processi di valorizzazione e recupero – potesse essere collocato a discarica. Più recentemente il Decreto 36/03, che recepisce la Direttiva 99/31, ha confermato i principi ispiratori della stessa, con particolare riferimento a:

a. obiettivi di riduzione del carico di rifiuto biodegradabile (art. 5);

b. obbligo, in via generale, del pretrattamento (art. 7, comma 1), pur specificando che l'obbligo *“non si applica (...) ai rifiuti il cui trattamento non contribuisce (...)”* a ridurre *“la quantità dei rifiuti o i rischi per la salute umana e l'ambiente, e non risulta indispensabile ai fini del rispetto dei limiti fissati dalla normativa vigente”*. Tale specificazione istituisce un “principio di eccezione” oggettivamente vasto [14].

Il Decreto ha anche ripreso la definizione di “trattamento” specificandola nella seguente forma: *“(...) i processi fisici, termici, chimici o biologici, incluse le operazioni di cernita, che modificano le caratteristiche dei rifiuti, allo scopo di ridurre il volume o la natura pericolosa (...) o di favorirne lo smaltimento in condizioni di sicurezza”*. Il trattamento biologico, quindi, viene incluso nei trattamenti ammessi; d'altronde, la lettura congiunta con l'obiettivo di ridurre il carico di materiali biodegradabili assegna a tale trattamento un ruolo prioritario laddove si ponga attenzione al fatto che il trattamento biologico (come quello termico) consegue il risultato principale di *determinare la mineralizzazione più o meno estesa delle componenti organiche biodegradabili*. Tale risultato non è invece ottenibile con gli altri tipi di

trattamento, che dunque non possono contribuire al conseguimento degli obiettivi di riduzione del carico biodegradabile in discarica (pur contribuendo, mediante la riduzione volumetrica, la temporanea inattivazione dei processi di degradazione, ecc., al miglioramento delle condizioni generali di collocazione del rifiuto e di gestione della discarica). Quindi, in linea generale, due sono gli strumenti a disposizione per conseguire gli obiettivi di riduzione del carico organico e della fermentescibilità del rifiuto posto a discarica: il primo è la raccolta differenziata dello scarto biodegradabile, con particolare riferimento alle frazioni compostabili ed a quelle cartacee; il secondo è qualsiasi pretrattamento (biologico o termico) che permetta la mineralizzazione della componente organica fermentescibile prima dell'interramento del rifiuto, o la sua stabilizzazione, ossia la degradazione delle componenti fermentescibili [14].

3.1.2.1 - Realizzazione e gestione di impianti di compostaggio: il sistema autorizzativo

L'articolo 27, comma 1 del D.lgs. 22/97 prevede che *“i soggetti che intendono realizzare nuovi impianti di smaltimento o di recupero di rifiuti, anche pericolosi, devono presentare apposita domanda alla Regione competente per territorio allegando il progetto definitivo dell'impianto e la documentazione tecnica prevista per la realizzazione del progetto stesso, dalle disposizioni in materia di urbanistica, di tutela ambientale, di salute e sicurezza sul lavoro e di igiene pubblica”*.

Tali disposizioni, secondo quanto stabilito al comma 8 del citato articolo 27, si applicano anche per la realizzazione di varianti sostanziali in corso di esercizio, che comportano modifiche a seguito delle quali gli impianti non sono più conformi all'autorizzazione rilasciata.

L'autorizzazione all'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero è disciplinata dalle disposizioni dell'articolo 28 che stabilisce, al comma 1, che *“l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti è autorizzato dalla Regione competente per territorio entro novanta giorni dalla presentazione della relativa istanza da parte dell'interessato”*.

L'autorizzazione individua, inoltre, le condizioni operative e le prescrizioni tecniche necessarie per garantire l'attuazione dei principi di cui all'articolo 2 del medesimo decreto, ed in particolare:

- i tipi ed i quantitativi di rifiuti da smaltire o da recuperare;
- i requisiti tecnici, con particolare riferimento alla compatibilità del sito, alle attrezzature utilizzate, ai tipi ed ai quantitativi massimi di rifiuti, ed alla conformità dell'impianto al progetto approvato;
- le precauzioni da prendere in materia di sicurezza ed igiene ambientale;
- il luogo di smaltimento;
- il metodo di trattamento e di recupero;
- i limiti di emissione in atmosfera per i processi termici di trattamento dei rifiuti;
- le garanzie finanziarie;
- l'idoneità del soggetto richiedente l'autorizzazione.

L'autorizzazione ha una validità di cinque anni ed è rinnovabile, previa presentazione, entro 180 giorni dalla scadenza della stessa, di un'apposita domanda alla Regione competente.

I soggetti sottoposti al regime autorizzativo ordinario ai sensi degli artt. 27 e 28 sono, altresì tenuti ai seguenti adempimenti:

I soggetti sottoposti alle autorizzazioni ordinarie ai sensi degli artt. 27 e 28 del D.lgs. 22/97 sono altresì tenuti ai seguenti adempimenti:

- ai sensi dell'art. 15, la copia di propria pertinenza del formulario di identificazione dei rifiuti, deve essere datata e controfirmata, anche ai fini dello scarico delle responsabilità a carico del produttore;
- tenuta del registro di carico e scarico dei rifiuti, ai sensi dell'art. 12, con le modalità previste dal D.M. 1° aprile 1998, n. 148 e dalla Circolare ministeriale 4 agosto 1998, n. 812. Al registro deve essere allegata la copia del formulario;
- entro il 30 aprile di ogni anno, il gestore dell'impianto di recupero è tenuto alla presentazione del MUD (modello unico di dichiarazione) presso la CCIAA del capoluogo di Regione dove ha sede l'unità operativa, secondo quanto previsto dal DPCM 31 marzo 1999 [3].

3.1.1.1.1 3.1.2.2 - La procedura semplificata

In attuazione dell'art. 11, paragrafo 1, lett. b) della direttiva 91/156/CEE, l'articolo 31 del D.lgs. 22/97 stabilisce, entro 180 giorni dall'emanazione dello stesso, l'adozione di norme tecniche che fissino, per ciascun tipo di attività, i tipi e le quantità di rifiuti e le condizioni in base alle quali le attività di recupero di cui all'allegato C, sono sottoposte alle procedure semplificate ai sensi dell'art. 33. Le procedure semplificate devono comunque garantire un elevato livello di protezione dell'ambiente; a tal fine, le norme tecniche fissate in base a tali disposizioni, devono garantire che i tipi, le quantità e i metodi di recupero siano tali da non costituire un pericolo per l'uomo e per l'ambiente.

L'articolo 33 prevede procedure amministrative semplificate per l'esercizio delle operazioni di recupero e di messa in riserva, nel caso siano rispettate le norme tecniche e le prescrizioni adottate ai sensi del citato art. 33, commi 1, 2 e 3. In base a quanto detto, le operazioni di recupero possono essere intraprese, decorsi novanta giorni dalla comunicazione di inizio attività, alla Provincia territorialmente competente. Alla comunicazione deve essere allegata una relazione dalla quale devono risultare:

- il rispetto delle norme tecniche e delle condizioni di cui al comma 1;
- il possesso dei requisiti soggettivi richiesti;
- le attività di recupero che si intendono svolgere;
- lo stabilimento, la capacità di recupero e il ciclo di trattamento o di combustione;
- le caratteristiche dei prodotti derivanti dai cicli di recupero.

La Provincia, decorsi novanta giorni dalla presentazione della domanda, iscrive l'impresa in un apposito registro. Per la tenuta di tale registro e per l'effettuazione dei controlli periodici, l'interessato è tenuto a versare alla

Provincia un diritto di iscrizione annuale, determinato in base alle modalità previste dal D.M. 21 luglio 1998, n. 350. Il gestore dell'impianto è, inoltre, tenuto ai seguenti obblighi:

- ai sensi dell'art. 15, la copia di propria pertinenza del formulario di identificazione dei rifiuti, deve essere datata e controfirmata, anche ai fini dello scarico delle responsabilità a carico del produttore;
- tenuta del registro di carico e scarico dei rifiuti, ai sensi dell'art. 12, con le modalità previste dal D.M. 1° aprile 1998, n. 148 e dalla Circolare ministeriale 4 agosto 1998, n. 812. Al registro deve essere allegata la copia del formulario;
- entro il 30 aprile di ogni anno, il gestore dell'impianto di recupero è tenuto alla presentazione del MUD (modello unico di dichiarazione) presso la CCIAA del capoluogo di Regione dove ha sede l'unità operativa, secondo quanto previsto dal DPCM 31 marzo 1999 [3].

Prodotti già ammessi per il compostaggio - cap. 16 del D.M. 05.02.1998: CER Descrizione

02 00 00 rifiuti provenienti da produzione, trattamento e preparazione di alimenti in agricoltura, orticoltura, caccia, pesca ed acquicoltura

02 01 00 rifiuti delle produzioni primarie

02 01 02 scarti animali

02 01 03 scarti vegetali

02 01 06 feci animali, urine e letame (comprese le lettiere usate), effluenti, raccolti separatamente e trattati fuori sito

02 02 00 rifiuti della preparazione e del trattamento di carne, pesce ed altri alimenti di origine animale

02 02 01 fanghi da operazioni di lavaggio e pulizia

02 02 04 fanghi dal trattamento sul posto di effluenti

02 03 00 rifiuti della preparazione e del trattamento di frutta, vegetali, cereali, oli alimentari, cacao, caffè, tabacco; della produzione di conserve alimentari; della lavorazione del tabacco

02 03 01 fanghi derivanti da operazioni di lavaggio, pulizia, sbucciatura, centrifugazione e separazione di componenti

02 03 04 scarti inutilizzabili per il consumo o la trasformazione

02 03 05 fanghi dal trattamento sul posto degli effluenti

02 04 00 rifiuti della raffinazione dello zucchero

02 04 03 fanghi dal trattamento sul posto degli effluenti

02 05 00 rifiuti dell'industria lattiero-casearia

02 05 01 scarti inutilizzabili per il consumo o la trasformazione

02 05 02 fanghi dal trattamento sul posto degli effluenti

02 06 00 rifiuti della pasta e della panificazione

02 06 03 fanghi dal trattamento sul posto degli effluenti

02 07 00 rifiuti dalla produzione di bevande alcoliche ed analcoliche (tranne caffè, tè e cacao)

02 07 01 rifiuti da operazioni di lavaggio, pulizia e macinazione della materia prima

02 07 02 rifiuti della distillazione di bevande alcoliche

02 07 04 scarti inutilizzabili per il consumo o la trasformazione

02 07 05 fanghi dal trattamento sul posto degli effluenti

03 00 00 rifiuti della lavorazione del legno e della produzione di carta, polpa, cartone, pannelli e mobili

03 01 00 rifiuti della lavorazione del legno e della produzione di pannelli e mobili

03 01 01 scarti di corteccia e sughero

03 01 02 Segatura

03 01 03 scarti di rasatura, taglio, impiallacciatura, legno deteriorato

03 03 00 rifiuti della produzione e della lavorazione di carta, polpa e cartone

03 03 01 Corteccia

03 03 02 fecce e fanghi (recupero dei bagni di macerazione)

03 03 06 fibra e fanghi di carta

04 00 00 rifiuti della produzione conciaria e tessile

04 01 00 rifiuti dell'industria della lavorazione della pelle

04 01 07 fanghi non contenenti cromo

04 02 00 rifiuti dell'industria tessile

04 02 01 rifiuti da fibre tessili grezze ed altre sostanze fibrose naturali, principalmente di origine vegetale

04 02 02 rifiuti da fibre tessili grezze principalmente di origine animale

10 00 00 rifiuti inorganici provenienti da processi termici

10 01 00 rifiuti di centrali termiche ed altri impianti termici (eccetto 190000)

10 01 01 ceneri pesanti

10 01 02 ceneri leggere

10 01 03 ceneri leggere e torba

15 00 00 imballaggi, assorbenti: stracci, materiali filtranti e indumenti protettivi (non specificati altrimenti)

15 01 00 Imballaggi

15 01 01 carta e cartone

15 01 03 imballaggi in legno

19 00 00 rifiuti da impianti di trattamento rifiuti, impianti di trattamento acque reflue fuori sito e industrie dell'acqua

19 06 00 rifiuti dal trattamento anaerobico dei rifiuti

19 06 02 fanghi da trattamento anaerobico di rifiuti animali e vegetali

19 08 00 rifiuti da impianto di trattamento delle acque reflue non specificati altrimenti

19 08 04 fanghi dal trattamento delle acque reflue industriali

19 08 05 fanghi di trattamento delle acque reflue urbane

20 00 00 rifiuti solidi urbani ed assimilabili da commercio, industria ed istituzioni inclusi i rifiuti della raccolta differenziata

20 01 00 raccolta differenziata

20 01 01 carta e cartone

20 01 07 Legno

20 01 08 rifiuti di natura organica utilizzabili per il compostaggio (compresi oli per frittura e rifiuti di mense e ristoranti)

20 02 00 rifiuti di giardini e parchi (inclusi i rifiuti provenienti da cimiteri)

20 02 01 rifiuti compostabili

20 03 00 altri rifiuti urbani

20 03 02 rifiuti di mercati

4. ALTRI RESIDUI DA UTILIZZARE IN IMPIANTI DI COMPOSTAGGIO AUTORIZZATI CER DESCRIZIONE

02 01 01 fanghi da operazioni di lavaggio e pulizia *Conformi al D.Lgs. 99/1992*

02 06 00 rifiuti della pasta e della panificazione

02 06 01 scarti inutilizzabili per il consumo o la trasformazione

19 00 00 rifiuti da impianti di trattamento rifiuti, impianti di trattamento acque reflue fuori sito e industrie dell'acqua

19 06 00 rifiuti dal trattamento anaerobico dei rifiuti

19 06 01 fanghi da trattamento anaerobico di rifiuti urbani e simili

3.2 – Il processo di compostaggio

3.2.1 – Definizione di compostaggio

Il *compostaggio* consiste nella stabilizzazione biologica in fase solida di scarti, residui e rifiuti organici fermentescibili, in condizioni aerobiche (presenza di ossigeno molecolare) tali da garantire alla matrice in trasformazione il passaggio spontaneo attraverso una fase di autoriscaldamento, dovuto alle reazioni microbiche. Il processo trasforma il substrato di partenza in un prodotto stabile, simile all'*humus*, chiamato *compost*. Si tratta, essenzialmente, dello stesso processo di trasformazione che in natura ricorre spesso in diversi contesti quali, per esempio, la lettiera dei terreni forestali ovvero i cumuli di letame in maturazione, con la differenza che, nelle applicazioni tecnologiche, esso viene opportunamente incrementato ed accelerato.

Nell'ambito delle biotecnologie ambientali, il compostaggio, senza aggettivazione alcuna, sta quindi ad indicare il processo bioossidativo aerobico, esotermico (basato su reazioni che generano calore), promosso dai microrganismi (*biomassa attiva*) di norma naturalmente associati alle matrici sottoposte al trattamento, in conseguenza del quale il substrato organico eterogeneo di partenza (*biomassa substrato*) subisce, in tempi ragionevolmente brevi (alcune settimane), profonde trasformazioni nelle caratteristiche fisico-chimiche e biologiche (maturazione), con perdita della putrescibilità (stabilizzazione), parallelamente ad una parziale mineralizzazione e humificazione [3].

Il termine *compostaggio anaerobico*, quantunque usato talvolta nel lessico tecnico per indicare la stabilizzazione di matrici organiche in condizioni metanogeniche, è in realtà da ritenersi un inesatto e fuorviante sinonimo di digestione anaerobica [3].

3.2.2 – Dinamica del processo

Durante il processo di compostaggio, i microrganismi degradano, in maniera più o meno spinta, il substrato organico di partenza, producendo anidride carbonica, acqua, calore e sostanza organica humificata, vale a dire una matrice finale *metastabile*, non suscettibile cioè di ulteriori repentine trasformazioni biologiche. In condizioni ottimali, il compostaggio si svolge attraverso tre stadi principali:

(1) la *fase mesofila di latenza* - che può protrarsi da poche ore ad alcuni giorni - durante la quale, la matrice iniziale viene invasa dai microrganismi, il cui metabolismo finisce per causare il progressivo riscaldamento del substrato;

(2) la *fase termofila o di stabilizzazione* - di durata variabile da alcuni giorni a diverse settimane - nel corso della quale si ha un'intensa attività bioossidativa;

(3) la *fase di raffreddamento o maturazione* - di durata da poche settimane ad alcuni mesi - nella quale intervengono le reazioni di humificazione.

Da un punto di vista gestionale, l'intero processo di biostabilizzazione viene però, di solito, suddiviso in due archi temporali distinti: il periodo di attiva trasformazione (*active composting*), comprendente, sostanzialmente la fase mesofila di latenza (1) e la fase termofila di stabilizzazione (2); ed il periodo di finissaggio (*curing*), corrispondente alla fase di raffreddamento e di maturazione mesofila (3)[3].

In coincidenza con i vari stadi del compostaggio, si affermano e predominano differenti popolazioni di microorganismi. L'iniziale decomposizione del substrato è dovuta all'intervento di specie microbiche mesofile che utilizzano rapidamente i composti solubili e facilmente degradabili. Il calore prodotto dalle reazioni esoergoniche di questi microorganismi rimane intrappolato nella matrice in trasformazione a causa della scarsa conducibilità di quest'ultima.

A seguito del progressivo accumulo di calore, la temperatura del substrato comincia a salire, superando ben presto la soglia della termofilia. Come la temperatura si porta sopra i 40 °C, i microorganismi mesofili divengono meno competitivi e sono perciò progressivamente sostituiti da specie termofile, alcune delle quali risultano capaci non solo di resistere ma anche di svolgere le normali attività metaboliche a temperature > 70 °C (es. batteri del genere *Thermus*). Raggiunta o superata la soglia dei 55 °C, un gran numero di microorganismi, ivi comprese le specie patogene per l'uomo e per le piante, è disattivato [3].

Dal momento che temperature al di sopra dei 65 °C uccidono la maggior parte dei microbi, riducendo così il tasso di decomposizione del substrato, nelle applicazioni biotecnologiche del compostaggio è opportuno governare il processo affinché non venga superata questa soglia ovvero la deriva termica sia ristretta ad un lasso di tempo il più limitato possibile [3].

Durante lo stadio termofilo, le alte temperature accelerano la degradazione di proteine, grassi e carboidrati complessi quali cellulosa ed emicellulosa, che rappresentano due tra i più importanti polimeri strutturali delle piante. Man mano che la disponibilità dei composti ricchi d'energia comincia ad esaurirsi, la temperatura della matrice in trasformazione gradualmente decresce, consentendo alle popolazioni microbiche mesofile responsabili dei processi di humificazione di colonizzare il substrato per quella che è stata precedentemente definita la fase di maturazione o finissaggio. Quando lo stadio di affinamento giunge a compimento, il prodotto ormai maturo può essere definito compost [3].

3.2.3 - L'ecosistema microbico alla base del processo

Un'ampia rassegna di popolazioni microbiche partecipa al compostaggio. I diversi gruppi di microorganismi si sviluppano di volta in volta in risposta ai differenti livelli di umidità, temperatura, ossigeno e pH all'interno della matrice in trasformazione. È proprio grazie a questa diversità microbica che il processo di compostaggio può procedere nonostante il mutare continuo delle condizioni ambientali e trofiche del substrato. I microorganismi responsabili del compostaggio degradano una vasta gamma di composti, da sostanze semplici come zuccheri e aminoacidi a polimeri complessi come proteine, polisaccaridi e lignina. Ciò porta ad una profonda disgregazione e trasformazione della matrice di partenza. Gli intervalli di temperatura e la disponibilità di sostanze nutritive giocano il ruolo principale nel determinare il gruppo o, addirittura, le specie di microorganismi che caratterizzano la popolazione microbica in ogni particolare momento del processo.

Come già accennato, le reazioni degradative procedono rapidamente durante le battute iniziali del compostaggio a causa della larga disponibilità di composti facilmente assimilabili.

Questi composti sono caratterizzati da basso peso molecolare e semplice struttura chimica; sono solubili in acqua e sono in grado quindi di passare senza difficoltà attraverso le pareti e le membrane microbiche. Ciò comporta il fatto che tali sostanze possono essere utilizzate da un ampio spettro di microorganismi non specializzati [3].

Man mano che i composti facilmente metabolizzabili vanno incontro a progressivo esaurimento, divenendo meno disponibili, altre sostanze più complesse, meno degradabili cominciano ad essere oggetto di attacco da parte dei microorganismi. Queste sostanze presentano un elevato peso molecolare, hanno struttura polimerica (*es.* cellulosa) o polidispersa (*es.* lignina) e non possono essere traslocate direttamente all'interno delle cellule microbiche. Tali sostanze devono perciò essere scomposte nei costituenti monomerici ovvero in strutture comunque più piccole delle molecole iniziali, attraverso l'azione di enzimi esocellulari. Non tutti i microorganismi associati alle matrici in compostaggio sono però dotati di adeguato bagaglio enzimatico per la degradazione delle sostanze polimeriche complesse. Di solito, questa capacità è più diffusa nell'ambito delle specie fungine rispetto alle specie batteriche. Dopo che, ad opera dei microorganismi specializzati, i polimeri sono stati idrolizzati nei costituenti più piccoli, questi stessi frammenti si rendono disponibili anche per specie microbiche non specializzate.

I microorganismi che colonizzano le matrici sottoposte a compostaggio sono riconducibili, in termini tipologici e non sistematici, a tre principali gruppi: *batteri*, *attinomiceti* e *funghi*. Batteri ed attinomiceti sono organismi procarioti. In realtà, gli attinomiceti rappresentano una particolare suddivisione di batteri, seppure caratterizzati spesso da crescita di tipo filamentoso dovuta alla formazione di pseudo-micelio. I funghi sono invece microorganismi eucarioti e comprendono, oltre alle cosiddette muffe (eumiceti filamentosi) anche i lieviti.

Con l'eccezione dei funghi filamentosi che sono sostanzialmente aerobi, i microorganismi che intervengono nel compostaggio, nonostante il prevalente carattere ossidativo del processo, possono essere aerobi, anaerobi facoltativi o anaerobi stretti. Questi ultimi crescono solo in totale assenza di ossigeno molecolare, il quale risulta per essi estremamente tossico. I microorganismi aerobi, per vivere, necessitano invece di una adeguata tensione di ossigeno. Gli anaerobi facoltativi, infine, usano l'ossigeno se disponibile ma possono vivere anche in assenza di questo gas.

I microorganismi che ricorrono nei substrati in corso di compostaggio possono essere poi distinti in *psicrotrofi* o *psicrofili facoltativi*, *mesofili* e *termofili* a seconda dell'intervallo di temperatura entro il quale possono svilupparsi ovvero trovare le condizioni ottimali di crescita. In particolare, le specie psicrotrofe sono in grado di crescere con una certa efficienza anche al di sotto dei 10 °C. L'intervallo di crescita dei mesofili è invece compreso tra 15 e 45 °C, mentre i termofili prosperano intorno ai 55-65 °C, con alcune specie capaci di vivere oltre i 70 °C [3].

3.2.3.1 – I batteri

I batteri rappresentano i più piccoli organismi degradatori e costituiscono la comunità microbica più numerosa di una matrice in compostaggio. Essi rappresentano, in numero, l'80-90 % dei miliardi di cellule microbiche associate ad un grammo di substrato in trasformazione o di compost maturo.

I batteri sono i principali responsabili della generazione di calore durante il compostaggio. Presentano inoltre il più ampio spettro di profili nutrizionali rispetto a qualsiasi altro gruppo microbico coinvolto nel processo di

stabilizzazione aerobica della sostanza organica, disponendo di una variegata dotazione di enzimi necessari per la degradazione di numerosi composti.

I batteri sono, di norma, decompositori veloci, in grado di utilizzare rapidamente le sostanze più facilmente degradabili nonché i prodotti intermedi del metabolismo fungino. Alcune specie batteriche riescono a degradare la cellulosa (es. batteri striscianti appartenenti all'ordine delle *Cytophagales*). È possibile riscontrare la crescita di gruppi specializzati di batteri a qualsiasi valore di pH, anche se l'intervallo di pH ottimale per la maggior parte di questi microorganismi si colloca tra 6,5 e 8. I batteri sono, di contro, estremamente poco tolleranti, rispetto ad attinomiceti e funghi, nei confronti di condizioni di scarsa umidità.

Dopo una massiva colonizzazione del substrato da parte di specie batteriche mesofile, in concomitanza

degli stadi iniziali del processo, con l'avvento della fase termofila, la popolazione batterica tende ad essere dominata da rappresentanti del genere *Bacillus*. La diversità dei bacilli è piuttosto ampia fino a temperature intorno ai 50-55 °C, ma crolla drasticamente come vengono superati i 60 °C. In queste condizioni ormai sfavorevoli, i bacilli sopravvivono formando endospore, le quali, oltre che resistere al calore, sono in grado di superare lunghi periodi di mancanza di nutrienti e di disidratazione del substrato. Una volta ripristinate le condizioni compatibili con la crescita, questi batteri riprendono a svilupparsi. La capacità a formare strutture di resistenza, propria di un certo numero di specie batteriche, consente a queste ultime di partecipare, senza evidente soluzione di continuità, alla prosecuzione del processo di compostaggio una volta che la fase di raffreddamento della matrice segua lo stadio di termofilia.

3.2.3.2 – Gli attinomiceti

Sono i microorganismi responsabili del caratteristico “profumo di terra” che si sprigiona dal compost maturo. Come accennato in precedenza, ad una prima osservazione possono somigliare ai funghi a causa della formazione di pseudo-ife, di lunghezza fino a 10-15 mm e larghezza compresa tra 0,5 e 2 mm. Ciò nonostante, sia per la tipologia delle strutture cellulari esterne (parete) sia per l'organizzazione intracellulare (mancanza di un nucleo definito) sono da considerarsi, a tutti gli effetti, batteri.

Gli attinomiceti giocano nell'ambito del compostaggio un ruolo importante nella degradazione di sostanze organiche complesse come proteine, emicellulose, cellulosa, chitina e lignina.

Alcune specie compaiono durante la fase termofila, mentre altre si sviluppano massivamente nello stadio di progressivo raffreddamento, contribuendo alla formazione di sostanze humiche ed alla completa maturazione del substrato. Spesso gli attinomiceti formano una inconfondibile trama di filamenti che si diffonde come ragnatela di colore grigio pallido attraverso il substrato in compostaggio.

3.2.3.3 – I funghi

Con esclusione dei lieviti che prosperano su composti prontamente assimilabili (es. zuccheri semplici) e, perciò, nell'ambito del compostaggio, rivestono un ruolo del tutto marginale, i funghi, in generale, sono responsabili della degradazione di molti tra i polimeri complessi di origine vegetale quali cere, emicellulose, cellulosa, pectina e lignina.

Nell'economia complessiva del processo di compostaggio, i funghi operano quindi un'azione fondamentale decomponendo sostanze altrimenti resistenti all'attacco microbico, in modo tale da rendere disponibili metaboliti intermedi ai batteri che provvedono così all'ulteriore trasformazione degli stessi.

Le muffe o funghi filamentosi invadono il substrato in compostaggio mediante una capillare diffusione di vigorosi filamenti, di solito, sinciziali (ife multinucleate), del diametro variabile tra 2 e 10 mm. Prediligono un ambiente tendenzialmente acido, sono meno sensibili alla disidratazione rispetto ai batteri ed attaccano residui organici che per basso contenuto di azoto non sono utilizzati da quest'ultimi.

Poiché i funghi sono in maggior parte, aerobi obbligati, le muffe presentano in genere, una più limitata tolleranza alle condizioni di scarsa ossigenazione rispetto ai batteri. Inoltre, i funghi attivi durante il compostaggio sono, in massima parte, saprofiti, sviluppandosi su materiali organici morti dai quali traggono energia e nutrimento. Numerose sono le specie fungine che ricorrono sia nelle fasi mesofile che nello stadio termofilo del processo [3].

3.2.3.4 – I protozoi e la macrofauna

Una volta raggiunta la biostabilizzazione del substrato di partenza, vale a dire il superamento dello stadio di compostaggio attivo, i protozoi ed una variegata macrofauna cominciano a colonizzare la matrice organica. I protozoi sono organismi unicellulari che, insieme agli organismi più complessi quali rotiferi, acari, insetti, molluschi ed altri invertebrati, crescono a spese della microflora vivente (batteri e funghi), sulle spoglie di questa ovvero sui materiali organici in decomposizione. Questa comunità contribuisce al processo di definitiva maturazione ed humificazione del substrato sottoposto a compostaggio, incrementando le caratteristiche finali del compost ottenuto, ivi comprese le qualità soppressive nei confronti di determinati funghi fitopatogeni radicicoli.

Nell'ambito della macrofauna, i vermi terricoli quali *Eisenia foetida*, *Lumbricus rubellus* e *Lumbricus terrestris*, sono gli organismi che, probabilmente, esercitano il ruolo positivo più importante. Se non introdotti deliberatamente nella matrice in compostaggio, questi organismi non compaiono fintantoché il processo di stabilizzazione non sia in stadio avanzato. Tuttavia, alcune specie di vermi possono essere immesse nel substrato organico non ancora stabilizzato.

Questo deliberato apporto e conseguente allevamento di vermi nella matrice da trattare, al fine di ottenerne la stabilizzazione, è noto con il termine di *vermicompostaggio*. È importante comunque sottolineare che le condizioni compatibili con la vermicoltura, quale forma di trattamento di rifiuti organici in scala industriale, sono ristrette a casi particolari (es. stabilizzazione di certe deiezioni animali o di particolari fanghi biologici) nei quali, a parte la possibilità di mantenere i vermi in attiva crescita all'interno della massa organica in trasformazione, il fattore tempo e la disponibilità di spazio non costituiscano elementi limitanti [3].

4.1

4.2 3.2.4 – I DIVERSI TIPI DI TRATTAMENTO BIOLOGICO

Con la definizione di "trattamenti biologici", si intende il complesso delle operazioni, processi ed attività a carico di materiali biodegradabili di varia natura, che sfruttando le potenzialità degradative e di trasformazione da parte di

sistemi biologici (essenzialmente legati all'attività di microrganismi decompositori), consentono una mineralizzazione delle componenti organiche maggiormente degradabili (processo definito anche come "stabilizzazione" della sostanza organica) e l'igienizzazione per pastorizzazione della massa di rifiuti.

Scopo dei trattamenti biologici è quindi:

a) raggiungere la stabilizzazione della sostanza organica (ossia la perdita di fermentescibilità) mediante la mineralizzazione delle componenti organiche più aggredibili, con produzione finale di acqua ed anidride carbonica e loro allontanamento dal sistema biochimico; tale processo è inteso a garantire la compatibilità tra i prodotti finali e le ipotesi di impiego agronomico o la loro collocazione in ambito confinato (discarica); un prodotto organico "stabile", infatti nel suolo agricolo non produce più metaboliti (intermedi di degradazione) ad effetto fitotossico, né consuma ossigeno (necessario per la trasformazione delle componenti organiche "fresche"), sottraendolo alle piante ed alla microflora del terreno; in discarica, il materiale organico stabilizzato non comporta massicci processi di degradazione anaerobica a carico delle componenti organiche facilmente degradabili di cui la sostanza organica "fresca" è invece ricca (con conseguente produzione di biogas e percolato ad elevata aggressività).

b) conseguire la igienizzazione della massa; ciò consente di debellare i fitopatogeni presenti nei residui vegetali, impedendo che il compost ne diventi vettore, nonché i patogeni umani veicolati presenti nei materiali di scarto (es.: fanghi civili);

c) ridurre il volume e la massa dei materiali trattati al fine di renderne più agevole ed economico il trasporto e, nel caso di materiale da destinare a smaltimento in discarica, di ridurre il volume occupato rispetto ai rifiuti non trattati.

Il trattamento biologico delle frazioni organiche di rifiuto può essere realizzato con differenti tecnologie e processi, riconducibili a tre tipologie, che è opportuno mantenere terminologicamente distinte:

a) Compostaggio di qualità, a carico di biomasse di buona qualità selezionate alla fonte, indirizzato alla produzione di materiali valorizzabili nelle attività agronomiche e commerciabili in coerenza con il disposto della L.748/84 modd. intt. sui fertilizzanti.

b) Trattamento biologico di biostabilizzazione o bioessiccazione, a carico di matrici organiche di qualità inferiore (quali frazioni organiche da separazione meccanica del rifiuto indifferenziato, fanghi biologici con presenza relativamente elevata di metalli pesanti, ecc.); l'obiettivo può essere variamente inteso come:

- stabilizzazione pre-discarica, intesa come "trattamento" in coerenza con la Direttiva 99/31 CE sulle discariche e con l'art. 5 comma 6 del D.lgs. 22/97
- produzione di materiali stabilizzati (spesso definite come "Frazioni Organiche Stabilizzate" o "compost da rifiuti" o "compost grigio") per applicazioni controllate in attività paesistico-ambientali
- bioessiccazione, ossia asportazione relativamente veloce (nell'arco di 15-20 giorni) di gran parte dell'umidità originariamente presente, in modo da aumentare il potere calorifico della massa in

previsione di utilizzi energetici; l'obiettivo viene perseguito mediante lo sfruttamento delle capacità di asportazione di umidità da parte delle arie di processo insufflate nella massa, e si avvale comunque del concorso dei processi di degradazione parziale della sostanza organica, grazie all'aumento delle capacità evaporative del sistema per il calore biogeno generato appunto da tali processi di degradazione

c) Digestione anaerobica in cui la fase di degradazione intensiva viene gestita in ambiente anossico allo scopo di conservare l'energia biochimica della sostanza organica sotto forma di biogas; la digestione anaerobica può avvenire a carico di matrici organiche di elevata qualità selezionate alla fonte (e dunque essere inserita in una filiera di valorizzazione agronomica) o di materiali di qualità inferiore (da selezione meccanica o con contaminazioni relativamente elevate in metalli pesanti); in quest'ultimo caso il digestato (ossia il materiale palabile residuo dalla fase di digestione) può essere poi indirizzato alla stabilizzazione pre-discarica, alla bioessiccazione od alla produzione di materiali per applicazioni controllate paesistico-ambientali. Per il pieno conseguimento di tali obiettivi la digestione anaerobica richiede generalmente l'integrazione con una fase di finissaggio aerobico (ossia una sezione di post-compostaggio del digestato, che altrimenti va gestito come un fango ai sensi e per gli effetti di quanto previsto dal D.lgs. 99/92 sulla applicazione dei fanghi in agricoltura) [15]. Alla digestione anaerobica ed alle condizioni per la sua integrazione nel sistema dei trattamenti biologici dedicheremo una apposita sezione, mettendone in risalto le specificità rispetto al trattamento aerobico.

3.2.5 – Le tecnologie per la bioconversione aerobica

3.2.5.1 – Generalità sul compostaggio di qualità

Il compostaggio di qualità può interessare come matrici in ingresso sia i soli scarti lignocellulosici raccolti in purezza, sia gli scarti organici da raccolta differenziata secco-umido (scarti alimentari da utenze domestiche, commerciali, di servizio) in miscela con gli scarti lignocellulosici (materiale strutturante o di "bulking") ed eventualmente anche con fanghi che abbiano adeguate caratteristiche qualitative ed altre matrici compostabili ad elevata fermentescibilità, umidità e basso grado di strutturazione (es. scarti agroindustriali, liquami zootecnici, ecc.).

A seconda della tipologia delle matrici trattate devono essere predisposti adeguati sistemi tecnologici di processo e di presidio; il *compostaggio di soli scarti lignocellulosici*, quali le risulti da manutenzione del verde, può avvalersi delle condizioni favorevoli di aerazione naturale per processi diffusivi e convettivi nella massa, favoriti dalla buona porosità della stessa, mentre il basso potenziale odorigeno di tali materiali facilita la prevenzione di fenomeni odorosi mediante alcuni accorgimenti gestionali relativamente semplici.

Invece, la fermentescibilità tipica di scarti quali le *matrici alimentari* richiede di considerare la disposizione di adeguati sistemi di governo del processo mediante l'adduzione di flussi d'aria alla massa (per drenare il calore in eccesso ed apportare ossigeno) e generalmente – a meno di localizzazioni favorevoli e basse capacità operative - l'allestimento di tecnologie di presidio ambientale per il controllo e l'abbattimento degli odori.

Come già sottolineato, l'obiettivo ultimo del compostaggio di qualità è la produzione di materiali stabilizzati ed igienizzati, con basso contenuto di sostanze potenzialmente inquinanti, manipolabili, commerciabili ed utilizzabili in agricoltura in coerenza con il disposto della L.748/84 modd. intt. Il tutto garantendo al contempo la minimizzazione dei disturbi ambientali indotti, con particolare riferimento all'abbattimento delle potenziali molestie olfattive [15].

4.2.1 3.2.5.2 – I FATTORI DI SCELTA DELLE TECNOLOGIE E LA COERENZA OPERATIVA DEGLI IMPIANTI

La stabilizzazione biologica delle biomasse di scarto è un processo naturale che può essere coadiuvato da una molteplicità di opzioni tecnologiche (fattori di scelta); il settore del compostaggio e dei trattamenti biologici in generale è ampiamente sviluppato, a livello nazionale e mondiale, ed ha generato una molteplicità di approcci in relazione alle differenti situazioni territoriali, alle diverse condizioni gestionali, alle diverse biomasse trattate all'attenzione prestata al contenimento degli impatti ambientali verso l'intorno territoriale (con particolare riferimento alle molestie olfattive) ecc..

Molte delle aziende fornitrici propongono sistemi operativi completi, ossia comprensivi sia delle sezioni ed attrezzature per la bioconversione *sensu strictu*, che dei sistemi ed attrezzature per il pretrattamento (es. per il condizionamento della biomassa, o la sua selezione preliminare) od il postrattamento (generalmente, per l'allontanamento dei corpi estranei mediante raffinazione dimensionale ed a volte densimetrica). In altri casi, gli impianti vengono realizzati per composizione di diversi sistemi operativi ed attrezzature, ad es. adottando una certa tecnologia di processo e inserendo nello schema operativo un certo pretrattamento per rendere la tipologia di materiale da compostare massimamente adatto alla bioconversione con quella tecnologia.

Nella molteplicità degli approcci possibili, è importante comunque che le scelte progettuali e gestionali tengano conto delle condizioni poste dal quadro operativo al contorno (localizzazione, capacità operative, tipologia di materiali trattati, ecc.) al fine di massimizzare l'efficacia di processo e minimizzare i disturbi ambientali.

Va dunque ricercata la coerenza tra:

- a) Tipologia delle matrici da compostare (caratteristiche della miscela di partenza);
- b) Situazione territoriale (che influisce ad es. sul grado necessario di attenzione al contenimento degli impatti olfattivi);
- c) Sistema di processo (connotati tecnologici del progetto);
- d) Criteri gestionali (strategie di processo) [15].

3.2.6 – Fattori che influenzano il processo e controllo delle reazioni

Ricordiamo che il processo di compostaggio è un processo

- c. *aerobico* (necessità di ossigeno per la mineralizzazione delle componenti a maggiore fermentescibilità, con conseguente stabilizzazione della biomassa), ed
- *esotermico* (viene prodotto calore che va in certa misura allontanato dal sistema, onde evitare il surriscaldamento della biomassa in eccesso rispetto ai valori ottimali di *range* delle temperature).

Il processo di compostaggio può essere descritto e suddiviso in due fasi:

- Fase attiva (anche definita di “Biossidazione accelerata” o “ACT - active composting time”), in cui sono più intensi e rapidi i processi degradativi a carico delle componenti organiche maggiormente fermentescibili; in questa fase, che si svolge tipicamente in condizioni termofile, si raggiungono elevate temperature, si palesa la necessità di drenaggio dell'eccesso di calore dal sistema e si ha una elevata richiesta di ossigeno necessario alle reazioni biochimiche;

- d. Fase di maturazione (o fase di curing) in cui si completano i fenomeni degradativi a carico delle molecole meno reattive ed in cui intervengono reazioni di trasformazione e polimerizzazione a carico delle stesse (con particolare riferimento alla lignina) che portano alla “sintesi” delle sostanze humiche. Sia le esigenze di drenaggio di calore che quelle di adduzione di ossigeno al sistema sono minori rispetto alla fase attiva [15].

Una serie di fattori fisico-chimici ed edafici (cioè attinenti alle specifiche caratteristiche del substrato) condiziona l'andamento delle reazioni biologiche che realizzano il compostaggio. Dal grado più o meno spinto con il quale vengono governati questi fattori dipende la corretta evoluzione verso la definitiva stabilizzazione del substrato sottoposto a trattamento, sia in termini di durata del processo che di qualità del prodotto finale [15].

I fattori che vanno presi in considerazione per una rigorosa gestione del processo sono:

- (1) la concentrazione di ossigeno e l'aerazione;
- (2) la temperatura;
- (3) l'umidità;
- (4) le proprietà fisico-meccaniche del substrato (porosità, struttura, tessitura e dimensione delle particelle o pezzatura della matrice in trasformazione);
- (5) la concentrazione ed il rapporto dei nutrienti nella biomassa substrato (es. rapporto C:N);
- (6) il pH, anche se in misura più modesta.

3.2.6.1 – La concentrazione di ossigeno e l'aerazione

Il compostaggio consuma notevoli quantità di ossigeno. Come già accennato, durante i primi giorni del processo, le componenti più facilmente degradabili della biomassa substrato sono rapidamente metabolizzate. Il bisogno di ossigeno e, di conseguenza, la produzione di calore sono perciò decisamente maggiori nei primi stadi della biostabilizzazione, mentre decrescono con l'evolversi del processo. Nel caso in cui l'apporto di ossigeno sia limitato, il compostaggio rallenta. Anche se una concentrazione minima di ossigeno del 5% nell'atmosfera circolante tra le particelle della biomassa substrato può consentire il compostaggio, per la gestione ottimale del processo, dovrebbero essere garantite, nella matrice, concentrazioni di O₂ non inferiori al 10%.

Senza una sufficiente ossigenazione, la biomassa substrato diviene anossica e la microflora microbica anaerobica prende il sopravvento, portando all'accumulo di composti ridotti (es. acidi grassi volatili, idrogeno solforato, mercaptani, ecc.), caratterizzati da odore decisamente aggressivo e da elevata fitotossicità. Sebbene alcuni dei suddetti composti intermedi, come gli acidi organici, si formino anche in condizioni aerobiche, questi però sono rapidamente

degradati quando l'ossigeno è disponibile. Il mantenimento di un ambiente ossidativo all'interno della matrice organica in corso di stabilizzazione è quindi importante anche per impedire il formarsi di emissioni maleodoranti associate, appunto, con le reazioni di decomposizione anaerobica.

L'aerazione del materiale in compostaggio, per garantire l'apporto di ossigeno necessario al processo, rende inoltre possibili la dissipazione del calore, l'eliminazione del vapor d'acqua e l'allontanamento di altri gas intrappolati nell'atmosfera interna del substrato. In effetti, il tasso di aerazione richiesto per la rimozione del calore può essere anche dieci volte maggiore di quello necessario per l'apporto di ossigeno. Di conseguenza, è la temperatura che normalmente determina l'estensione e la frequenza degli interventi di aerazione [3].

3.2.6.2 – La temperatura

Di solito, nel caso di matrici putrescibili, la fase di compostaggio attivo si svolge a temperature comprese tra 45 e 70°C. In speciali applicazioni del compostaggio, non finalizzate alla produzione di ammendante organico, bensì alla detossificazione di rifiuti organici tossici di origine industriale (es. melme di raffineria), il processo si svolge invece, data la natura del substrato, tutto nell'ambito della mesofilia (10-45 °C) (*compostaggio mesofilo o freddo*).

Le temperature termofile sono importanti per la distruzione degli eventuali organismi patogeni associati alla biomassa substrato di partenza. Il limite largamente fissato per la disattivazione dei patogeni umani è 55°C. Questa temperatura è in grado di abbattere anche la maggior parte degli organismi fitopatogeni, mentre, per i semi delle erbe infestanti, sono necessarie temperature non inferiori a 60°C.

Si è già detto che la decomposizione microbica durante il compostaggio rilascia una grande quantità di energia sotto forma di calore. Le proprietà auto-coibenti dei materiali avviati al compostaggio favoriscono l'accumulo di calore, il quale, a sua volta, provoca l'innalzamento della temperatura. Allo stesso tempo, la biomassa in trasformazione perde continuamente calore grazie alla evaporazione dell'acqua ed ai movimenti d'aria che rimuovono il vapore acqueo ed i gas caldi (es. CO₂) dal substrato. Tutti i sistemi di aerazione accelerano la perdita del calore e, quindi, sono usati per mantenere la temperatura nell'intervallo compatibile con l'attività metabolica dei microrganismi. È importante ribadire che, nei casi di scarsa dissipazione dell'eccesso di calore generato dalle reazioni ossidative esotermiche, la temperatura può raggiungere e oltrepassare i 70°C. A questo punto la quasi totalità dei microrganismi soccombe o diventa dormiente ed il processo si arresta, per riprendere solo quando la popolazione microbica avrà invaso di nuovo il substrato. Ad evitare questa situazione, giova un puntuale monitoraggio della temperatura e l'attivazione, quando questa si avvicina ai 60°C, di sistemi, come il rivoltamento o la ventilazione forzata, che accelerino la rimozione del calore. Nel caso in cui si verifichi una pressoché totale autosterilizzazione della matrice in compostaggio, il rapido recupero del processo può ottenersi miscelando al substrato materiale microbiologicamente attivo dello stesso tipo, proveniente da altri cumuli o reattori [3].

3.2.6.3 – L'umidità

L'umidità è necessaria affinché i processi metabolici microbici possano attuarsi. La fase acquosa è il mezzo nel quale avvengono le reazioni chimiche, la diffusione ed il trasporto dei nutrienti, i movimenti e la migrazione dei microrganismi. In teoria, l'attività biologica trova le condizioni ottimali in un ambiente saturo. Di contro, essa cessa completamente al di sotto del 15% di umidità. In pratica, tuttavia, i materiali avviati al compostaggio dovrebbero avere un contenuto di umidità compreso in un intervallo tra il 55% ed il 65%. Numerose esperienze hanno dimostrato che, approssimandosi l'umidità della matrice organica al 40%, il processo di compostaggio comincia ad essere inibito. Al di sotto del 30-35%, l'attività microbica procede a stento ovvero molto lentamente. In condizioni di umidità > 65%, invece, l'acqua espelle l'aria dalla maggior parte degli spazi interstiziali tra le particelle della matrice organica. Ciò ostacola la diffusione dell'ossigeno e può favorire l'insorgenza di condizioni microaerofile o, addirittura, anossiche.

Poiché l'umidità del substrato diminuisce col procedere del compostaggio, il contenuto in acqua del materiale di partenza dovrebbe essere ben più alto del 55%. Matrici organiche troppo secche per essere avviate direttamente al compostaggio dovranno essere bagnate con acqua o potranno essere mescolate con substrati più umidi, in modo da raggiungere, nelle miscele di partenza, contenuti di acqua compresi tra il 60 ed il 63%. Materiali molto porosi possono essere avviati al compostaggio anche in eccesso di umidità, contrariamente ai substrati con struttura compatta e particelle di piccole dimensioni.

Per tutto il corso del compostaggio, compresa la fase di finissaggio, l'umidità deve mantenersi al di sopra dei limiti compatibili con l'evoluzione delle reazioni biologiche. L'eccessiva disidratazione del substrato nel corso del processo può portare, erroneamente, ad interpretare il declino dell'attività microbica come segno di avvenuta stabilizzazione. Il materiale così ottenuto sarà invece stabilizzato solo dal punto di vista fisico (disidratato). Se nuovamente umidificato, questo, in realtà, riprenderà ad evolversi biologicamente, con grave danno per le colture cui, eventualmente, sia stato somministrato.

3.2.6.4 – *La concentrazione ed il rapporto dei nutrienti*

Carbonio (C), azoto (N), fosforo (P) e potassio (K) sono gli elementi nutritivi principali richiesti dai microrganismi coinvolti nel processo di compostaggio. Azoto, fosforo e potassio sono inoltre i principali nutrienti delle piante e, per questo, la loro concentrazione finisce per influenzare anche il valore agronomico del compost. La maggior parte delle matrici organiche destinabili al compostaggio, inclusi i residui delle colture e gli scarti verdi dei mercati ortofrutticoli, contiene ampiamente i principali nutrienti. È però soprattutto la quantità di carbonio e di azoto della biomassa substrato che ne può influenzare la stabilizzazione mediante il compostaggio. In generale, i microrganismi utilizzano, per le reazioni energetiche e la crescita, una quantità di carbonio circa venti volte superiore a quella di azoto. Ne consegue che è importante la disponibilità di C ed N in appropriate proporzioni. La quantità di carbonio riferita a quella di azoto si indica comunemente come rapporto C/N. Le matrici organiche da avviare al compostaggio dovrebbero avere un rapporto C/N compreso tra 20:1 e 30:1 per garantire un andamento ottimale del processo. In taluni casi, tuttavia, risultati accettabili possono ottenersi con materiali di partenza aventi rapporto C/N fino a 40:1. Con rapporti C/N inferiori a 20:1, il carbonio disponibile è completamente utilizzato senza che, di contro, sia stato stabilizzato tutto

l'azoto presente. L'eccesso di azoto può allora essere perduto in atmosfera sotto forma di ammoniaca, causando fastidiose emissioni maleodoranti, o di ossido nitroso. D'altra parte, substrati di partenza con rapporto C/N superiore a 40:1 richiedono tempi di compostaggio lunghi, dovuti alla più lenta crescita microbica in presenza di matrice carboniosa in eccesso.

Sebbene il rapporto C/N rappresenti un'utile guida per la preparazione delle miscele di residui organici da avviare al compostaggio, anche il grado di suscettibilità dei composti carboniosi all'attacco microbico deve essere tenuto in debito conto. Così, ad esempio, la paglia, a prevalente composizione cellulosa, si degrada e rende disponibile il carbonio per i microrganismi più facilmente dei sarmenti di potatura, nei quali, invece, la cellulosa è diffusamente incrostata da lignina e legata ad altri composti organici (es. resine, tannini, ecc.), recalcitranti alla degradazione biologica. Se il carbonio del substrato è in forma scarsamente degradabile, il processo di compostaggio risulta necessariamente rallentato. Poiché, inoltre, la decomposizione procede centripetamente dalla superficie delle particelle del substrato, riducendo la dimensione delle stesse (aumentando così l'area superficiale), il tasso di degradazione può eventualmente essere incrementato. Nel caso di matrici carboniose scarsamente degradabili, il rapporto C/N di partenza potrà essere aggiustato su valori più alti di quelli ottimali, tenendo comunque conto dell'inevitabile allungamento dei tempi necessari all'esaurimento del compostaggio [3].

3.2.6.5 – *Le proprietà fisico-meccaniche del substrato (porosità, struttura, tessitura e dimensione delle particelle)*

La porosità, la struttura e la tessitura sono correlate con le proprietà fisiche dei materiali quali la pezzatura, la forma e la resistenza meccanica, e condizionano il processo di compostaggio attraverso l'influenza esercitata sull'aerazione. Queste proprietà possono essere corrette per mezzo di operazioni di triturazione e sminuzzamento dei substrati di partenza o mediante la miscelazione di questi con matrici definite *agenti di supporto (bulking agents)*.

La porosità è una misura degli spazi vuoti nella biomassa in compostaggio e determina la resistenza alla circolazione dell'aria. Essa dipende dalla dimensione delle particelle, dalla distribuzione granulometrica dei materiali e dalla continuità degli interstizi tra le particelle. Ovviamente, particelle più grandi e più uniformi incrementano la porosità.

D'altra parte, la struttura indica la rigidità delle particelle, vale a dire la resistenza delle stesse a collassare e compattarsi e, pertanto, un buon grado di struttura previene la perdita di porosità del substrato umido, sistemato in quantità critica (in cumulo o in reattore) per il processo.

La tessitura è la caratteristica che descrive l'area superficiale del substrato disponibile per l'attività microbica aerobica. Come già accennato, nel corso del compostaggio, le reazioni di degradazione avvengono prevalentemente alla superficie delle particelle della matrice in trasformazione.

Ciò perché l'ossigeno diffonde facilmente attraverso gli spazi vuoti delimitati dalle particelle, ma molto più lentamente attraverso la fase liquida o i materiali solidi. Così, i microrganismi aerobi si concentrano nel sottile strato acquoso che contorna le particelle del substrato, utilizzando l'ossigeno all'interfaccia tra la fase liquida e la fase gassosa degli interstizi. Poiché l'estensione dell'area superficiale aumenta con la riduzione della pezzatura, il tasso di

decomposizione aerobica si innalza in una matrice organica quanto più piccole sono le dimensioni delle particelle. Particelle troppo piccole però rischiano di compromettere la porosità ed è quindi necessario trovare una situazione di compromesso. Risultati soddisfacenti si ottengono normalmente quando il diametro medio delle particelle della matrice sottoposta a compostaggio oscilla tra 0,5 e 5 cm.

Per la maggior parte dei substrati e dei sistemi di compostaggio, possono aversi buoni livelli di porosità e struttura in condizioni di umidità della matrice non superiore al 65%. Tuttavia alcune situazioni richiedono una particolare attenzione. Ad esempio, metodi di compostaggio che non prevedano il rivoltamento della biomassa in trasformazione richiedono maggior struttura per resistere ai fenomeni di compattamento. In questi casi, sono maggiormente indicate particelle di più grandi dimensioni. Allo stesso modo, matrici che presentano problemi di odori dovrebbero essere mescolate con materiali di supporto rigidi in modo da ottenere miscele di partenza con elevata porosità che garantisca un continuo ricambio d'aria negli interstizi, evitando così la formazione di sacche di anaerobiosi nelle quali si ha sviluppo di prodotti volatili maleodoranti [3].

3.2.6.6 – Il pH

Il compostaggio è relativamente poco sensibile al pH dei substrati di partenza; ciò in ragione dell'ampio spettro di microrganismi associati ai substrati stessi e coinvolti nelle reazioni di processo. I valori ottimali del pH cadono nell'intervallo tra 6,5 e 8, tuttavia la naturale capacità tampone del processo rende possibile l'impiego di substrati con pH compresi in un ben più ampio spettro. Il compostaggio, in effetti, può innescarsi anche in matrici tendenzialmente acide, con pH fino a 5,5, ovvero alcaline, con pH fino a 9.

Il pH comincia ad essere un parametro importante nei substrati che presentano un elevato contenuto di azoto (*es.* deiezioni zootecniche). Valori di pH > 8,5 facilitano, in questi casi, la conversione dei composti azotati in ammoniaca ad opera dei microrganismi ammonizzanti, con conseguenti sensibili perdite di azoto attraverso la volatilizzazione di NH_3 . Quest'ultima contribuisce all'impatto olfattivo sgradevole delle emissioni gassose e determina, inoltre, nella matrice, un ulteriore aumento dell'alcalinità. In queste circostanze, si rende necessaria la miscelazione con matrici acidificanti come i residui vegetali freschi.

Nel materiale in corso di compostaggio i valori del pH cambiano col progredire del processo. Così, il rilascio di acidi organici può temporaneamente abbassare il pH nei primi stadi della biostabilizzazione. Durante la fase termofila, con l'intensificarsi del rilascio di ammonio (NH_4OH) nel mezzo ad opera della microflora ammonizzante, il pH subisce un sensibile aumento. Il pH torna nuovamente a scendere durante la fase di finissaggio, anche grazie all'attività dei batteri nitrificanti che trasformano, in sequenza, l'ammonio in acido nitroso e nitrico [3].

Riassumendo, l'estensione del tempo necessario per trasformare in compost i substrati avviati alla biostabilizzazione aerobica dipende da molti fattori quali le caratteristiche della matrice organica di partenza, la temperatura, l'umidità e il tipo di aerazione. Un adeguato contenuto di umidità (60-65%), un corretto rapporto C/N (~ 25) ed una efficace aerazione della massa consentono di realizzare il compostaggio in tempi decisamente contenuti (poche settimane).

Le condizioni che rallentano il processo di stabilizzazione sono invece, come già accennato precedentemente, la scarsa umidità del substrato, rapporti C/N della biomassa di partenza eccessivamente alti (> 40), basse temperature, una insufficiente aerazione, la pezzatura troppo grossolana delle particelle della matrice organica e la presenza significativa, in quest'ultima, di materiali refrattari all'attacco microbico.

L'evoluzione della sostanza organica durante il compostaggio procede sia quantitativamente, con una evidente riduzione volumetrica e ponderale, che qualitativamente, con una modificazione anche consistente delle caratteristiche chimiche della sostanza organica contenuta nel compost rispetto a quella originaria delle biomasse ad inizio trattamento. Dal punto di vista qualitativo la sostanza organica, una volta terminato il processo di compostaggio, si presenta [15]:

1. *Stabile*, cioè con processi degradativi di natura biologica alquanto rallentati; la misura della stabilità di una biomassa si può concretizzare attraverso la determinazione analitica di
 - ✓ contenuto residuo in Sostanza Organica (od in Solidi Volatili)
 - ✓ indici di respirazione statico o dinamico (legati alla attività metabolica residua)
 - ✓ concentrazione di ammoniaca (legata alla persistenza di attività di degradazione e proteolisi in misura superiore a quelle di nitrificazione dell'ammoniaca);
2. *Matura*, cioè non presenta fenomeni di fitotossicità, misurabili con l'omonimo test;
3. *Umificata*, cioè dotata opportunamente di molecole umiche (humus) originatesi da reazioni di umificazione a carico delle componenti della sostanza organica più recalcitranti alla mineralizzazione.

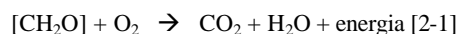
3.2.7 – Aspetti metabolici delle reazioni microbiche a carico dei substrati sottoposti a compostaggio

3.2.7.1 – Le possibili vie di trasformazione biochimica dei composti organici

Nel corso del compostaggio, i microrganismi degradano le diverse sostanze che compongono la matrice organica di partenza, al fine di ottenere energia per le reazioni cataboliche e materiale per le sintesi cellulari. Di pari passo, nel corso del processo, avvengono anche importanti biotrasformazioni, attraverso le quali alcuni composti intermedi derivanti dalla degradazione di materiali a struttura polimerica (es. cellulosa e lignina) sono utilizzati per la sintesi di nuove sostanze complesse, ma profondamente diverse da quelle iniziali (es. acidi humici).

Affinché i microrganismi possano sintetizzare nuovo materiale cellulare, deve rendersi disponibile sufficiente energia per i processi biosintetici. Le due possibili vie metaboliche per la produzione di energia a disposizione dei microrganismi eterotrofi sono la *respirazione* e la *fermentazione*.

La respirazione può essere *aerobica* o *anaerobica*. Nella respirazione aerobica, i microrganismi usano ossigeno molecolare (O₂) per liberare la maggior parte dell'energia dal substrato carbonioso, con formazione di anidride carbonica (CO₂) ed acqua (*reazione 2-1*).



Questa conversione non avviene in un singolo stadio, bensì attraverso una serie di reazioni che servono non solo a liberare significative quantità di energia, ma anche per formare un vasto numero di prodotti organici intermedi che fungono da punto di partenza per numerose reazioni sintetiche.

Nell'ambito del compostaggio, la respirazione aerobica è più funzionale al processo, rispetto alla respirazione anaerobica ed alla fermentazione, in quanto risulta più efficiente, generando una maggiore quantità di energia. La respirazione inoltre può procedere a temperature più elevate e non produce quantità rilevanti di composti odoriferi indesiderati.

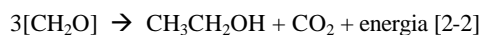
Le specie microbiche aerobiche sono, per altro, in grado di utilizzare una più ampia varietà di composti organici come fonte di energia, così da operare una più spinta degradazione e stabilizzazione dei substrati sottoposti a compostaggio.

D'altra parte, nella respirazione anaerobica, i microrganismi, per produrre energia, usano accettori finali di elettroni diversi dall' O_2 , quali nitrati (NO_3^-), solfati (SO_4^{2-}), carbonati (CO_3^{2-}) ed, in taluni casi, i composti ossidati di alcuni metalli (es. Mn^{4+} , Fe^{3+}) ovvero composti organici (es. fumarato, glicina).

L'uso, da parte dei microrganismi, di taluni dei suddetti accettori di elettroni alternativi ha come conseguenza la produzione di sostanze odorifere, quali idrogeno solforato (H_2S), acidi grassi ed ammoniaca, causa di potenziali impatti olfattivi negativi.

La fermentazione, dal canto suo, rappresenta la via più semplice per la produzione di energia, non richiede ossigeno ma è scarsamente efficiente dal punto di vista energetico.

La maggior parte del carbonio organico che fluisce attraverso le reazioni fermentative è infatti convertito in prodotti finali che ancora contengono una notevole quantità di energia (es. alcoli, acidi organici) (reazione 2-2).



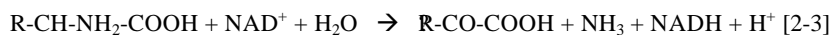
Operativamente, non è del tutto possibile evitare reazioni fermentative durante il processo di compostaggio.

Tuttavia, in una efficiente gestione del processo, le reazioni fermentative dovranno essere contrastate quanto più possibile in modo da ridurre i rischi di maleodoranze e l'accumulo, nel prodotto finale, di metaboliti ridotti, tossici per le piante [3].

3.2.7.2 – Le trasformazioni a carico dei composti azotati

Una considerazione del tutto particolare deve essere fatta per le reazioni metaboliche che, nelle condizioni tipiche del compostaggio, avvengono a carico delle frazioni organiche contenenti azoto.

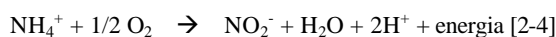
Alcuni microrganismi sono capaci di idrolizzare sostanze azotate complesse come le proteine, ottenendo così composti più semplici quali peptoni, peptidi ed aminoacidi che possono essere più facilmente metabolizzati, da un maggior numero di specie microbiche. L'incorporazione dell'azoto in nuovo materiale cellulare avviene soltanto se è disponibile una sufficiente quantità di carbonio. In condizioni di scarsa disponibilità di substrato carbonioso, cioè in presenza di matrici organiche con rapporto C/N eccessivamente basso (< 15), la mineralizzazione dei composti organici contenenti azoto (*ammonificazione*) porta invece al rilascio finale di ammoniaca (NH_3), a seguito di deaminazione ossidativa degli aminoacidi (reazione 2-3).



L'ammoniaca prodotta può convertirsi in ioni ammonio (NH_4^+) a seconda del pH presente all'interno del substrato in trasformazione. Condizioni acide ($\text{pH} < 7$) promuovono la formazione di NH_4^+ , mentre valori elevati del pH (> 9) favoriscono la presenza di ammoniaca.

Anche temperature elevate contribuiscono alla formazione di NH_3 , la quale, peraltro, presenta una estrema volatilità. Poiché la fase termofila del compostaggio è caratterizzata da innalzamento della temperatura e da valori di pH nell'ambito dell'alcalinità, essa rappresenta uno stadio critico sia per l'eventuale perdita di azoto attraverso la volatilizzazione dell'ammoniaca, sia per il rilascio di emissioni problematiche dal punto di vista olfattivo.

Un'altra trasformazione chimica che gioca un ruolo chiave nell'ambito del compostaggio è la *nitrificazione autotrofa*, processo attraverso il quale l'ammoniaca o gli ioni ammonio sono ossidati fino a nitrato. La nitrificazione è una reazione in due stadi. Nel primo di questi, l'azoto ammoniacale (N-NH_4^+) viene trasformato in nitrito (NO_2^-) grazie all'azione di un gruppo molto speciale di batteri chemolitotrofi, i batteri nitrosanti (es. *Nitrosomonas*), che si procurano energia attraverso la *reazione* [2-4]. Il nitrito così prodotto viene quindi rapidamente convertito in nitrato (NO_3^-), a mezzo della *reazione* [2-5], per intervento di un altro gruppo di microrganismi autotrofi, i batteri nitrificanti (es. *Nitrobacter*).

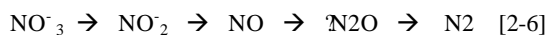


Esistono inoltre alcuni funghi e batteri eterotrofi che sono in grado di catalizzare la nitrificazione partendo direttamente dall'azoto ridotto dei composti organici, senza il passaggio intermedio attraverso l'ammonio. Si tratta di un meccanismo di nitrificazione molto simile a quello riscontrato nei suoli forestali, caratterizzati da pH acido. È, tuttavia, ancora controverso il reale contributo di questa *nitrificazione eterotrofa* nel bilancio complessivo dell'azoto durante il compostaggio.

Le reazioni di nitrificazione si manifestano nei substrati sottoposti alla biostabilizzazione aerobica a partire dall'esaurimento della fase termofila; quando la sostanza organica, prontamente disponibile, risulta pressoché esaurita, la temperatura comincia infatti a scendere sensibilmente e, con essa, anche i valori del pH e si instaurano, pertanto, le condizioni compatibili con l'attività dei batteri nitrificanti (nitrosanti + nitrificanti). È, perciò, possibile affermare che la nitrificazione è una reazione tipicamente associata alla fase finale del processo di compostaggio, già definita come finissaggio mesofilo. Poiché il nitrito è tossico nei confronti delle piante, un adeguato periodo di post-maturazione del compost ottenuto serve anche a prevenire eventuali effetti negativi dovuti alla presenza di NO_2 nella matrice stabilizzata.

Nelle condizioni operative compatibili con le esigenze di un corretto processo di compostaggio, il rifornimento di ossigeno al substrato organico in trasformazione dovrebbe essere senz'altro assicurato. Tuttavia, in talune condizioni particolari, quali il trattamento di matrici eccessivamente umide o di substrati scarsamente strutturati, con la tendenza, quindi, a compattarsi, possono crearsi all'interno del materiale organico in trasformazione nicchie scarsamente ossigenate, quando non, addirittura, completamente anossiche. In questi ambienti, il nitrato rimpiazza l'ossigeno

molecolare come accettore finale di elettroni nelle reazioni di respirazione microbica. Si attua così la *denitrificazione*, definita anche *riduzione dissimilativa dei nitrati (reazione [2-6])*.



Complessivamente, le maggiori perdite di azoto per denitrificazione sono, di solito, dovute alla emissione di ossido nitroso (N_2O) ed azoto molecolare (N_2). È evidente che la denitrificazione non è una reazione desiderata nel compostaggio e soltanto una appropriata aerazione della matrice in trasformazione può contrastare le perdite di nitrati dovute ai fenomeni di riduzione dissimilativa [3].

4.2.1.1.1.1

4.2.1.1.1.2 3.2.8 – Trattamenti anaerobici

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.

Il vantaggio del processo è che l'energia biochimica contenuta nella sostanza organica, anziché venire liberata sotto forma di calore da allontanare dal sistema, si conserva grazie alla parziale conversione in metano ed è utilizzabile a scopo energetico.

Affinché 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.

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^3/kgSV alimentati, per la digestione in mesofilia, ed un massimo di 0,60-0,85 m^3/kgSV alimentati, per la digestione in termofilia. In genere durante la digestione anaerobica si ottiene una riduzione di almeno il 50% dei Solidi Volatili (SV) alimentati.

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.

La digestione anaerobica può, inoltre, essere condotta, come già ricordato, o in condizione mesofila (circa 35°C) o termofila (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.

Tra le uscite dal sistema vi è anche un materiale semitrasformato palabile o pompabile rappresentato dal residuo della biomassa digerita – chiamato anche *digestato* - per il quale, allo scopo di conseguire lo *status* merceologico ed amministrativo necessario alla commercializzazione e libera applicazione in coerenza con il dettato della L. 748/84, occorre prevedere una fase di finissaggio con maturazione aerobica (*post-compostaggio*) che garantisca il completamento della fase di stabilizzazione della componente organica.

Il digestato, in uscita dalla digestione anaerobica, è infatti meno versatile del compost in quanto a possibili applicazioni in ragione del potenziale fitotossico ancora relativamente elevato (per la presenza di ammoniaca e la natura ancora relativamente fermentescibile della sostanza organica residua) e va dunque generalmente inteso e gestito come un fango ai sensi e per gli effetti del D.lgs. 99/92 sulla applicazione dei fanghi in agricoltura. Le applicazioni di elezione del digestato sono dunque in pieno campo secondo i meccanismi dello *spandimento controllato* previsti dal D.lgs. 99/92 stesso (autorizzazione al sito di impiego, analisi del suolo pre- e post-applicazione, contingentamento delle dosi applicabili, ecc.), mentre il compost può trovare spazi di applicazione anche in giardinaggio, vivaistica in vaso ed in terra, semine di prati, ecc. e può essere liberamente impiegato e commercializzato in coerenza con la L. 748/84 (sui fertilizzanti) modd. intt.

Per valutare le potenzialità e le condizioni di integrazione dei processi di digestione anaerobica nel sistema integrato dei trattamenti biologici, la digestione anaerobica va dunque intesa come sostitutiva delle prime fasi di trasformazione in un sistema di trattamento aerobico (quelle intensive), mentre permane la necessità – per una sostituzione con equivalenza di effetti - di dotare l'impianto di una sezione di maturazione finale aerobia, a carico del digestato, con tecnologie estensive [24].

3.2.9 – Trattamenti aerobici: principali tecnologie

Vengono di seguito brevemente descritte le principali tecnologie impiegate nel trattamento aerobico delle matrici organiche, suddivise per tipologie di processo.

4.2.1.1.1.2.1 Compostaggio e stabilizzazione biologica

Compostaggio e biostabilizzazione possono sfruttare generalmente le stesse tecnologie, che si differenziano pertanto solo per le matrici di partenza impiegate e per il destino finale dei prodotti. Qui vengono divisi i processi svolti in sistemi chiusi, condotti cioè in spazi confinati o in aree coperte e tamponate, e in sistemi aperti.

3.2.9.1 – Sistemi aperti

- Cumulo statico areato: il materiale viene collocato in cumulo sottoposto ad aerazione forzata in aspirazione, con invio delle aree esauste ad un biofiltro. Il materiale in questo caso deve essere miscelato con una percentuale di bulking lignocellulosico tale per cui la densità finale sia inferiore a $0,55 \text{ t m}^{-3}$. Diffuso negli USA per il compostaggio di fanghi o di biomasse agricole, il sistema del cumulo statico consente ottime performances di processo se abbinato a speciali pretrattamenti di condizionamento della biomassa.

- Cumulo rivoltato: come nel precedente sistema, il materiale viene disposto in cumuli (di grandi dimensioni: 3-4 m di altezza, da 3 ad oltre 30 m di larghezza) ma l'aerazione della massa viene garantita mediante rivoltamenti con pala meccanica a frequenza anche mensile. È un sistema indicato per matrici ad alta prevalenza di materiale lignocellulosico (residui verdi) o per biomasse già in avanzato stato di biostabilizzazione (curing dopo ACT).

3.2.9.2 – Sistemi chiusi

Qualora la biossidazione del materiale avvenga in sistemi semiaperti o chiusi (reattori), come nel caso della fase ACT del compostaggio o nella bioessiccazione/biostabilizzazione di RSU, sono principalmente utilizzate le seguenti tipologie di reattori:

- Reattori orizzontali a trincea. Questa tecnologia viene generalmente impiegata in ambienti chiusi nella fase ACT con biomasse ad elevata fermentescibilità (fanghi agroalimentari, frazione umida dei RSU). Grazie alla versatilità del sistema, esso può essere impiegato anche per matrici con bassa percentuale di bulking lignocellulosico, con miscele finali di densità inferiore a $0,7 \text{ ton m}^{-3}$. Nel caso di trincee a ciclo continuo il materiale viene caricato ad un estremo e procede lungo la trincea grazie all'azione di rivoltamento e avanzamento esercitata dalla macchina rivoltatrice, che può servire anche due trincee affiancate, scorrevole su binari posti sulle pareti. Lo scarico avviene all'estremo opposto dopo un certo numero di rivoltamenti. La lunghezza delle trincee è stabilita in base al tempo di permanenza previsto per il materiale. Vengono proposte anche trincee a ciclo continuo con traslazione laterale, qualora il materiale, in fase di rivoltamento, venga alternativamente spostato tra due trincee adiacenti. In ogni caso, in abbinamento al rivoltamento, può essere collocato in trincea un sistema di aerazione forzata mediante canalette grigliate poste sul pavimento. In alternativa alle trincee a ciclo continuo possono essere impiegate trincee a ciclo discontinuo, in cui il materiale, posto lungo l'intera lunghezza della trincea, vi rimane per un tempo prefissato in condizioni di rivoltamento e aerazione forzata, prima di essere asportato e avviato alla maturazione.

- Reattori orizzontali a bacino. Sfruttando il principio delle trincee a ciclo continuo o discontinuo, e con le medesime varianti impiantistiche, nel caso dei reattori a bacino il materiale viene altresì collocato in un'unica corsia a notevole sviluppo dimensionale (fino a $33 \text{ m} \times 3 \text{ m}$), e rivoltato mediante un apparato traslatore costituito da rivoltatrici

scorrevoli trasversalmente su carroponte. In luogo dell'apparato traslatore sul carroponte possono essere montate coclee ad asse verticale, ed il bacino può essere di forma circolare oltreché rettangolare.

- Reattori chiusi a tenuta stagna. Nei reattori di tipo statico (biocelle e biocontainers) il materiale viene sottoposto per un periodo prefissato ad una fase di fermentazione accelerata mediante areazione forzata della massa. È sempre previsto un sistema di raccolta dei percolati ed un trattamento dell'aria esausta prima dell'immissione in atmosfera.

Oltre ai reattori descritti esistono varianti quali:

- Biocontainers a sistema dinamico, in cui la massa, oltre che sottoposta ad areazione forzata, viene periodicamente rivoltata secondo un programma che assicura la totale automazione del processo.

- Biotunnel a ciclo continuo, costituiti da moduli dotati di areazione forzata, controllo dei parametri di processo e particolari sistemi per l'avanzamento del materiale da una estremità di alimentazione ad una di scarico.

- Biotunnel a ciclo discontinuo, in cui il materiale viene disposto nel tunnel, e lì permane in condizioni di areazione forzata e, a volte, di rivoltamento, prima di essere scaricato.

- Biotamburi, reattori a sviluppo orizzontale in cui il materiale viene disposto in condizioni di adduzione di aria e canalizzazione e raccolta delle arie esauste. Il rivoltamento della massa avviene ad opera della rotazione del reattore stesso. Carico e scarico possono essere in continuo o in batch. Il sistema è particolarmente indicato per la fase ACT in trattamenti intensivi di compostaggio, o come pretrattamento dinamico di omogenizzazione e pre-fermentazione accelerata, prima del passaggio ad altre tecnologie di stabilizzazione.

- Sili, reattori a sviluppo verticale con areazione forzata in cui il materiale viene collocato, in modo continuo o discontinuo. I reattori consistono in torri mono o pluristadio (con setti divisori orizzontali), con carico dall'alto e insufflazione generalmente dal basso. Il sistema è generalmente statico o semi-dinamico. Tecnologia poco diffusa, presenta un limite operativo nei frequenti compattamenti e nelle difficoltà di diffusione dell'ossigeno all'interno della massa.

4.2.1.2 3.2.9.3 – Sistemi aerati e non aerati

L'aerazione forzata della biomassa è un importante fattore di ottimizzazione delle condizioni di processo nei sistemi intesi al trattamento di materiali a bassa consistenza (scarsa conducibilità ai processi di diffusione spontanea) e elevata fermentescibilità. Non mancano tra l'altro casi, per quanto sporadici, di applicazione dell'aerazione forzata anche al compostaggio di soli scarti verdi (che generalmente si basano invece sulla sola esaltazione dei processi diffusivi e convettivi per l'ingresso spontaneo di aria all'interno della biomassa); in questo caso ci si avvale soprattutto della possibilità di governo termogravimetrico del processo che l'aerazione forzata consente.

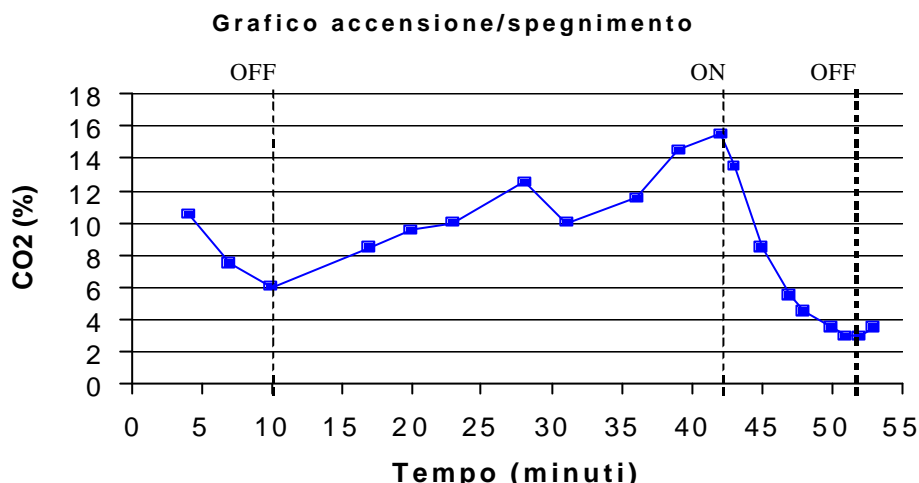
La capacità di intervenire, tramite adeguati sistemi di aerazione, anche sul controllo delle temperature di processo e sull'evoluzione dello stato igrometrico della biomassa è in effetti una caratteristica importante – anche se spesso negletta – dei sistemi di processo che applicano l'aerazione forzata della biomassa. Il processo di bioconversione

ha effettivamente dei *range* di temperatura e di umidità ottimali, ancorché differenti nelle diverse fasi del processo. L'aerazione forzata consente di intervenire, oltre che sulla ossigenazione della biomassa, anche su queste caratteristiche.

E' importante definire e descrivere brevemente natura e ruolo delle grandezze fondamentali che regolano la ottimizzazione della aerazione forzata, assieme ad alcuni dei difetti operativi riscontrati più di frequente a livello progettuale o gestionale:

- La portata d'aria specifica (p.a.s.) generalmente espressa in *Normal metri cubi per ora e per unità di peso della biomassa* (Nmc/h.ton). Va sottolineato che generalmente le necessità di aerazione relative al drenaggio del calore in eccesso sono superiori, anche di un intero ordine dimensionale, rispetto a quelle relative alla fornitura dell'ossigeno stechiometricamente necessario; nel caso di biomasse di origine alimentare, si tratta rispettivamente di *decine* ed *unità* di Nmc/h.ton. Ciò equivale a dire che *i sistemi di aerazione vanno dimensionati ed utilizzati essenzialmente sulle necessità di controllo termometrico*, mentre come effetto derivato si ottiene anche l'ossigenazione della biomassa. Quello che spesso viene sottovalutato è che contestualmente tale dimensionamento comporta una forte evaporazione dalla biomassa – con l'eccezione di sistemi confinati dal punto di vista igrometrico quali quelli a container con ricircolo delle arie – con intensi ed estesi processi di disseccamento. Spesso l'interruzione precoce dei processi di biostabilizzazione per l'abbassamento dell'umidità al di sotto dei contenuti minimi coerenti con la dinamica del processo nelle diverse fasi porta a collocare in maturazione esterna matrici con un potenziale metabolico elevato, che in caso di reinumidimento (anche per le semplici precipitazioni meteoriche) danno luogo ad una massiccia riattivazione di processi metabolici, in una fase non presidiata né dotata di strumenti per la conduzione di processi intensivi di stabilizzazione. Buona norma è dunque la predisposizione di sistemi di reinumidimento della biomassa ed il controllo periodico delle necessità di ristoro; questo soprattutto nei sistemi "dispersivi" da un punto di vista igrometrico, quali sono anche i sistemi confinati in capannone ma in cui l'aspirazione finale delle arie cariche di umidità ed il loro invio a trattamento/dispersione determina un massiccio drenaggio di umidità al sistema [15].
- La proporzione tra tempi di accensione e spegnimento. E' una abitudine operativa diffusa negli impianti – al pari dell'aerazione in continuo – quella della ventilazione intermittente della biomassa, allo scopo di consentire durante i periodi di spegnimento l'equalizzazione di umidità e temperatura nelle diverse zone della biomassa (l'aerazione in continuo può comportare in-vece stratificazioni più o meno estese). La proporzione tra tempi di accensione e spegnimento viene guidata essenzialmente dal livello termometrico che si vuole mantenere nella biomassa; a parità di portata d'aria specifica e di "potere calorigeno" della biomassa (dipendente a sua volta dalla sua umidità e dalla sua ricchezza in sostanze facilmente aggredibili) una maggiore incidenza dei tempi di accensione porta a livelli termometrici medi inferiori; temperature di processo ottimizzate consentono la massima velocizzazione dello stesso processo e un sostanziale abbattimento della fermentescibilità della biomassa prima del suo recapito alle fasi di processo meno intensive e non presidiate (maturazione, deposito finale) [15].

- La durata assoluta dei tempi di spegnimento delle soffianti. Spesso si rilevano, in sede di gestione dell'impianto, durate eccessive dei tempi di spegnimento, con abbassamento temporaneo delle concentrazioni di O_2 al di sotto – prima - dei limiti di massima velocizzazione del processo (15-17%) e – poi – di quelli di sostenibilità del processo aerobico stesso (10-12%). Tale effetto si può produrre, per biomasse ancora “giovani” e metabolicamente attive, in un tempo relativamente breve, dell'ordine dei 20'-30'. Si esamini ad esempio il grafico della figura sottostante [15]:



Andamento del tenore in CO_2 all'interno della biomassa in un ciclo di accensione e spegnimento [15].

Il grafico è stato ottenuto per rilevamento diretto *on-site*, durante un intero ciclo di accensione e spegnimento, del tenore CO_2 prodotta dal metabolismo microbico, il cui rapporto stechiometrico con l'abbassamento del tenore in O_2 rispetto al contenuto ideale del 21%, è pari a 1,375; la rilevazione è stata condotta in una fase di stabilizzazione avanzata (dopo circa 20 giorni in trincea aerata).

Ci si rende subito conto che per biomasse ancora relativamente “giovani” ed il cui metabolismo aerobico è ancora attivo, tempi di spegnimento tendenzialmente maggiori di 30' possono comportare scostamenti dalla condizione di buona aerobiosi per buona parte del processo. Due gli effetti negativi ai fini della minimizzazione degli odori:

- ✓ un rallentamento del metabolismo aerobico e del processo di biostabilizzazione per proporzioni anche rilevanti dell'intero tempo di processo; dunque si può determinare il recapito alla sezione di maturazione di una biomassa ancora fermentescibile e non coerente con i sistemi di processo generalmente non presidiati, né insufflati, predisposti in tale fase;
- ✓ una produzione diretta di composti ridotti ed odorigeni nel caso di tempi di spegnimento particolarmente lunghi, per l'attivazione di meccanismi metabolici putrefattivi; questo determina un aumento del carico odorigeno complessivo, fino a poter mettere in crisi il sistema di presidio predisposto [15].

3.2.9.4 – Sistemi versatili

- Andane: il materiale viene disposto in piccoli cumuli (altezza massima 2,5 m), con o senza aerazione e con rivoltamenti frequenti (anche quotidiani) con apposite movimentatrici. Il sistema, condotto all'aperto o al chiuso, è indicato per la fase ACT di matrici ad alta fermentescibilità (preferibilmente al chiuso) o per la fase di curing all'aperto di materiale con bassa fermentescibilità residua (dopo ACT in sistema controllato).

3.2.9.5 – Bioessiccazione

Vengono proposti, a titolo esemplificativo, due processi “*tipo*” rappresentativi delle principali tecnologie di bioessiccazione attualmente in uso.

Processo in celle chiuse (box o biocontainers): la massa, omogeneizzata e tritata dopo una eventuale miscelazione con fanghi o soluzioni acquose, viene essiccata in contenitori chiusi per 7-10 giorni. Al termine del trattamento, mediante vagliatura viene separata la frazione combustibile a medio-alto potere calorifico.

Processo in reattori a vasche: il materiale, dopo un pretrattamento meccanico composto da una fase di triturazione grossolana, viene bioessiccato in vasche dotate di areazione forzata mediante aspirazione per un periodo di circa 15 giorni. Al termine della fase aerobica il materiale, caratterizzato da una umidità inferiore al 20%, viene vagliato, demetallizzato e tritato in maniera fine ottenendo così un prodotto finale, il CDR, dalle caratteristiche conformi agli standard previsti dalle normative vigenti

4.2.1.3 3.3 – Aspetti progettuali

3.3.1 – Ricezione e stoccaggio

Matrici a bassa putrescibilità: il conferimento della matrice organica a base lignocellulosica deve avvenire su adeguata pavimentazione e con facilità di pulizia e recupero del refluo, adottando idonei accorgimenti/modalità operative per il contenimento dei fenomeni di dispersione eolica. La ricezione e lo stoccaggio di questo tipo di rifiuto può avvenire in un'area esterna. L'area deve essere di dimensioni sufficienti a gestire la stagionalità dei conferimenti. È opportuno prevedere la possibilità di stoccare un volume pari ad almeno il 10% del flusso complessivo annuo, con una densità apparente indicativa di 0.2 t/m^3 (per materiale non tritato) e 0.4 t/m^3 (per materiale già tritato). Al fine di evitare fenomeni di anaerobiosi, il materiale stoccato dovrà comunque avere una densità apparente $< 0.65 \text{ t/m}^3$.

Matrici ad alta putrescibilità (scarti alimentari, fanghi, residui agroindustriali, frazione organica dei RU da separazione meccanica, ecc.): la ricezione e lo stoccaggio del rifiuto deve avvenire in ambiente tamponato tenuto costantemente in depressione al fine di evitare la dispersione di emissioni maleodoranti e/o polveri. L'edificio deve prevedere almeno due ricambi d'aria/ora. L'aria aspirata dagli edifici deve essere possibilmente riutilizzata per l'ossigenazione della biomassa e, comunque, prima della immissione finale in atmosfera, deve essere inviata ad idoneo

presidio ambientale (scrubber ad umido, biofiltro, ecc.). I rifiuti ricevuti giornalmente devono essere in quantità compatibile con le capacità di lavorazione dell'azienda, e comunque non devono essere stoccati per più di 48 ore prima di essere avviati al compostaggio, salvo casi eccezionali (es. fermi macchine). La capacità di stoccaggio va comunque

dimensionata considerando tempi di ritenzione superiori a due giorni. I luoghi preposti alle operazioni di cui sopra devono essere dotati di pavimentazione adeguata che faciliti la pulizia e il recupero dei reflui liquidi.

3.3.2 – *Pretrattamento*

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

3.3.3 – *Fase di biossidazione*

La fase di biossidazione si caratterizza per la degradazione spinta delle frazioni organiche putrescibili. Il processo può essere condotto con l'ausilio di sistemi di aerazione forzata e/o di metodi di rivoltamento della biomassa, finalizzati ad incrementare lo scambio d'ossigeno tra la matrice organica e l'atmosfera. Per il corretto svolgimento di tale fase, i principali parametri di processo devono essere mantenuti su valori ottimali adottando soluzioni impiantistiche idonee.

Esistono svariati sistemi tecnologici adottabili per lo svolgimento della fase di biossidazione, tuttavia è possibile eseguire una classificazione in funzione:

- del grado di confinamento della biomassa, distinguendo tra sistemi chiusi ed aperti;
- delle modalità di gestione del processo, distinguendo tra sistemi dinamici (con rivoltamento della biomassa) e statici;
- della modalità di aerazione della biomassa, che può essere naturale o forzata.

Gli edifici preposti alla fase di biossidazione devono essere mantenuti in depressione. La depressione si intende garantita con un minimo di due ricambi/ora. Per le strutture dedicate alla biossidazione, laddove si prevedano sistemi di processo dinamico e la presenza non episodica di addetti, vanno previsti quattro ricambi/ora.

3.3.4 – *Fase di trasformazione*

La fase di trasformazione consiste nel completamento dell'evoluzione della sostanza organica attraverso i processi di umificazione che conferiscono al prodotto spiccate caratteristiche ammendanti. La fase di trasformazione può avvenire all'aperto. In tale caso, comunque, devono essere adottati tutti quegli accorgimenti necessari al contenimento della dispersione eolica del materiale.

3.3.5 – *Post trattamenti*

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

Le dotazioni impiantistiche minime richieste sono:

- idonea pavimentazione per la pulizia ed il recupero degli eventuali reflui;
- sistemi di gestione atti ad evitare la dispersione eolica del materiale.

3.3.6 – *Stoccaggio finale*

Consiste nella conservazione del prodotto finito in cumuli all'aperto, sotto tettoia o in silos. Le dotazioni impiantistiche minime richieste sono:

- l'adozione di presidi ambientali costituiti da abbattitori di polveri;
- idonea pavimentazione per la pulizia ed il recupero degli eventuali reflui;
- sistemi di gestione atti ad evitare la dispersione eolica del materiale.

3.3.7 – *Mezzi operativi*

Una dotazione minima di mezzi operativi si rende necessaria per la movimentazione del materiale in ingresso ed il carico dei mezzi per l'allontanamento dei sottoprodotti. Premesso che la scelta della tipologia del mezzo è strettamente legato alla struttura dell'impianto, tipicamente si rendono necessari almeno una pala meccanica con benna autoribaltante ed un carrello dotato di forche ed eventualmente pinze, se deputato al trasporto di materiale imballato. Qualora lo stoccaggio dei prodotti avvenga in cassoni è necessario disporre di un mezzo scarrabile in grado di movimentarli. Un mezzo con benna a polipo permette di migliorare la cernita del materiale avviato al trattamento, garantendo una maggiore protezione dei macchinari, salvaguardandone il funzionamento.

3.4 – **Aspetti gestionali**

3.4.1 – *Controllo del processo*

Il corretto svolgimento dei trattamenti viene garantito monitorando con opportuna tempistica i rifiuti, al momento del conferimento e durante il trattamento, e i prodotti finali secondo quanto indicato in tab. 1 e tab. 2.

FASE DI PROCESSO	TIPO DI CONTROLLO	FREQUENZA DEL CONTROLLO
Rifiuto in ingresso	•controllo visivo della eventuale presenza di materiali non compostabili (plastiche, vetro, metalli) e dello stato di decomposizione del rifiuto	ad ogni conferimento
	•determinazione del rapporto C/N, dell'umidità e della densità del rifiuto	mensile o nel caso di manifesto cambiamento della tipologia del rifiuto
	•caratterizzazione merceologica: % di materiali estranei non compostabili (nel caso di FORSU)	semestrale
	•determinazione dei parametri previsti dalla legge (nel caso di fanghi di depurazione biologica disidratati)	trimestrale
rifiuto in via di trattamento	•misurazione della temperatura, umidità, O ₂ , CO ₂	da settimanale a mensile
	•misurazione dell'Indice respirometrico dinamico (sulla miscela delle frazioni organiche)	4 volte/anno alla fine della fase di biossida.
Prodotto in uscita	•misurazione di umidità	da bisettim. a mensile
	•determinazione dei parametri previsti dalla legge	a lotti rappresentativi della produzione

Tabella 1: principali parametri analitici da monitorare: compostaggio verde e di qualità

FASE DI PROCESSO	TIPO DI CONTROLLO	FREQUENZA DEL CONTROLLO
Rifiuto in ingresso	• controllo visivo dell'eventuale presenza di rifiuti non classificabili come urbani (ingombranti, sanitari, pericolosi, ecc.)	ad ogni conferimento
	• caratterizzazione merceologica	semestrale
	• determinazione del rapporto C/N, dell'umidità e della densità del rifiuto	mensile o nel caso di manifesto cambiamento della tipolog. del rifiuto
pretrattamenti	• controllo dell'eventuale presenza di rifiuti di dimensioni grossolane (dopo l'eventuale triturazione, prima dell'avvio alla selezione)	in continuo
Rifiuto in via di trattamento	• misurazione della temperatura, tenore di O ₂ o CO ₂ ,	quotidiano
	• misurazione dell'indice respirometrico dinamico sulla biomassa in via di stabilizzazione e/o bioessiccazione	4 volte/anno alla fine della fase di biossidad.
	• caratterizzazione dimensionale (dopo l'eventuale triturazione, prima dell'avvio alla selezione)	semestrale
Prodotto in uscita	• misurazione di umidità sul biostabilizzato e/o bioessiccato	da settiman. a mensile
	• determinazione dell'indice respirometrico dinamico	4 volte/anno sul prodotto finale
	• determinazione dei parametri previsti dalla legge (per il compost e per il CDR)	

Tabella 2: principali parametri analitici da monitorare: compostaggio da rifiuti, biostabilizzazione e bioessiccazione

3.5 – Presidi ambientali

3.5.1 – Controllo e gestione delle acque e dei percolati

Il controllo delle acque deve essere effettuato almeno con cadenza annuale per ciascuna tipologia, mediante analisi chimica che ne verifichi le caratteristiche in base allo specifico destino.

Nella conduzione di un impianto di trattamento aerobico si deve prevedere la gestione delle seguenti acque di scarico:

- acque meteoriche (acque chiare):
 - tetti,
 - strade e piazzali;
- acque di risulta dal ciclo produttivo (acque grigie):
 - processo,

- impianto lavaruote;
- acque da uso civile (acque nere).

Le acque chiare provenienti da tetti e convogliate mediante pluviali in apposita ed indipendente rete di raccolta non costituiscono uno scarico e quindi non sono soggette a D.lgs. n. 152 del 11.05.99, qualora di fatto non siano oggettivamente inquinanti.

Le acque piovane di strade e piazzali ove avvengano lavorazioni, lavaggi di materiali, attrezzature o automezzi, o vi siano depositi di materiali, materie prime, prodotti, ecc. devono essere raccolte e convogliate mediante apposita rete fognaria in vasche a tenuta dedicate al loro stoccaggio. Le acque di prima pioggia devono essere riutilizzate nel processo (compostaggio e biostabilizzazione) o inviate a depurazione; le acque di seconda pioggia devono essere scaricate nel rispetto delle norme vigenti o riutilizzate sulla biomassa.

Sono definite come acque di processo: l'acqua prodotta dalla percolazione del rifiuto, dal processo di degradazione-trasformazione della sostanza organica della biomassa, dall'inumidimento artificiale dei cumuli e, nel caso di trattamenti in ambienti non coperti, le acque di percolazione delle acque meteoriche. Tali acque dovranno essere raccolte da una rete di drenaggio afferente a bacini o vasche di stoccaggio a tenuta. Diversamente dai processi di bioessiccazione, nella gestione dei processi di compostaggio e di biostabilizzazione è generalmente prevista una totale reimmissione di tali acque nel ciclo produttivo. Le acque non reimmesse in ciclo dovranno essere inviate ad impianto di depurazione autorizzato.

Le acque di lavaggio degli automezzi possono essere conferite ad impianto di depurazione, scaricate come le acque di seconda pioggia nel rispetto delle norme vigenti, oppure possono essere riutilizzate sulla biomasse (compostaggio e biostabilizzazione); in questo ultimo caso è opportuno prevedere un trattamento di disoleazione prima dell'utilizzo.

Le acque provenienti dai servizi igienici devono essere inviate al sistema fognario e/o trattate nel rispetto della normativa vigente.

3.5.2 – Controllo del rischio biologico

Il processo aerobico di trattamento dei rifiuti organici in fase solida, correttamente condotto, svolge la funzione di procedura igienizzante dei materiali organici eventualmente contaminati da microrganismi patogeni.

L'igienizzazione si intende conseguita quando ogni porzione del materiale è stata soggetta per almeno 3 giorni ad una temperatura minima di 55°C.

Il principale fattore di rischio biologico riguarda l'eventualità che, durante alcune fasi del processo, si possano comunque liberare nell'aria alcuni microrganismi potenzialmente patogeni in quantità tali da rappresentare un pericolo per coloro che vi lavorano e, in generale, per l'ambiente circostante.

I problemi sanitari sono in prevalenza dovuti a *Aspergillus fumigatus*, endotossine e batteri enterici insorti soprattutto in condizioni di carenze igienico-ambientali e di eccessiva polverosità degli ambienti.

Per la tutela della salute degli operatori e della popolazione eventualmente residente in prossimità dell'impianto, devono essere adottate le più comuni norme di igiene del lavoro e criteri impiantistici che impediscano la diffusione ambientale di polveri.

Gli addetti al processo devono eseguire o presiedere alle operazioni di movimentazione, rivoltamento, triturazione e raffinazione in mezzi cabinati e dotati di appositi filtri.

3.5.3 – *Controllo delle emissioni gassose*

Il processo di bioconversione è accompagnato dalla produzione di sostanze odorigene (acidi grassi volatili, ammine, ammoniaca, composti organici ed inorganici ridotti dello zolfo, ecc.) in quantità ponderalmente minime ma comunque potenzialmente moleste dal punto di vista olfattivo.

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

Allo scopo di ridurre le emissioni odorigene nell'ambiente esterno, gli impianti che trattano matrici ad elevata putrescibilità, gli edifici deputati alle fasi di ricevimento e biossidazione devono essere confinati e mantenuti in depressione. Il tipo di tecnologie di aspirazione dell'aria e il numero di ricambi d'aria orari dipendono dal tipo di processo e dalla presenza di operatori nel locale, e devono in ogni caso garantire un microclima che rispetti i limiti di sicurezza e il relativo benessere prescritti dalle norme relative agli ambienti di lavoro.

Nel caso di sistemi di trattamento biologico (letti di biofiltrazione) va garantito un tempo di contatto minimo di 30'', equivalente ad un carico specifico di 120 Nm³ di aria per ora per metro cubo di biofiltro. Vanno inoltre adottati sistemi per il mantenimento/ripristino dell'umidità del biofiltro e monitorati i principali parametri di funzionamento (umidità aria in ingresso, portata d'aria, perdite di carico, ecc.).

La qualità delle emissioni dei biofiltri può essere valutata attraverso l'analisi delle componenti inorganiche ed organiche. Per quanto riguarda le prime, i marker comunemente utilizzati sono ammoniaca ed acido solfidrico; le analisi chimiche di tali composti vengono comunemente svolte seguendo metodi UNICHIM.

Per quanto riguarda i composti organici, di scarsa rilevanza sotto il profilo tossicologico, i criteri che trovano sempre più diffusione a livello internazionale sono orientati ad una loro valutazione indiretta in base ai principi dell'olfattometria. A scopo di indirizzo si rimanda allo standard europeo EN 13725 al quale vanno conformati i principi ispiratori delle diverse determinazioni in merito alle emissioni.

3.6 – **La normativa in materia di emissioni maleodoranti**

Il rilascio di emissioni maleodoranti costituisce, senz'altro, uno dei punti più critici per una stazione di compostaggio e rappresenta uno degli elementi di maggior rilevanza nelle fasi di realizzazione e gestione della stessa.

La normativa italiana, pur stabilendo alcuni principi fondamentali finalizzati alla prevenzione delle molestie olfattive (localizzazione di determinate tipologie di impianti, indicazioni inerenti all'utilizzo delle migliori tecniche disponibili), non prevede limiti alle emissioni di sostanze osmogene, né metodi e parametri di misurazione.

Per quanto riguarda la localizzazione degli impianti, alcuni criteri per la limitazione, fra le altre cose dell'impatto degli odori sulla popolazione, sono previsti dal RD 27 luglio 1934, n.1265, al Capo III, articoli 216 e 217, e successivi decreti attuativi tra cui, in particolar modo, il DM 5 settembre 1994 recante *"Elenco delle industrie insalubri di cui all'articolo 216 del Testo Unico delle leggi sanitarie"*.

In materia di qualità dell'aria, la normativa di riferimento è rappresentata, principalmente, dal DPR 24 maggio 1988, n.203 che disciplina:

- "a) tutti gli impianti che possono dar luogo ad emissione nell'atmosfera;*
- b) le caratteristiche merceologiche dei combustibili ed il loro impiego;*
- c) i valori limite ed i valori guida per gli inquinanti dell'aria nell'ambiente esterno ed i relativi metodi di campionamento, analisi e valutazione;*
- d) i limiti delle emissioni inquinanti ed i relativi metodi di campionamento, analisi e valutazione."*

Il DPR 203/88 prevede l'ottenimento di una autorizzazione da parte degli impianti responsabili di emissioni in atmosfera e attribuisce alle Regioni la competenza di formulare, tra le altre cose, i piani di rilevamento, prevenzione, conservazione e risanamento del proprio territorio e di fissare i valori limite di qualità dell'aria e delle emissioni di impianti (sulla base della migliore tecnologia disponibile) tenendo conto, ove disponibili, dei valori limite, e dei valori e linee guida fissati dallo Stato.

Successivi decreti di attuazione, tra i quali si cita in particolar modo il DM 12 luglio 1990 hanno fissato, per alcune tipologie di impianti, linee guida per il contenimento delle emissioni, per la determinazione dei valori limite, e per i metodi di campionamento, analisi e valutazione delle emissioni di alcune sostanze. Essi, tuttavia, non hanno affrontato lo specifico problema delle emissioni degli odori.

Anche il D.lgs 4 agosto 1999, n.372 di attuazione della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento pone quale condizione per l'ottenimento dell'autorizzazione da parte delle installazioni che rientrano nel campo di applicazione della norma il ricorso alle migliori tecnologie disponibili finalizzate alla prevenzione dell'inquinamento.

Alcuni riferimenti relativi alle emissioni sono individuabili tra le finalità del D.lgs 22/97, riportate all'articolo 2, in cui è previsto che i rifiuti vengano *recuperati o smaltiti senza pericolo per la salute dell'uomo e senza usare procedimenti o metodi che potrebbero recare pregiudizio all'ambiente e, in particolare:*

- a) senza determinare rischi per l'acqua, l'aria, il suolo e per la fauna e la flora;*
- b) senza causare inconvenienti da rumori o odori;*
- c) senza danneggiare il paesaggio e i siti di particolare interesse, tutelati in base alla normativa vigente[3].*

Agli articoli 27 e 28 viene stabilito che la Giunta Regionale, previo parere espresso da una Conferenza dei Servizi cui partecipano tutti i rappresentanti degli Enti locali interessati, procede all'approvazione dei progetti di nuovi

impianti e che tale approvazione sostituisce a ogni effetto pareri, autorizzazioni e concessioni di organi regionali, provinciali e comunali, ivi compresa, pertanto, l'autorizzazione alle emissioni in atmosfera ai sensi del D.P.R. 203/88.

In merito agli impianti di compostaggio, il D.M. 5 febbraio 1998 "Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del D.Lgs. 22/97 prevede, tre le condizioni per l'adozione di procedure semplificate, alcuni requisiti costruttivi atti a prevenire le molestie olfattive e in generale il contenimento delle emissioni di qualunque tipo dalle installazioni. Al punto 16 "Rifiuti comportabili", prevede, infatti, i seguenti requisiti dell'attività di recupero:

- e. la fase di stoccaggio e di biossificazione devono avvenire in ambiente confinato, ottenibile anche con coperture e paratie mobili, per il controllo delle emissioni di polveri e odori;
- f. il controllo delle emissioni di polveri e odori devono essere garantiti tramite idonee misure e sistemi di abbattimento.

Anche la bozza di decreto ministeriale in materia di impianti di trattamento biologico dei rifiuti sottoposti alla disciplina autorizzativa ai sensi degli artt. 27 e 28 del D.Lgs. 22/97, predisposta in attuazione dell'art. 18 del medesimo, ora all'esame dei Ministeri competenti, riporta, in maniera più puntuale rispetto alle precedenti norme, prescrizioni per la riduzione delle emissioni:

- g. l'obbligo di adottare adeguate misure per il contenimento degli odori e polveri;
- h. l'obbligo di confinamento e di mantenimento in depressione delle fasi maggiormente odorigene dell'impianto (edifici e/o gli ambienti deputati alla ricezione, al pretrattamento dei rifiuti putrescibili, e alla prima fase del trattamento biologico aerobico fino al conseguimento della riduzione dell'indice di respirazione a 600 mg/Kg SVh⁻¹);
- i. un adeguato dimensionamento del sistema di ventilazione in relazione al tipo di processo e alla presenza di personale addetto, con almeno 2 ricambi/ora dell'aria ambiente e riutilizzo ove possibile dell'aria aspirata dagli edifici per l'ossigenazione della biomassa;
- j. il trattamento dell'aria aspirata dagli edifici prima dell'immissione in atmosfera al fine di ridurre la concentrazione dei composti odorigeni e delle polveri.

Il diffondersi degli impianti di compostaggio e la sempre maggiore sensibilità verso il problema degli odori ha determinato l'emanazione da parte di alcune Regioni di atti normativi volti a identificare i presidi ambientali e i sistemi di trattamento dell'aria per limitare al minimo l'impatto delle emissioni. In un caso specifico, quello della Regione Lombardia, sono stati individuati anche valori limite alle emissioni di odori.

a) Le linee guida della Regione Lombardia per la costruzione e l'esercizio degli impianti di compostaggio

con la Delibera della Giunta Regionale della Lombardia del 3 agosto 1999 sono state adottate linee guida per la costruzione e l'esercizio degli impianti di compostaggio. Tali linee hanno lo scopo di fornire un supporto per il rilascio delle autorizzazioni e per l'effettuazione dei controlli degli impianti nella fase operativa e individuano le caratteristiche minime degli impianti con capacità di trattamento maggiore o uguale a 100 t/giorno, prevedendo l'obbligo di

sconfinamento, quello di aspirazione e trattamento dell'aria per fasi quali il conferimento, il pretrattamento, la biossidazione e individuando i requisiti minimi dei sistemi di abbattimento.

Per quel che riguarda il controllo delle emissioni si applicano le seguenti normative:

- D.P.C.M. 28 Marzo '83 "Limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni e di esposizione relativi ad inquinanti dell'aria nell'ambiente stesso";
- D.P.R. 24 Maggio '88, n°203 "Attuazione delle Direttive CEE n°80/779, 82/884, 84/360 e 85/203 concernenti norme in materia di qualità dell'aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali, ai sensi dell'art.15 della Legge 16 Aprile 1987, n°183".

Poiché queste normative non comprendono indirizzi tecnici specifici per il compostaggio, si propone un sistema di monitoraggio, che si basa sulla normativa della regione Lombardia e sulle esperienze maturate in anni di attività.

MATRICE	PARAMETRO	VALORI LIMITE	FREQUENZA DEL CAMPIONAMENTO
LETTO DEI BIOFILTRI	T in ingresso ai	15-35°C	giornalmente
	Composizione del	20% compost	-
	C organico	Minimo 60%	Ogni 4 mesi
	Salinità	< 2000 µS/cm	1 volta al mese
	pH	6-8	1 volta al mese
	Umidità relativa	50-65%	1 volta ogni 15
	Temperatura del letto	15-35°C	In continuo
	Perdite di carico	10-1000 mm di	Ogni 4 mesi
	Tempo di contatto	>35 sec	-
EMISSIONI	Ammoniaca	15 mg/Nmc	Semestrale
	Acido solfidrico	3 mg/Nmc	Semestrale
	T O C	30 mg/Nmc	Semestrale
	Unità Odorimetriche	< 200 U.O./Nmc	Semestrale
	Polveri	5 mg/Nmc	Semestrale

b) Regione Veneto – Deliberazione GR Veneto 10 marzo 2000, n. 766

La Regione Veneto ha adottato, con tale Delibera, le "Norme tecniche e indirizzi operativi per la realizzazione e la conduzione degli impianti di recupero e di trattamento delle frazioni organiche ed altre matrici organiche mediante compostaggio, biostabilizzazione e digestione anaerobica".

Vengono previste prescrizioni per la riduzione delle emissioni e la gestione degli odori: anche in questo caso previsto il confinamento delle sezioni di ricevimento, stoccaggio, pretrattamento e miscelazione dei materiali umidi e fermentescibili, di biossidazione (a esclusione degli impianti che trattano solo residui verdi), il trattamento dell'aria attraverso idonei impianti e i relativi requisiti. Non vengono indicati limiti specifici alle emissioni.

d) Regione Emilia – Romagna, "I criteri generali per la prevenzione dell'inquinamento atmosferico"

Nella Direttiva per il rilascio delle autorizzazioni alle emissioni in atmosfera si prevede che la Provincia, per il rilascio dell'autorizzazione si accerti che siano previste tutte le misure appropriate di prevenzione dell'inquinamento atmosferico. A tal fine essa può avvalersi dei criteri generali individuati dal Direttore Generale all'Ambiente con proprio atto n.4606 del 4 giugno 1999 come elaborati dal CRIAER con i pareri nn. 2502 del 17 settembre 1990, 2847 del 20 maggio 1991, 3642 del 16 aprile 1992 e 3726 del 6 luglio 1992 o delle migliori tecnologie disponibili (BAT), intese come sistema tecnologico, adeguatamente verificato e sperimentato, che consente il contenimento e/o la riduzione delle emissioni a livelli accettabili per la protezione della salute e dell'ambiente, sempre che l'applicazione di tali misure non comporti costi eccessivi.

I criceti generali definiti da CRIAER riportano, tra l'altro, un elenco delle migliori tecnologie, intese come sistemi tecnologici in grado di apportare una riduzione non inferiore al 90% in massa, del contenuto di inquinanti presenti nell'effluente gassoso. Tra queste vengono indicate le tecnologie per l'abbattimento delle sostanze odorigene, i criteri di dimensionamento e le modalità di gestione. Le tecnologie considerate per l'abbattimento delle sostanze odorigene sono le seguenti:

- k. impianti di adsorbimento a carboni attivi a letto sottile senza rigenerazione annessa;**
- l. impianti di adsorbimento a carboni attivi a letto fisso con rigenerazione annessa;**
- m. impianti di combustione termica;**
- n. impianti di combustione catalitica;**
- o. impianti di abbattimento tipo Venturi;**
- p. impianti di abbattimento a corpi di riempimento;**
- q. impianti di filtrazione.**

Vengono, inoltre, indicati i requisiti per diverse tipologie di impianti di trattamento dei rifiuti e/o loro sezioni. Tra questi gli impianti di compostaggio di rifiuti e la fase di ventilazione del compostaggio.

Per gli impianti di compostaggio di rifiuti si prevede che gli effluenti gassosi generati dal reattore siano captati e convogliati, prima dello scarico in atmosfera, ad un impianto di abbattimento delle sostanze odorigene avente caratteristiche specificate e che sia prescritta l'installazione di adeguate strumentazioni di controllo in continuo del corretto funzionamento degli impianti di abbattimento.

Come precedentemente sottolineato, per quanto riguarda i limiti alle emissioni di odori e i metodi di misura, mancano nella normativa nazionale, indicazioni in merito. Soltanto le Linee guida della Regione Lombardia per la costruzione e l'esercizio degli impianti di compostaggio indicano un limite per le emissioni di sostanze odorigene da tali impianti pari a 200 OU/m³, da determinarsi con metodo olfattometrico secondo quanto previsto dalle linee guida del Gruppo di Lavoro 2 del Comitato Tecnico Europeo 264 (CEN TC264) sulla qualità dell'aria prEN 13275 – Air Quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry.

Si deve constatare che, pur in assenza di indicazioni in merito a valori limite alle emissioni di odori valide in ambito nazionale, a fronte della crescente rilevanza del problema, le autorità competenti al rilascio delle autorizzazioni a impianti di trattamento di rifiuti, ai sensi degli artt. 27 e 28 del D.Lgs. 22/97, hanno previsto oltre alle prescrizioni specifiche sul contenimento degli odori (convogliamento e trattamento dell'aria), anche valori limite alle emissioni (in OU/m³).

3.7 – Cosa è l'odore, come lo si misura

Il problema delle emissioni odorose va assumendo un ruolo di primaria importanza nelle valutazioni sulla localizzazione degli impianti di compostaggio.

Occorre sottolineare innanzitutto che il problema è strettamente legato alla gestione corretta degli impianti e dei processi; la buona parte dell'impatto olfattivo delle emissioni è infatti dovuta alla presenza nelle arie esauste di cataboliti ridotti (composti non completamente ossidati dello zolfo, dell'azoto, del carbonio (tab. 3), e tale presenza è sostanzialmente in contraddizione con le caratteristiche aerobiche del processo di compostaggio, che dovrebbe portare essenzialmente alla produzione ed al rilascio nelle arie esauste di cataboliti ossidati ed inodori (anidride carbonica, ossidi di azoto, anidride solforosa, ecc.).

Le cause dei fenomeni odorosi particolarmente intensi possono essere dunque ricondotte soprattutto alla presenza di situazioni critiche processistiche o impiantistiche come:

Composto	Formula	Soglia di odore	
		bassa g/m	alta g/m

Composti dello zolfo			
idrogeno solforato	H ₂ S	0,7	14
disolfuro di carbonio	CS ₂	24,3	23000
dimetilsolfuro	(CH ₃) ₂ S	25	50,8
dimetildisolfuro	(CH ₃) ₂ S ₂	0,1	346
dimetiltrisolfuro	(CH ₃) ₂ S ₃	6,2	6,2
metilmercaptano	CH ₃ SH	0,04	82
etilmercaptano	CH ₃ CH ₂ SH	0,032	92
Ammoniaca e composti dell'N			
Ammoniaca e composti dell'N	NH ₃	26,6	39600
metilammina	(CH ₃)NH ₂	255,2	12000
dimetilammina	(CH ₃) ₂ NH	84,6	84,6
trimetilammina	(CH ₃) ₃ N	0,8	0,8
scatolo	C ₆ H ₃ C(CH ₃)CHNH	4,0·10 ⁵	268
Acidi grassi volatili			
acido formico	HCOOH	45	37800
acido acetico	CH ₃ COOH	2500	25000
acido propionico	CH ₃ CH ₂ COOH	84	64000
acido butirrico	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	1	9000
acido valerianico	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	2,6	2,6
acido isovalerianico	CH ₃ CH ₂ CH(CH ₃)COOH	52,8	52,8
Chetoni			
acetone	CH ₃ COOH ₃	47500	161000
butanone (MEK)	CH ₃ COOH ₂ CH ₃	737	147000
2-pentanone (MPK)	CH ₃ COOH ₂ CH ₂ CH ₃	28000	45000
Altri composti			
benzotiozolo	C ₆ H ₄ SCHN	442	2210
acetaldeide	CH ₃ CHO	0,2	4140
fenolo	C ₆ H ₅ OH	178	2240

Tabella 3: composti odorosi identificati presso impianti di compostaggio e relative soglie di odore.

- presenza di sacche “anaerobiche” nei cumuli,
- scarso o intempestivo utilizzo dell’aerazione forzata della biomassa,
- rivoltamenti inopportuni e/o intempestivi.

Altre cause di disturbo olfattivo possono essere dovute anche a:

- r. mancata canalizzazione e trattamento arie esauste;
- s. bassa efficienza dei sistemi di abbattimento;
- t. mancata tenuta in depressione dei capannoni di bioconversione;
- u. fuoriuscita di arie odorose dai portali (es. fosse di scarico);
- v. messa a parco in maturazione all’aperto di materiale ancora fortemente odorigeno;
- w. stazionamento all’aperto di sovralli ad elevata componente fermentescibile;
- x. interruzione precoce dei processi aerobi a carico di biomasse non ancora mature;
- y. presenza di estese pozze di percolato.

Particolare attenzione deve inoltre essere posta nei confronti delle altre potenziali sorgenti di odore di un impianto, poiché non solo gli intermedi volatili di degradazione legati a condizioni processistiche non ottimali (anaerobiosi) generano odore, ma anche in parte quelli generati da rifiuti freschi o dalla miscela in compostaggio ad uno stadio di maturazione già avanzato.

La prevenzione richiede dunque una buona attenzione ai connotati operativi dell'impianto ed un piano integrale di monitoraggio. La maturità delle esperienze in corso dà d'altronde punti di riferimento sufficienti per “porre mano” a tali problemi, prevenendoli.

Oltre alla prevenzione, è bene d'altronde che gli impianti che trattano grosse quantità (es. con capacità operative > 10 ton/die) di matrici fortemente fermentescibili (fanghi, scarti alimentari, ecc.) e/o siano collocati in vicinanza di insediamenti abitativi (es. < 1000 metri) siano dotati di minimi presidi contro la potenziale diffusione di odori all'esterno; la “condizione di sicurezza” in tali situazioni si ottiene mediante:

- z. la chiusura delle aree operative destinate alle prime fasi di processo (quelle in cui la miscela è ancora potenzialmente odorigena);
 - aa. la canalizzazione delle arie esauste provenienti da tali aree verso una linea di trattamento degli odori;
 - bb. il dimensionamento adeguato dei biofiltri e/o degli scrubber e di qualunque altro sistema utilizzato per la deodorizzazione delle arie esauste;
 - cc. la corretta gestione dei sistemi di deodorizzazione (es. conservazione dello stato strutturale e delle condizioni di umidità ideali per la massima efficacia dei biofiltri) [26].

3.7.1 – *L'odore tra percezione soggettiva e sistemi oggettivi di valutazione*

La presenza di odori sgradevoli va considerata come un fattore di alterazione del benessere psicofisico, o comunque causa di sgradevoli sensazioni di disagio. Una caratteristica fondamentale in questo senso è il fatto che certe molecole (sia dall'odore piacevole che molesto) hanno la proprietà di essere avvertite all'olfatto a bassissime concentrazioni; a volte il nostro naso è un «detector» più sensibile della più raffinata strumentazione analitica, e questa considerazione condiziona fortemente anche le metodiche di indagine sugli odori.

Le molestie olfattive quindi sono spesso causate da sostanze presenti in minime quantità. Occorre sottolineare che alla molestia olfattiva, nel settore del compostaggio, in genere non corrisponde un impatto tossicologico; soprattutto nel caso degli impianti di compostaggio di biomasse da raccolta differenziata, che sono costituite da materiali di origine “naturale” (quali scarti di cibo, risulterebbe di potatura, ecc.) le emissioni odorose sono caratterizzate semplicemente da intermedi volatili della degradazione microbica di questi substrati, ovvero molecole naturalmente presenti in natura, con scarso impatto sulla salute umana.

L'odore quindi è una sensazione soggettiva, recepita cioè in modo diverso da ogni soggetto, sia per quanto riguarda l'intensità che la qualità dello stimolo olfattivo.

I tentativi finora effettuati per arrivare ad una oggettivazione della misura correlando la proprietà "odore" con qualche parametro chimicamente determinabile non ha portato in generale a risultati soddisfacenti, se non nel caso di odori originati in modo prevalente da pochi specifici composti. L'analisi è quindi in grado di fornire utili dati, con la misura della concentrazione delle varie specie chimiche presenti, ma non può indicare se ogni singolo costituente o l'intera miscela possiede un certo livello di intensità di odore. Può verificarsi ad esempio che in miscele di due componenti vi sia addizione della sensazione olfattiva, o che i composti siano totalmente indipendenti, o che vi sia azione sinergica o che vi sia reazione di cancellazione. Inoltre, un composto volatile che emana odore sgradevole ad alta concentrazione può essere invece accettato o addirittura gradito a concentrazioni inferiori.

In tab. 4 vengono elencate le sostanze odorogene maggiori responsabili degli odori avvertibili negli impianti di compostaggio di qualità; è riportato il confronto tra le soglie di percettibilità da parte del 100% di un gruppo di testatori – 100 % ORC (odour recognition concentration; le soglie di percettibilità da parte del 50% dei testatori sono invece conosciute nella letteratura internazionale come OT, odour threshold) e i livelli ammissibili di esposizione negli ambienti di lavoro (TLV, threshold limit value)

Sostanza	100 % ORC	TLV
Idrogeno solforato	1,4	14000
Metilmercaptano	70	1000
Dimetildisolfuro	16	-
Trimetilammina	9,8	24000
Acido butirrico	73	-
Acido esanoico	29	-
Acetaldeide	549	180000

Da tale confronto si evince come le soglie di percettibilità, ossia le concentrazioni a cui gli odori vengono percepiti negli impianti ed attorno ad essi, sono nella generalità dei casi ben inferiori alle

Tab. 4 - Principali composti odorogeni riscontrabili in impianti di compostaggio. Soglie di percettibilità (100 % ORC) e livelli ammissibili di esposizione negli ambienti di lavoro (TLV) in mg/m^3

Tutti gli approcci volti alla misurazione dell'odore riguardano principalmente le emissioni puntuali, ad esempio all'uscita del biofiltro; nel caso di problemi di odori effettivamente rilevati un'accurata strategia di monitoraggio non dovrebbe tuttavia prescindere dall'analisi complessiva dell'impianto dal punto di vista logistico (fase di conferimento del materiale, pretrattamento, eventuali stoccaggi all'aperto di prodotto fresco o in maturazione, perdite dal capannone...); a tal proposito, ed a titolo esemplificativo, in tab. 5 sono indicate le concentrazioni di odore rilevate nelle diverse aree di un impianto di compostaggio.

Area dell'impianto	U.O. / m^3
Ricezione	470 (media)
Pretrattamento	142 (media)
Superficie dei cumuli (fase ACT, di bioossidazione accelerata)	2.000 - 70.000
Superficie dei cumuli (maturazione)	100 - 500
Vagliatura	118 (media)
Aria in uscita da biofiltro (correttamente funzionante)	< 300

Si evince l'importanza di garantire canalizzazione e trattamento delle arie esauste provenienti da tutte le fasi potenzialmente odorogene, ed in specifico, oltre alla bioossidazione accelerata (ossia la prima fase di compostaggio) anche la ricezione ed il pretrattamento, in cui le caratteristiche biochimiche delle biomasse ancora "fresche" conferiscono loro caratteri potenzialmente odorigeni.

La fase di maturazione finale può invece essere condotta in sistemi non tamponati e olfattivamente presidiati, eventualmente una volta verificato il livello di fermentescibilità residua mediante misura della stabilità del materiale (ad es. con l'indice respirometrico).

In relazione all'importanza del tema "odori" nella localizzazione e nella valutazione operativa degli impianti di compostaggio e trattamento biologico, in Italia ed in Europa si stanno facendo notevoli passi avanti sia per la definizione di standard di emissione espressi in unità odorimetriche (le bozze delle nuove norme tecniche nazionali fanno esplicito riferimento a tali standard di valutazione, come da tempo in diversi Paesi Europei), sia per quanto riguarda la ricerca chimico analitica in questo campo.

Infatti, riuscendo ad identificare quei pochi composti che caratterizzano principalmente l'odore, è possibile concentrarsi su di essi ad es. nella progettazione di uno scrubber più efficiente, per diagnosticare la presenza di zone anaerobiche, per poter realizzare analisi mirate in tempo reale, ecc...

Nel campo della ricerca l'interesse si sta spostando verso due direzioni: una è la messa a punto di metodiche che permettano una maggiore sensibilità analitica ed eventualmente la possibilità di effettuare misurazioni automatizzate in continuo o mediate nel tempo, nei punti di immissione (ovvero nei dintorni dell'impianto, dove viene percepito l'evento odorigeno). Un'altra strategia è la ricerca di una correlazione tra i parametri riscontrati nei punti di immissione e quelli sulle emissioni dalle potenziali "sorgenti di odore" dell'impianto.

Questi approcci assumono valore eminentemente diagnostico, e mediante l'ausilio di analisi statistiche avanzate (PCA, analisi in componenti principali) permette l'identificazione in impianto dei "punti critici" dando la possibilità di intervenire in modo mirato [26].

4.2.1.3.1.1 3.7.2–Il problema della misura degli odori

La necessità di misurare l'intensità degli odori, rendendo oggettiva una grandezza tipicamente correlata a percezioni soggettive, ha portato a sviluppare una serie di approcci diversi al problema.

I metodi analitici (Gascromatografia - Spettrometria di massa o GC-MS, soluzioni specifiche di assorbimento e titolazione, ecc..) permettono uno screening preliminare delle sostanze presenti, con una caratterizzazione qualitativa. Da un'analisi GC-MS si ricavano indicazioni sulle numerose sostanze (tipicamente diverse decine) che compongono la miscela odorosa. E' possibile così valutare la presenza o meno di sostanze indicatrici di un cattivo andamento del processo, oppure valutare l'efficienza dei sistemi di abbattimento come scrubbers e biofiltri.

I metodi analitici sono applicabili nei casi in cui può essere stabilita una correlazione tra la concentrazione dell'odorante e la percezione dell'odore, soprattutto nei casi in cui l'odore è riconducibile a una o poche sostanze, come per odori derivanti da taluni cicli di lavorazione.

Per alcuni composti come mercaptani e acido solfidrico si presentano però dei problemi di sensibilità dello strumento, dal momento che le concentrazioni in grado di fare percepire odori sono al limite od al di sotto della sensibilità analitica: in questo caso il naso risulta essere molto più sensibile di uno spettrometro di massa.

I metodi sensoriali (olfattometrico) sono stati sviluppati con lo scopo di oggettivare e quantificare numericamente – tramite elaborazione statistica - l'intensità dell'odore percepito dal naso umano (utilizzato come sensore) di un set di testatori (pannellisti) a cui viene sottoposta a diluizioni successivamente concentrate l'aria campionata. Le unità odorimetriche, per unità di volume (OU/m³), sono il numero di diluizioni che fanno sì che il 50% della giuria non percepisca nessun odore; tale numero esprime la “concentrazione di odore”; intuitivamente, maggiore è questo numero, più intenso è l'odore. Per impianti di grandi dimensioni (in cui si trattano diverse centinaia di migliaia di m³/h di aria esauste), può altresì assumere importanza la valutazione della “massa di odore”, data dal prodotto della concentrazione di odore per il flusso d'aria in m³/sec in uscita dall'impianto (es. da un biofiltro o da uno scrubber).

4.2.1.3.1.2 3.7.3 - La misura olfattometrica

La determinazione olfattometrica si può riferire a tre aspetti: concentrazione, intensità, tono edonico (gradevolezza/sgradevolezza).

Intensità e tono edonico vengono valutate sulla base di scale di giudizio (ad esempio con punteggi che vanno da 0 a 6, associando ad ogni punteggio un livello di valutazione, tab. 6).

Intensità di odore		Tono edonico dell'odore	
impercettibile	0	nessun fastidio	0
appena percettibile	1	fastidio molto leggero	1
debole	2	fastidio leggero	2
distinto	3	fastidio distinto	3
forte	4	fastidio serio	4
molto forte	5	fastidio molto serio	5
intollerabilmente forte	6	fastidio intollerabilmente serio	6

Tabella 6- Scale di giudizio dell'intensità e el tono edonico dell'odore. L'intensità di odore è normalmente valutata con riferimento a una equivalente sensazione odorosa di una sostanza a concentrazione nota. Di norma la sostanza osmogena di riferimento è il 1-

La concentrazione viene valutata mediante la determinazione del fattore di diluizione alla soglia di percezione: si ricorre a progressive diluizioni del campione odoroso con aria esente da odore (aria “neutra”), fino a rendere l'odore non più percettibile dall'olfatto umano. Si opera con un apposito apparato strumentale, l'olfattometro, che consente la

diluizione del campione con aria “neutra”, secondo rapporti definiti e a livelli che possono raggiungere diverse decine di migliaia di volte, e la presentazione alla commissione di giudizio, registrandone le risposte (sento/non sento) ed elaborandole statisticamente.

La misura viene eseguita secondo indicazioni metodologiche già ben definite in raccomandazioni concordate a livello di esperti CEE e normate in alcuni paesi europei.

La *soglia di percezione* dell’odore viene valutata in riferimento alla concentrazione di sostanze odorose che porta alla percezione dell’odore con una probabilità del 50%, ossia per la quale la commissione di giudizio dà una risposta positiva nel 50% dei casi. Su questa base la concentrazione di odore viene misurata come numero di diluizioni necessarie per far raggiungere al campione il livello di soglia.

Per definizione risulta così che la concentrazione di sostanze odorose a livello soglia risulta pari a 10.U./m³ (OU = Odour Unit). Per fare un esempio, se la concentrazione risulta pari a 2000 OU/m³ significa che occorrerà diluire 2000 volte il campione di aria odorosa con aria pulita per renderlo non più percettibile dal 50% dei giudicatori.

I componenti della commissione di giudizio devono essere ritenuti rappresentativi in modo che possano essere ritenuti rappresentativi di una popolazione dotata di un comune senso dell’olfatto. La selezione viene effettuata secondo prescrizioni definite nello Standard Europeo, sulla base della sensibilità dei soggetti a un composto, il n-butano, che è stato individuato come deodorante di riferimento [31].

4.2.2

4.2.3 3.7.4 – L’OLFATTOMETRO

Esistono alcune tipologie diverse di olfattometro, che sostanzialmente si differenziano in base alle modalità con cui presentano e fanno valutare il campione ai rino-analisti (giudicatori).

Alcuni strumenti operano secondo il criterio di giudizio *sento/non sento* (ossia il giudice annusa l’aria da un’apposita maschera e risponde “sì” o “no” alla domanda “si sente odore?”) e, in generale, sono dotati di un’unica maschera o porta di annusamento. Altri strumenti, dotati di più (due o tre) maschere di annusamento, operano secondo il criterio della *scelta forzata*, ossia il rino-analista deve necessariamente scegliere quale delle maschere presenta il campione di odore, sapendo che nell’altra viene invece fornita aria “neutra” e indicando anche se la propria risposta è “indovinata” o è “certa”.

Gli strumenti disponibili a livello commerciale (di produzione tedesca, olandese, giapponese, statunitense) vengono comandati da appositi software, che regolano con grande accuratezza e affidabilità le diluizioni e consentono la presentazione dei campioni diluiti ai commissari. In generale gli strumenti consentono diluizioni fino ad alcune decine di migliaia di volte e possono lavorare con più rino-analisti che eseguono il test contemporaneamente. Ogni test completo deve essere effettuato con almeno 4 commissari e ripetuto 3 volte, per avere una sufficiente base statistica per la elaborazione dei risultati.

Il campione di aria odorosa viene raccolto, alla sorgente emissiva, con un apposito dispositivo di campionamento che lo aspira in sacchetti di materiale plastico inerte (ad esempio PTFE, Nalophan, Teflon, Tedlar) di

capacità sufficiente all'esecuzione di un test. Il campione, trasportato al laboratorio olfattometrico, deve essere valutato entro 30 ore dal momento della sua raccolta.

Il campione di odore viene presentato al panel in sequenze di concentrazione crescente, a partire da diluizioni tali da renderlo sicuramente impercettibile per la totalità dei commissari ed arrivando a concentrazioni tali da renderlo percettibile. La serie di presentazioni viene intervallata da "bianchi" (campioni di aria neutra), inseriti nella sequenza in modo casuale. Le risposte ottenute vengono registrate dal software di gestione ed elaborate statisticamente per tenere conto della variabilità individuale e interindividuale delle risposte.

L'unico strumento di tipo commerciale attualmente utilizzato presso laboratori italiani è un olfattometro di produzione tedesca (ECOMA GmbH), che opera in conformità alle prescrizioni delle Guidelines tedesche VDI 3881 e VDI 3882 e dello Standard Europeo prEN 13725 [31].

3.8 – Le tecnologie di controllo ed abbattimento

Laddove, in condizioni di corretta gestione del processo, le misure di prevenzione non risultino ancora adeguate ad un sufficiente controllo degli odori è possibile ricorrere a sistemi tecnologici più o meno sofisticati. Presupposto affinché questi sistemi possano essere applicati è che le emissioni rilasciate dai materiali in compostaggio siano intercettate. Ciò significa che le operazioni potenzialmente a rischio per la formazione di odori dovranno essere condotte in ambiente confinato, dal quale sia possibile evacuare l'aria arricchitasi di composti maleodoranti.

Le principali tipologie di apparati per l'abbattimento delle emissioni odorigene, oggi adottate presso le stazioni di compostaggio a più elevato contenuto tecnologico, sono rappresentate essenzialmente dai *biofiltri* e dalle *torri di lavaggio (scrubbers ad umido)*. Per il trattamento delle emissioni maleodoranti sono stati proposti anche l'*assorbimento* su carbone attivo od altri materiali ad elevata capacità di trattenimento o la *combustione* dei composti odorigeni. Questi ultimi sistemi, benché risultati molto efficaci, con rese di abbattimento intorno al 99%, non hanno tuttavia trovato pratica applicazione a causa degli eccessivi costi complessivi di trattamento [3].

3.8.1 – Torri di lavaggio (scrubbers ad umido)

Gli *scrubbers* ad umido si basano sull'impiego di soluzioni di lavaggio per rimuovere i composti odorigeni presenti nel flusso gassoso, mediante assorbimento e successiva ossidazione di queste sostanze. Esiste una vasta gamma di *scrubbers*. Nei sistemi costituiti dalle cosiddette torri impaccate, il liquido di lavaggio viene ripartito in film sottile che si muove lentamente sulla superficie del mezzo di riempimento. L'aria da trattare è, di solito, introdotta dal fondo della torre e fluisce verso l'alto attraverso il materiale di riempimento, in controcorrente rispetto alla soluzione di lavaggio. Quest'ultima viene normalmente ricircolata per minimizzarne il consumo [3]. Negli *scrubbers* cosiddetti a nebbia, invece, la soluzione di lavaggio è atomizzata in goccioline finissime le quali sono disperse, all'interno di una camera di contatto, attraverso il flusso d'aria oggetto di trattamento. Le goccioline caricate di composti odorigeni precipitano al fondo della camera, dalla quale il liquido di lavaggio accumulatosi viene continuamente rimosso [3].

In taluni casi, sono stati proposti i cosiddetti *scrubbers* a stadi multipli, nei quali il flusso gassoso da trattare viene sottoposto a lavaggi con soluzioni diverse, mirate all'abbattimento differenziato dei vari composti odorigeni. Costituisce un esempio di questa nuova tendenza quanto adottato presso le strutture dell'impianto regionale di compostaggio sito nella contea di Montgomery (Maryland).

Qui, a seguito di investigazioni da parte della Washington Suburban Sanitary Commission, è stato identificato nel dimetil disolfuro (DMDS) il principale agente odorigeno presente nell'aria in uscita dal materiale organico in fase di biostabilizzazione [3]. Questi risultati hanno portato alla messa a punto di uno *scrubber* a tre stadi in grado di rimuovere il 97 % del suddetto composto dall'aria di processo. La filiera di lavaggio di deodorizzazione adottata implica un primo lavaggio con soluzione acida e tensioattivi per eliminare l'ammoniaca e certi composti organici.

Segue una fase di ossidazione con ipoclorito per rimuovere il DMDS ed altri solfuri organici. Infine, è previsto un lavaggio con acqua ossigenata per abbattere e, eventualmente dechlorurare, i possibili composti organici ancora presenti [3].

Il ricorso agli *scrubbers* richiede un accurato piano di conduzione e mantenimento degli apparati al fine di garantirne l'efficienza operativa. È quindi importante, in via preventiva, considerare il peso economico che questi sistemi rappresentano rispetto agli altri interventi di mitigazione e controllo degli odori.

3.8.2 – Biofiltri

La biofiltrazione è una tecnologia mediante la quale le emissioni gassose da trattare vengono fatte passare uniformemente attraverso un mezzo poroso biologicamente attivo, ovvero in un apposito letto riempito con materiali quali cortecce, legno triturato, compost maturo, torba, ecc.. mantenuti a condizioni di temperatura e umidità costanti e che vengono colonizzati da microrganismi aerobi in grado di degradare i composti da trattare presenti nelle emissioni. È importante sottolineare che la colonizzazione e le attività metaboliche avvengono all'interno del biofilm, che è la pellicola d'acqua che si crea attorno alle particelle della matrice solida di cui il biofiltro è costituito [13].

Prima dell'uscita dal letto filtrante, il gas assorbe CO₂, gli altri composti volatili generati ed il calore generato dalle reazioni biochimiche. Si rende necessaria spesso l'umidificazione del letto ed in alcuni casi l'aggiunta di soluzioni tamponanti per mantenere il pH a livelli ottimali.

I composti rimovibili con la biofiltrazione sono: ammoniaca, monossido di carbonio, acido solfidrico, acetone, benzene, butanolo, acetato di butile, dietilammina, disolfuro di metile, etanolo, esano, etilbenzene, butilaldeide, acetato, scatolo, indolo, metanolo, metiletilchetone, stirene, isopropanolo, metano, metilmercaptano, monoditriclorometano, monossido di azoto, tricloroetano, tetracloroetano, 2-etilesanolo, xilene.

Con la biofiltrazione si rimuovono i composti organici volatili e i composti ridotti dello zolfo e dell'azoto, che vengono degradati sia come substrati primari che come metaboliti. Le sostanze da rimuovere devono avere due caratteristiche fondamentali:

dd. Facile biodegradabilità

ee. Non tossicità per i microorganismi

I parametri che intervengono nel dimensionamento dei biofiltri sono:

- Empty Bed Contact Time (EBCT); cioè il tempo di residenza di un composto nel biofiltro. Un valore minimo di EBCT è necessario per permettere il trasporto e la degradazione dell'inquinante.

- Carico superficiale; esprime il flusso di gas per unità di superficie (sezione) del biofiltro, viene espresso in m/h, ed è generalmente inferiore ai 200 m/h.

- Carico volumetrico; è definito come la massa di VOC applicata al biofiltro per unità di volume del mezzo nell'unità di tempo ($\text{g} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$). In impianti di compostaggio il carico viene espresso in OU; in ingresso si hanno valori attorno ai 10.000-50.000 OU, ma un adeguato dimensionamento permette di abbattere il valore fino alle 200 OU.

- Capacità di rimozione; è una misura della rimozione dei VOC ad un determinato carico volumetrico ($\text{g} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$). La capacità di rimozione è funzione del carico volumetrico, dell'EBCT, del tipo di mezzo, dalle caratteristiche dei VOC e dalle condizioni ambientali.

Un letto ottimale deve avere le seguenti caratteristiche:

- Ambiente microbico ottimale;
- Ampia area superficiale specifica;
- Integrità strutturale;
- Elevata umidità;
- Elevata porosità;
- Bassa densità volumetrica.

Il compost, le torbe e le cortecce possiedono molte delle caratteristiche sopra menzionate. Il compost utilizzato deve essere di grossa pezzatura e privo di componente polverosa ed eccessivamente leggera: per tale motivo si utilizza normalmente compost ottenuto da potature triturate. Esso ha il vantaggio di fornire minori resistenze al passaggio del gas e quindi ha perdite di carico inferiori.

Le condizioni operative ottimali sono:

- Contenuto di umidità nel mezzo filtrante del 40-60% (peso umido). Il livello di umidità nel biofiltro è il più importante parametro gestionale, poiché i microorganismi sono in grado di assorbire le sostanze alimentari solo nella fase acquosa. Livelli di umidità bassa provocano la deattivazione dei microrganismi, la contrazione ed il collasso del mezzo di riempimento; un livello di umidità eccessivo provoca invece elevate contro pressioni e bassi tempi di ritenzione del gas dovuto al riempimento da parte dell'acqua degli interstizi porosi, problemi di trasporto di massa

(soprattutto ossigeno) dovuti alla ridotta interfaccia gas-liquido per unità di volume del biofilm, creazione di zone anaerobiche, produzione di percolato a basso pH ed alto carico che richiede smaltimento;

- Valori di pH intorno a 7-8. I biofiltri che trattano arie contenenti composti la cui degradazione produce acidi (nel nostro caso abbiamo solfuri e acido solfidrico che portano alla formazione di acido solforico, inoltre ammoniaca e composti azotati che portano ad acido nitrico), devono avere una adeguata capacità tamponante;

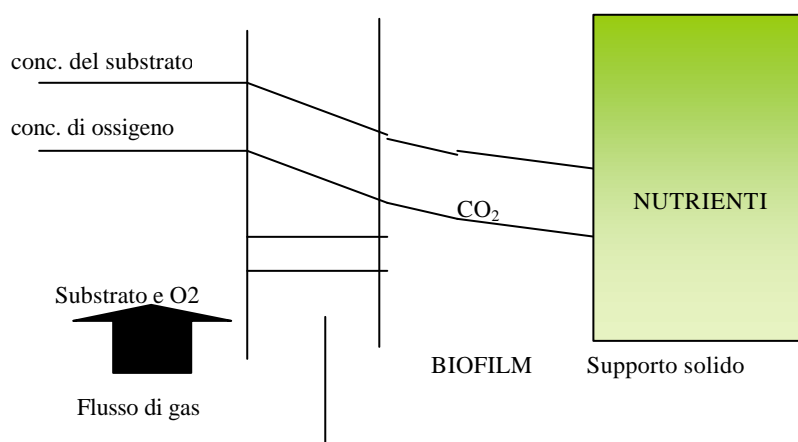
- Temperatura compresa tra i 25-35 °C, con una temperatura ideale per i microorganismi aerobi di 35 °C. Temperature non ottimali rallentano le reazioni di degradazione;

- Assenza di composti tossici per i microorganismi.

In pratica, i microorganismi di un biofiltro non fanno altro che completare la degradazione della sostanza organica di partenza, di cui i composti odorosi sono composti intermedi di degradazione. Il processo consta di tre stadi:

1. il composto gassoso attraversa l'interfaccia tra il gas che scorre nello spazio poroso e il biofilm acquoso che circonda il mezzo solido;
2. il composto diffonde attraverso il biofilm in un consorzio di microorganismi acclimatati;
3. i microorganismi traggono energia dall'ossidazione del composto utilizzato come substrato primario, oppure lo metabolizzano con vie enzimatiche non specifiche. Simultaneamente nel biofilm vi è una diffusione e un consumo di nutrienti (come le forme prontamente disponibili del fosforo e dell'azoto) e di ossigeno.

In relazione alla natura delle arie esauste negli impianti di trattamento biologico, i biofiltri si stanno rivelando come il sistema più versatile ed efficace in tale tipologia di impianti; la natura relativamente "diluata" dei composti odorigene da trattare pone infatti dei limiti strutturali all'efficienza dei sistemi chimico-fisici di abbattimento, mentre i sistemi biologici hanno mostrato buone capacità di rimozione e soprattutto caratteristiche spiccatamente adattative al variare della natura delle sostanze da trattare, il che garantisce l'efficienza di rimozione anche nel corso delle attendibili fluttuazioni nella composizione delle sostanze odorigene (per stagionalità dei conferimenti, variazioni nel flusso delle matrici da compostare, ecc..).



INTERFACCIA GAS-LIQUIDO

In relazione alla natura delle arie esauste negli impianti di trattamento biologico, i biofiltri si stanno rivelando come il sistema più versatile ed efficace in tale tipologia di impianti; la natura relativamente “diluata” dei composti odorigene da trattare pone infatti dei limiti strutturali all’efficienza dei sistemi chimico-fisici di abbattimento, mentre i sistemi biologici hanno mostrato buone capacità di rimozione e soprattutto caratteristiche spiccatamente adattative al variare della natura delle sostanze da trattare, il che garantisce l’efficienza di rimozione anche nel corso delle attendibili fluttuazioni nella composizione delle sostanze odorigene (per stagionalità dei conferimenti, variazioni nel flusso delle matrici da compostare, ecc.). A livello mondiale, sono dunque crescenti i casi di applicazione efficace dei biofiltri, nella maggior parte dei casi come unico sistema di abbattimento. In alcune situazioni – soprattutto nel caso di localizzazioni estremamente critiche per immediata vicinanza delle abitazioni – vengono invece accoppiati a scrubber mono – o pluristadio [13].

Alcuni aspetti gestionali si rivelano di volta in volta importanti per il corretto funzionamento di un biofiltro. In caso di conclamata inefficienza operativa dei biofiltri, potrebbe essere consigliabile indirizzare l’attenzione verso eventuali sistemi di pretrattamento, che possono includere uno o più dei seguenti stadi:

ff. rimozione del particolato e/o eventuali aerosol grassi;

gg. equalizzazione del carico (solo se i gas contengono concentrazioni di VOC estremamente variabili nel tempo, può essere necessario un reattore di equalizzazione del carico, tramite miscelazione di aree provenienti da aree a diversa attività biologica);

hh. regolazione della temperatura: potrebbe essere necessario per raggiungere il range ottimale per l’attività batterica (optimum dei batteri mesofili=37°C). Come in tutti i sistemi biologici, non occorre un controllo preciso, in quanto il sistema nel suo complesso è versatile ed adattativo; il range ottimale di temperatura si ha comunque tra i 20 e i 40°C;

ii. umidificazione: l’umidità è il parametro che in genere condiziona maggiormente l’efficienza di un biofiltro. I microrganismi richiedono adeguate condizioni di umidità per il loro metabolismo, condizioni di scarsa umidità possono portare alla cessazione dell’attività biologica, nonché al formarsi di zone secche e fessurate in cui l’aria scorre in vie preferenziali, non trattata. Un biofiltro troppo umido provoca, invece, elevate contropressioni, problemi di trasferimento di ossigeno al biofilm, creazione di zone anaerobiche, lavaggio di nutrienti dal mezzo filtrante, formazione di percolato. Il contenuto di umidità ottimale del mezzo filtrante è nell’ordine del 40-60%. Va considerato che in fin dei conti attraverso ogni metro cubo di biofiltri passa un flusso d’aria dell’ordine di diverse decine di metri cubi all’ora, e che il metabolismo microbico genera esso stesso calore che tende sovente a determinare una essiccazione del materiale filtrante; questo determina congiuntamente una situazione di elevata

capacità evaporativa da parte del flusso d'aria da trattare. Per questo, in alcuni casi il flusso gassoso in ingresso viene pretrattato per mantenerlo sempre totalmente saturo di umidità [13].

jj. Distribuzione del gas (per uniformare l'alimentazione).

Sulla superficie del biofiltro è comunque importante installare degli irrigatori che coprano in modo possibilmente omogeneo la superficie del biofiltro.

È importante inoltre assicurare una omogenea distribuzione del flusso: questo sia attraverso la predisposizione di un sistema di distribuzione efficace al di sotto del letto di biofiltrazione, che mediante la prevenzione del compattamento della biomassa filtrante, che comporterebbe una "cortocircuitazione" delle arie; indagini anemometriche periodiche sulla superficie del biofiltro si rivelano spesso decisive per individuare l'inizio o l'accentuazione di dinamiche di questo tipo.

I materiali filtranti devono poter fornire un ambiente microbico ottimale (pH, abbondanza di carbonio, nutrienti inorganici), un'ampia superficie specifica, integrità strutturale nel tempo, elevata umidità e porosità, bassa densità volumetrica, odore proprio non eccessivo. I mezzi di riempimento più utilizzati sono torba, compost, corteccia e loro miscele, sovalli legnosi da impianti di compostaggio; tutti questi supporti, di origine naturale, vengono ovviamente lentamente mineralizzati, subendo una progressiva compattazione; perciò, un periodico rivoltamento del mezzo per aumentarne la porosità può migliorare e protrarre la funzionalità. Dopo un certo periodo è comunque un ricambio del materiale di riempimento. Le acquisizioni più recenti in base alle osservazioni sugli impianti di biofiltrazione esistenti hanno richiamato l'attenzione sull'importanza di privilegiare le caratteristiche strutturali della biomassa utilizzata; supporti anche grossolani, quali biomasse vegetali attivate (es. sovalli legnosi da impianti di compostaggio) hanno un'ottima capacità di mantenere stato strutturale, porosità, uniformità di distribuzione dei carichi nel tempo; inoltre tali supporti – al pari di altri più fini e dunque meno resistenti alla compattazione progressiva – riescono a garantire un'efficace colonizzazione da parte della popolazione eterotrofa aerobia preposta alla demolizione dei cataboliti odorigene [13].

In sede di progettazione è fondamentale garantire il dimensionamento efficace dei letti di biofiltrazione. Sotto tale punto di vista i parametri senz'altro fondamentali per l'impostazione del dimensionamento sono il *tempo di ritenzione* (secondi impiegati dal flusso d'aria da trattare per l'attraversamento del letto) e conseguentemente il *carico specifico* (flusso d'aria nell'ora attraverso l'unità di superficie, o meglio, di volume del letto di biofiltrazione); è su questi parametri che generalmente vengono impostate le previsioni progettuali e le prescrizioni autorizzative degli Enti preposti. In tab.7 sono riportati alcuni valori di letteratura su questi ed altri parametri [13].

<i>Parametro</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Range</i>
Tempo di ritenzione	secondi	30-60
Carico specifico	$\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-3}$	<100 50-200
Carico volumetrico	$\text{gm}^{-3}\text{h}^{-1}$	10-160
Capacità di rimozione	$\text{gm}^{-3}\text{h}^{-1}$	10-160
Efficienza di rimozione	%	95-99

Tabella 7: parametri di dimensionamento dei biofiltri.

È' anche importante definire altezze minime e massime del letto di biofiltrazione: spessori troppo contenuti sono maggiormente esposti al disseccamento ed alla formazione di canalizzazioni differenziali; altezze eccessive espongono invece maggiormente al rischio di compattamento. In tabella 8 è riportato ad esempio quanto previsto dalle Linee guida della Regione Lombardia.

Parametro	Valore di riferimento
Altezza	80-200 cm
Tempo di contatto	> 36"
Portata specifica (o carico specifico)	< 100 $\text{Nm}^3/\text{m}^3\text{h}$

Tabella 8: prescrizioni delle “Linee guida per impianti di compostaggio” della Regione Lombardia sul dimensionamento dei biofiltri (DGR VI/44263).

4 – IMPIANTO DI COMPOSTAGGIO CA' BALDACCI

L'impianto di compostaggio in oggetto è destinato alla produzione di compost di qualità, partendo da FOP (Frazione Organica Putrescibile, CER 200108, 200302) e materiale ligno-cellulosico (CER 200201, 170201), e di biostabilizzato partendo dalla frazione organica dei rifiuti urbani ottenuta da separazione meccanica degli stessi (CER 191212). I due processi di conversione della biomassa, richiedono interventi diversificati in relazione alle diverse caratteristiche chimico-fisiche del materiale da compostare e degli obiettivi da raggiungere nel prodotto finito (caratteristiche chimico-fisiche, presenza di inerti, ecc.). Per questo motivo, in questa sezione e nelle successive, tratteremo distintamente la "Linea Compost di Qualità" e la "Linea Biostabilizzato".

- ***Linea compost di qualità***

La FOP ha un basso grado di strutturazione, ma l'addizione e la miscelazione con agenti strutturanti quali gli scarti lignocellulosici, permette alla miscela di ottenere le caratteristiche necessarie alla diffusione passiva, inoltre le opere proposte permettono di garantire alla biomassa, tramite un opportuno numero di rivoltamenti ed un sistema di aerazione forzata e ricambi di aria, le caratteristiche ottimali di aerobicità. Il processo di trattamento della biomassa, viene distinto in due fasi processistiche in relazione alla intensità dei processi microbici, alla conseguente velocità di consumo di ossigeno e necessità di apporto d'aria, allo sviluppo di calore ed umidità delle reazioni metaboliche e conseguente necessità di controllo termodinamico ed alla produzione di effluenti potenzialmente odorigeni con eventuali necessità di gestione degli stessi in siti adeguatamente confinati. Una prima fase in cui la biomassa si presenta ancora come fortemente putrescibile e forte consumatrice di ossigeno: questa fase viene definita bioossidazione accelerata o sinteticamente fase ACT (Active Composting Time).

Una fase successiva di rallentamento dei processi metabolici, del conseguente consumo di ossigeno e della necessità di controllo del processo; questa fase viene comunemente definita come fase di maturazione.

Nel processo di compostaggio sono inoltre previsti dei pretrattamenti finalizzati a condizionare la natura fisica dei materiali da sottoporre al processo di bioconversione (sfibratura, miscelazione, ecc.). Analogamente sono previste delle operazioni di raffinazione finale del compost allo scopo di ottenere una completa separazione dei corpi estranei o indecomposti eventualmente presenti.

Linea biostabilizzato

Il processo di trattamento della biomassa destinato alla produzione di biostabilizzato risulta semplificato rispetto alla produzione di compost di qualità, ammendante agricolo. La frazione organica ottenuta dalla selezione meccanica dei rifiuti urbani indifferenziati, possiede adeguate caratteristiche strutturanti e non necessita quindi di preliminarmente miscelazione con le matrici lignocellulosiche; inoltre, considerata la forma di impiego finale, il processo di bioconversione consiste essenzialmente nella fase di bioossidazione accelerata (ACT), poiché il fine ultimo del trattamento meccanico/biologico del rifiuto residuo, è quello di abbattere la fermentescibilità delle componenti organiche, attraverso un processo

di mineralizzazione delle stesse. Se la stessa tipologia di rifiuto verrà sottoposta a trattamento meccanico/biologico prima del conferimento in discarica, potrà concorrere al raggiungimento degli obiettivi di riduzione dei materiali biodegradabili in discarica, definiti dalla Direttiva 1999/31 CE sulle discariche; in tale caso si intenderà che il materiale non è più “ biodegradabile “ se la fermentescibilità residua determinata attraverso l’Indice Respirimetrico Statico o Dinamico, sarà inferiore ad un valore attualmente da definirsi. L’indicazione di quest’ultimo parametro all’interno della bozza di Direttiva, consente di affermare che viene attribuito al trattamento meccanico/biologico un ruolo fondamentale per la definizione del criterio dell’accettabilità del rifiuto in discarica

La produzione di compost di qualità da matrici organiche selezionate e di biostabilizzato è inevitabilmente accompagnata da:

- Consumo e produzione di aeriformi (utilizzo di ossigeno atmosferico e produzione di vapore d’acqua, anidride carbonica, ed altri cataboliti gassosi carboniosi e/o azotati e/o solforati);
- Evaporazione e rilascio di reflui liquidi, la cui produzione può essere dovuta sia ai processi spontanei di rilascio dell’acqua costituzionale da parte della biomassa, che alla quota di acque usate per l’inumidimento artificiale dei cumuli.

Il processo di bioconversione è accompagnato dalla produzione di cataboliti odorigeni (acidi grassi volatili, ammine, ammoniaca, composti organici ed inorganici ridotti dello zolfo, ecc.) in quantità ponderalmente minime ma comunque potenzialmente moleste dal punto di vista olfattivo.

Tale produzione avviene in quantità considerevole solo nelle prime fasi del trattamento biologico, nonché durante lo stoccaggio iniziale e la conseguente miscelazione delle matrici ad elevata fermentescibilità.

4.1 – Dati di progetto

4.1.1 – Potenzialità dell’impianto

L’impianto di compostaggio in oggetto tratterà 57.000 t/anno di matrici in ingresso, di cui 22.800 t/anno saranno destinate alla produzione di compost di qualità e le restanti 34.200 t/anno alla produzione di biostabilizzato.

I dati e gli elementi considerati sono:

- La produzione di rifiuti, attuale e tendenziale nel bacino di utenza;
- Gli obiettivi di Raccolta Differenziata “secco/umido”;
- La stagionalità del conferimento della frazione ligno-cellulosica;
- La maggior produzione di FOP durante il periodo estivo;
- La miscela di FOP proveniente da R.D., miscelata con gli scarti di lignocellulosico viene destinata alla produzione di compost di qualità;

- La frazione organica dei rifiuti solidi urbani selezionata meccanicamente viene destinata alla produzione di biostabilizzato;
- L'obbligo di pretrattamento del rifiuto prima del conferimento in discarica.

L'impianto in oggetto prevede l'utilizzo delle corsie dinamiche, per il processo di bioossidazione accelerata; tale scelta permette di garantire la movimentazione del materiale a tempi prestabiliti, ed una facile e funzionale gestione del processo.

Sono necessarie 19 corsie teoriche (per corsia teorica si intende la larghezza di un cumulo pari alla larghezza del nastro rivoltatore), per soddisfare la potenzialità dell'impianto (10 corsie per la Linea Compost di Qualità e 9 corsie per la Linea Biostabilizzato), è stata progettata una ulteriore corsia teorica, che verrà utilizzata per far fronte alle punte estive. La produzione di rifiuto organico, infatti, cresce notevolmente durante il periodo estivo, a seguito della maggior presenza di turisti nel bacino di utenza. La corsia in più garantirà una notevole flessibilità dell'impianto, ma anche una maggiore sicurezza, in quanto sarà possibile, mantenendo vuota una corsia a rotazione, effettuare le operazioni di manutenzione e pulizia in particolare delle canalette di insufflazione dell'aria sotto ai cumuli, e di raccolta del percolato.

4.2.4 4.1.2 – MATERIALI TRATTABILI, PRODUZIONE DI COMPOST DI QUALITÀ, BIOSTABILIZZATO, SOTTOPRODOTTI E RIFIUTI

I materiali trattabili per i quali è stato progettato l'impianto sono:

- FOP, frazione organica putrescibile, proveniente da Raccolta Differenziata;
- Frazione lignocellulosica, proveniente dalla attività di manutenzione del verde pubblico e privato e degli scarti lignocellulosici naturali;
- Frazione organica dei rifiuti solidi urbani, ottenuta dalla separazione meccanica degli stessi presso appositi impianti di selezione.

Le frazioni FOP e Frazione ligno-cellulosica sono le matrici di partenza che daranno origine al compost di qualità (ammendante compostato misto), il quale dovrà possedere i requisiti previsti dalla L.N.19 Ottobre 1984, n° 748, e dal Decreto 27 Marzo 1998 che ne modifica l'allegato 1C, e successive modifiche ed integrazioni.

Per quanto riguarda la produzione di biostabilizzato, al momento non sono ancora state individuate precise norme tecniche: la bozza della Direttiva europea sul compostaggio ed il trattamento meccanico-biologico attualmente all'esame degli Organi competenti in materia, contiene le seguenti idee guida:

1. promuovere il trattamento biologico dei rifiuti organici biodegradabili derivanti dal sistema delle raccolte differenziate al fine di eliminarne o ridurre gli effetti negativi sull'ambiente, garantendo elevati livelli di protezione del suolo e delle acque sotterranee, e riducendo le emissioni di gas serra;

2. migliorare la qualità dei suoli attraverso l'apporto di sostanza organica, garantendo l'incremento della disponibilità di acqua ed un maggiore utilizzo dei nutrienti;

3. trattamento meccanico/biologico del rifiuto residuo allo scopo di abbattere la fermentescibilità delle componenti organiche ancora presenti.

In questa fase si fa quindi riferimento alla Deliberazione della Giunta Regionale 1 Marzo 2000, n.647, concernente l'Accordo del Contratto di Programma per l'utilizzazione del compost ammendante agricolo e del biostabilizzato, ed alla Delibera del Comitato Interministeriale 27 Luglio 1984.

Durante la progettazione, sono state individuate determinate miscele di rifiuti in modo da:

1. Garantire un adeguato grado di strutturazione della miscela per poter contare su di una buona diffusione dell'aria all'interno degli interstizi della biomassa;

2. Limitare la presenza di inquinanti tramite la formulazione di miscele con adeguate percentuali delle varie tipologie di componenti.

Per ciascuna tipologia di rifiuto, sono ipotizzabili, a seconda della disponibilità di materie prime, le seguenti miscele di rifiuto da compostare:

LIGNOCELLULOSICO	7.980 t/anno
FOP	14.820 t/anno
TOTALE (Linea Compost di qualità)	22.800 t/anno
ORGANICO DA SELEZ. MECCANICA	34.200 t/anno
TOTALE (Linea Biostabilizzato)	34.200 t/anno
TOTALE (Trattamento complessivo)	57.000 t/anno

Come anche riportato di seguito nello schema di flusso del processo, parte dei sovralli di lavorazione costituiti principalmente da materiale lignocellulosico grossolano, verranno riciclati e rimessi in testa all'impianto. Il ricircolo di tale importante frazione, permetterà il raggiungimento di un duplice scopo:

- Limitare la percentuale dei rifiuti prodotti durante il processo e quindi la frazione di rifiuti da smaltire in discarica;
- Eliminare le problematiche relative alla non disponibilità della frazione lignocellulosica, presente in difetto in alcuni periodi dell'anno.

Con questi dati di input è possibile ottenere il seguente bilancio globale sull'impianto (tab. 9), ipotizzando il caricamento e lo scarico del materiale nei soli giorni lavorativi, ed una base di calcolo di 300 giorni lavorativi/anno.

Di seguito si riporta uno schema a blocchi relativo all'impianto, che mette in luce le principali portate ponderali annuali (fig. 1).

INPUT IMPIANTO	Peso (t/anno)	d.a. (t/mc)	Volume (mc/anno)	Peso (t/giorno)	Volume (mc/giorno)
FOP	14.820	0,85	17.435	49,4	58,1
LIGNO-CELLULOSICO	7.980	0,45	17.733	26,6	59,11
MIX (Linea compost di qualità)	22.800	0,65	35.168	76	117
Organico da selez. Meccanica	34.200	0,75	45.600	114	152
OUTPUT IMPIANTO	Peso (t/anno)	d.a. (t/mc)	Volume (mc/anno)	Peso (t/giorno)	Volume (mc/giorno)
COMPOST DI QUALITA'	5.700	0,55	10.364	19	34,5
RENDIMENTO (Linea compost di qualità)	25%	-	29%	-	-
BIOSTABILIZATO	24.217	0,58	41.753	80,7	139,2
RENDIMENTO (Linea Biosta-bilizzato)	71%	-	91%	-	-
SOVVALI	2.280	0,31	7.410	7,6	24,7
PERCOLATO*	5.377	1	5377	14,7	14,7
EMISSIONI**	530.190	$1,29 \cdot 10^{-3}$	$411 \cdot 10^6$	1.767	1.370.000

Tabella 9: bilancio globale sull'impianto

(*) Il percolato viene prodotto per 365 giorni all'anno, visto che il processo non si arresta mai, pertanto la produzione reale giornaliera è di 14,7 mc/giorno.

(**) Si considera l'emissione media dell'impianto, che come vedremo può lavorare a differenti regimi, e l'emissione è espressa in Nmc.



Tali valori attestano condizioni ottimali per il funzionamento dell'impianto, garantendo inoltre un rapido avvio del processo (e quindi una fase di latenza di poche ore) e non compromettono la porosità necessaria per l'uniforme diffusione dell'ossigeno nelle masse.

Se il risultato non determinasse condizioni ottimali (o quanto meno accettabili) per la crescita e lo sviluppo delle popolazioni microbiche, si procederà a variare la composizione della miscela, incrementando e/o diminuendo le diverse categorie di rifiuto (l'una a base strutturale e povera di azoto, l'altra umida e ricca di azoto).

Ogni correttivo eventualmente necessario (ad esempio l'innalzamento della quota di ligno-cellulosico), verrà apportato in corso d'opera.

4.3 4.2 – SCHEMA DI FLUSSO DELL'IMPIANTO

Di seguito si presenta la descrizione del ciclo operativo ed il bilancio di massa relativo all'impianto per la produzione di compost di qualità e biostabilizzato.

L'impianto risulta suddiviso nelle seguenti unità fondamentali, che ora si considerano solo come scatole chiuse limitandosi a fornire gli input e gli output da ciascuna sezione, lasciando a dopo la descrizione ed il dimensionamento delle singole sezioni di impianto (figg. 2 e 3).

- ***Linea compost di qualità***

- Area pesatura mezzi trasportanti materiale ligno-cellulosico e FOP (Edificio G);
- Area stoccaggio ligno-cellulosico; le operazioni eseguite sono:
 1. Stoccaggio frazione lignea;
 2. Triturazione e sfibratura ligno-cellulosico;
- Area di conferimento, stoccaggio e miscelazione FOP e ligno-cellulosico (Edificio A):
 1. Conferimento FOP e ligno-cellulosico;
 2. Sgrigliatura preliminare;
 3. Stoccaggio in fossa;
 4. Pretrattamento e miscelazione delle matrici;
 5. Avvio alla fase di biossidazione successiva;

- Area di maturazione primaria, di biossidazione (Edificio *B*):
 1. Carico delle corsie;
 2. Fase termofila di biossidazione;
 3. Rivoltamento della biomassa;
 4. Scarico della corsia;
 5. Tempo di permanenza di 35 giorni;
 6. Avvio alla fase di maturazione successiva;
- Area di seconda maturazione (Edificio *E*):
 1. Formazione di cumuli trapezoidali;
 2. Rivoltamento periodico;
 3. Tempo di permanenza di 55 giorni;
- Area di stoccaggio finale del compost di qualità (Edificio *F*):
 1. Raffinazione finale;
 2. Stoccaggio prodotto finito.
- ***Linea biostabilizzato***
 - Area pesatura mezzi trasportanti organico da selezione meccanica, CER 191212 (Edificio *G*);
 - Area di conferimento e stoccaggio frazione organica dei Rifiuti Solidi Urbani selezionata meccanicamente (Edificio *A*):
 1. Conferimento frazione organica da selezione meccanica;
 2. Stoccaggio in fossa;
 3. Avvio alla fase di biossidazione successiva;
 - Area di maturazione primaria, biossidazione (Edificio *B*):
 1. Carico delle corsie;
 2. Fase termofila di biossidazione;
 3. Rivoltamento della biomassa;
 4. Scarico della corsia;
 5. Tempo di permanenza di 21 giorni;
 - Area di eventuale stoccaggio temporaneo (Edificio *E*):
 1. Stoccaggio prodotto finito;
 2. Caricamento su camion.

Lo schema individua alcune aree fondamentali in cui può essere suddiviso l'impianto. Le analizzeremo focalizzando l'attenzione sia sulle masse in gioco che sulla composizione delle correnti più significative, indicate coi numeri da 1 a 14.

L'impianto tratterà 57000 t/anno, ma è sovradimensionato per far fronte alle punte previste in estate quando la presenza di turisti determina un incremento notevole della frazione organica dei rifiuti solidi urbani che viene conferita all'impianto. La quantità annuale trattata è quindi di 57000 t/a, ma non uniformemente suddivisa nei diversi periodi dell'anno.

La presenza di una corsia teorica in più, prevista come sovradimensionamento dell'impianto, consente, nei periodi di minore produzione, di effettuare i necessari interventi di manutenzione ordinaria.

I materiali che entreranno nel ciclo di bioconversione possono essere suddivisi in quattro categorie: il ligno-cellulosico, la Frazione Organica Putrescibile ed eventualmente i fanghi di depurazione, destinati alla produzione di compost di qualità, la frazione organica dei RSU selezionata meccanicamente, destinata alla produzione di biostabilizzato.

4.4

4.5 4.3 – CARATTERISTICHE, DIMENSIONAMENTO E BILANCIO DI MASSA DELLE DIVERSE SEZIONI DI IMPIANTO.

4.5.1 4.3.1 – SEZIONE RICEVIMENTO E TRITURAZIONE FRAZIONE LIGNO-CELLULOSICA

Il conferimento all'impianto di questa frazione è ovviamente soggetta a forte stagionalità. Per questo motivo si è deciso di dedicare a questa frazione maggior spazio possibile. L'area destinata al ricevimento e stoccaggio della matrice ligno-cellulosica ha una superficie di circa 4.000 m².

Questa area è scoperta, la pavimentazione sarà realizzata in asfalto e bynder e sarà dotata di una rete di captazione e convogliamento dell'eluato. Essa è circondata tutto attorno da un terrapieno, di larghezza, alla base, di circa 10 m. e alto 2,5 m; con la duplice funzione di frangi fiamma (ottenuta attraverso il rivestimento interno del rilevato formato da uno strato sabbioso) e di limitare l'impatto visivo dei cumuli presenti (fig. 4).

Il legno viene sottoposto ad un pretrattamento finalizzato alla triturazione/sfibratura attraverso l'utilizzo di una macchina cippatrice, e successivamente trasportato alla zona di conferimento e miscelazione.

La corrente 1 avrà queste caratteristiche:

CORRENTE N°1	U.d.M.	Lignocellulosico
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	t/anno	7.980
Portata volumetrica annua	mc/anno	17.733
Portata ponderale giornaliera	t/giorno	26,6
Portata volumetrica giornaliera	mc/giorno	59,1
Umidità	%	50%
Densità apparente	t/mc	0,45

Per quanto riguarda la gestione dell'impianto, nei periodi dell'anno in cui i conferimenti del materiale avverranno in modo intenso e continuo, sarà necessario procedere in modo altrettanto continuo alla sua triturazione. Per i periodi dell'anno in cui i conferimenti saranno minori (o minimi), sarà necessario invece aver accumulato una sufficiente scorta di triturato.

Dimensionamento sezione:

Ligocellulosico conferito alla	t	n
Input max**/anno	7.980	4
Input max**/giorno (ip. 300	2	1

- * Si suppone che il materiale conferito alla rinfusa abbia una densità 2,5 volte inferiore a quello triturato
- ** La quantità di input massimo è relativa alla situazione in cui non vengono utilizzati fanghi, e quindi aumenta la frazione di ligno-cellulosico utilizzato.

Di conseguenza si possono calcolare rispettivamente i giorni di stoccaggio sia per la frazione alla rinfusa, che per quella triturata, supponendo di dedicare al legno triturato il 25% della superficie utile.

Stoccaggio Ligno-cellulosico	Volume (mc)	Superficie utile (mq)	Altezza cumuli (m)	Volume utile (mc)	Tempo stoccaggio (giorni)
Volume/giorno (rinfusa)	147,78	1.800	4	7.200	48
Volume/giorno (triturato)	59,11	600	3,5	2.100	35
Ingombro tritratore	-	200	-	-	-
Ingombro viabilità	-	1.350	-	-	-
TOTALE		3.950			

Come si può vedere, l'area destinata allo stoccaggio e triturazione legno, è in grado di garantire lo stoccaggio della matrice per 48 giorni di materiale alla rinfusa e per 35 giorni di materiale triturato.

E' evidente frazione di disponibile per la aumenta di

Ligocellulosico triturato	t	mc
Input max**/anno	7	1
Input max**/giorno (ip. 300	2	59,11

che se si aumenta la superficie utile frazione triturata, conseguenza anche

il tempo complessivo di stoccaggio del ligno-cellulosico nel suo insieme.

4.5.2

4.5.3 4.3.2 – SEZIONE RICEVIMENTO FOP, FRAZIONE ORGANICA DA SELEZIONE E MISCELAZIONE DELLE MATRICI

Le Frazioni Organica Putrescibile (FOP), ligno-cellulosica triturata ed organica dei RSU ottenuta da selezione meccanica, vengono conferiti direttamente in un'area chiusa, tamponata, tenuta in depressione (fig. 5). All'arrivo del

materiale il camion entra nell'avanfossa, attende che si chiuda la serranda alle sue spalle, dopodiché può iniziare l'operazione di scarico senza alcuna diffusione di odori all'esterno, poiché l'ambiente è confinato e tenuto in depressione da un sistema di ventilatori che aspirano in continuo l'aria entrante da una griglia posta sopra i portoni d'ingresso alla zona di scarico. In questo ambiente vengono garantite anche le condizioni di igiene per gli operatori che sono addetti alle operazioni di scarico, tramite un numero di ricambi d'aria che può variare dai 13 ai 26 ricambi di aria all'ora a seconda delle condizioni di esercizio.

Gli automezzi accedono all'avanfossa tramite 5 aperture dotate di portoni a scorrimento rapido, che vengono chiusi subito dopo l'ingresso del camion. L'avanfossa è divisa in cinque zone di scarico, corrispondenti a ciascun portone di ingresso, ha una superficie complessiva di 384 m², per un'altezza variabile tra i 6,5 ed i 10,20 m (la maggiore altezza si ha in prossimità della fossa di scarico del materiale e permette all'automezzo di alzare il cassone e di effettuare lo scarico in fossa. La volumetria della sezione di circa 3.200 m³ assieme all'aspirazione dei ventilatori dalla zona di miscelazione determina un numero di ricambi/ora variabile dai 13 ai 26, a seconda delle condizioni di esercizio.

L'avanfossa è posizionata ad una quota di + 4m rispetto al piano della sezione di miscelazione dei materiali ad essa adiacente. Tale differenza di quota è ottenuta sfruttando adeguatamente la naturale pendenza del terreno.

L'avanfossa è separata dal locale adibito allo stoccaggio e miscelazione delle matrici da un sistema a bandelle flessibili che si aprono solo al momento dello scarico. In questa zona, dove è prevista la permanenza del personale solo per le operazioni di manutenzione, sono garantiti dai 5 ai 10 ricambi d'aria ogni ora. Inoltre, un sistema di ventilazione supplementare che aspirerà direttamente aria fresca dall'esterno, entrerà in azione ogni qualvolta il personale addetto alla manutenzione entrerà nell'area sopra menzionata.

Il materiale scaricato dagli automezzi finisce per gravità in 6 fosse per lo stoccaggio temporaneo dei materiali; una di queste è dotata di una griglia su cui il materiale rotola, e al di sotto della quale viene raccolto il percolato. Questa zona è riservata allo scarico di materiali particolarmente umidi e che necessitano di una preliminare sgrigliatura, per non trascinare liquami maleodoranti per tutta la sezione di miscelazione. Una delle fosse è accessibile direttamente dall'esterno, senza avanfossa, nel caso di conferimento con bilici le cui dimensioni non siano compatibili con le zone di accesso previste per l'avanfossa.

La sezione di ricevimento, come detto, contiene 6 fosse, tutte uguali di dimensioni 5,7 e 7,9 m di base e di profondità variabile fra 4,54 e 5 m, per una volumetria pari a circa 220 m³ ciascuna. Di queste fosse, 3 sono dedicate allo stoccaggio della frazione organica ottenuta da selezione meccanica dei rifiuti urbani, mentre le 3 rimanenti sono dedicate allo stoccaggio della frazione ligno-cellulosica e della FOP.

Di seguito vengono riportati i criteri di dimensionamento della sezione di ricevimento:

INPUT SEZIONE	Portata ponderale annua	Portata volumetrica annua	Portata ponderale	Portata
	(t/anno)	(mc/anno)	Giornaliera (t/giorno)	Volumetrica giornaliera (mc/giorno)

FOP	14.820	17.435	49,4	58,1
LIGNO-CELLULOSICO	7.980	17.733	26,6	59,1
ORGANICO DA SELEZ. MECCANICA	34.200	45.600	114	152

Di conseguenza le fosse permetteranno i seguenti stoccaggi:

	Volume lordo a disposizione (m ³)	Coefficiente di riempimento	Volume netto (m ³)	Input giornaliero (m ³)	Giorni di stoccaggio
FOP	440	100% ca.	440	58,1	7,6
Ligno-cellulosico	220	100%	220	59,1	3,7
Organico da Selezione meccanica	660	80% ca.	528	152	3,5

La potenzialità di stoccaggio della FOP risulta essere pari a 7-8 giorni, quella relativa alla frazione organica selezionata meccanicamente e lignocellulosica è pari a 3-4 giorni.

La sezione dedicata alla miscelazione delle diverse frazioni in ingresso, ha dimensioni 36,8 m per 19,65m, altezza 11,35 m (a questi vanno aggiunti altri 29 m² occupati dallo spazio sotto la cabina gruista), per una volumetria complessiva di circa 8.536 m³.

L'aspirazione dell'aria da questa sezione, che poi verrà mandata alla sezione di bioossidazione, determina di fatto un numero di ricambi/ora tra 5 e 10 a seconda delle condizioni di esercizio.

La superficie utile per le operazioni di pretrattamento dei materiali si riduce, escludendo l'ingombro delle fosse, a 476 m².

In essa sono collocate le seguenti apparecchiature:

- 4 tramogge di carico, di cui una deputata al ricevimento della sola frazione organica proveniente dalla selezione dei rifiuti urbani tal quali, 2 al ricevimento della FOP e l'altra al ricevimento della frazione ligno-cellulosica;
- 2 miscelatori;
- nastri trasportatori.

Le operazioni che si svolgono in questa sezione sono le seguenti:

- La FOP, dalla fossa di stoccaggio, viene prelevata tramite benna a polipo (collegata ad un carroponte azionato e controllato da una cabina posta sul lato opposto a quello di ingresso degli automezzi) e caricata in 2 delle 4 tramogge di carico (1 a servizio di ciascun miscelatore) (94,8 m³/giorno);
- La frazione ligno-cellulosica viene prelevata tramite benna dalle fosse di stoccaggio dedicate e caricata nella apposita tramoggia di carico (complessivamente 102,8 m³/giorno);
- I materiali vengono trasportati dal fondo della tramoggia mediante trasportatori a vite ai due miscelatori, che devono trattare ciascuno 98,8 m³/giorno.

- I due miscelatori sono collegati fra loro tramite due nastri reversibili, di modo che, in caso di rottura di uno, il materiale possa essere trasportato nell'altro miscelatore;

- I miscelatori pesano il materiale in ingresso ed effettuano la miscela da avviare a compostaggio;

- La miscela ottenuta viene convogliata mediante un nastro ($197,6 \text{ m}^3/\text{giorno}$) al sistema di carico delle corsie nella sezione di biossidazione accelerata;

- La frazione organica proveniente dalla selezione dei rifiuti urbani tal quale effettuata presso impianti appositi, viene prelevata tramite benna a polipo dalle fosse di stoccaggio e caricata nella apposita tramoggia di carico, dalla quale il materiale verrà trasportato attraverso un sistema di nastri, all'interno della sezione deputata alla biossidazione accelerata. Come già detto, questa frazione non necessita della miscelazione preliminare con la matrice legnosa, per cui dalla tramoggia viene avviata direttamente alla biossidazione accelerata, senza interessare i miscelatori. Quindi le correnti 2, 3, e 4 avranno le seguenti caratteristiche:

CORRENTE N°2	U.d.M.	FOP
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	t/anno	14.820
Portata volumetrica annua	mc/anno	17.435
Portata ponderale giornaliera	t/giorno	49,4
Portata volumetrica giornaliera	mc/giorno	58,1
Umidità	%	80%
Densità apparente	t/mc	0,85
CORRENTE N°3	U.d.M.	Organico da selezione meccanica
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	t/anno	34.200
Portata volumetrica annua	mc/anno	45.600
Portata ponderale giornaliera	t/giorno	114,0
Portata volumetrica giornaliera	mc/giorno	152,0
Umidità	%	65%
Densità apparente	t/mc	0,75
CORRENTE N°4	U.d.M.	Percolato
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	t/anno	1.356
Portata volumetrica annua	mc/anno	1.356
Portata ponderale giornaliera	t/giorno	3,7
Portata volumetrica giornaliera	mc/giorno	3,7
Umidità	%	100%
Densità apparente	t/mc	1

La FOP e il materiale lignocellulosico vengono miscelati; all'uscita dal mixer il materiale viene caricato su di un nastro che lo trasporta nell'area di prima maturazione (corrente 5).

Il rifiuto organico proveniente da selezione meccanica dei RSU viene, invece, direttamente avviato alla fase di biossidazione accelerata (corrente 6).

CORRENTE N°5	U.d.M.	MIX (Linea Compost di Qualità)
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	t/anno	22.470
Portata volumetrica annua	mc/anno	34.999
Portata ponderale giornaliera	t/giorno	74,9
Portata volumetrica giornaliera	mc/giorno	116,7
Umidità	%	62%
Densità apparente	t/mc	0,642

CORRENTE N°6	U.d.M.	Organico da selezione meccanica
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	t/anno	33.174
Portata volumetrica annua	mc/anno	52.491
Portata ponderale giornaliera	t/giorno	110,6
Portata volumetrica giornaliera	mc/giorno	175
Umidità	%	62%

Densità apparente	t/mc	0,632
-------------------	------	-------

4.3.3 – Area prima maturazione

Come già detto l'area di prima maturazione (fig. 6) è destinata alla fase di biossidazione accelerata (ACT); in questa sezione il materiale proveniente dall'area di ricezione e miscelazione vi giunge tramite un sistema di nastri, che provvede anche a riempire la testa delle corsie dinamiche.

Il capannone è suddiviso in 4 campate ed è completamente chiuso, tamponato ed in depressione per impedire qualsiasi fuoriuscita di odori.

Ciascuna delle 4 campate in cui è suddiviso il capannone, è divisa a sua volta in due corsie di lunghezza 35,7 m e larghe rispettivamente 7,0 e 10,5 m, con muretti alti 2,5 m. Poiché il nastro che opera il rivoltamento è largo 3,5 m, si possono individuare 2 corsie teoriche per la corsia larga 7 m, e 3 corsie teoriche per la corsia larga 10,5 m.

Il capannone deputato alla biossidazione prevede la permanenza del materiale in fase ACT per 35 giorni per la Linea Compost di Qualità, per 21 giorni per la Linea Biostabilizzato.

Il materiale da bioconvertire alterna una fase statica ad una di rivoltamento con traslazione verso l'uscita dal capannone tramite un sistema di rivoltamento e di nastri telescopici, che sono solidali ad un carroponete che corre nel senso della lunghezza della corsia (fig. 7).

Tale sistema opera contemporaneamente il rivoltamento e la traslazione della massa.

Il numero dei rivoltamenti della biomassa è legato a:

- Quantità di materiale caricata giornalmente in testa alle corsie;
- Lunghezza delle corsie;
- Tempo di permanenza in fase ACT del materiale;
- Lunghezza della corsia;
- Traslazione del materiale per singolo rivoltamento;

Tali variabili, che incontreremo in seguito nel capitolo dedicato al dimensionamento delle diverse sezioni di impianto rendono necessari 5 rivoltamenti affinché la biomassa raggiunga la coda della corsia.

I 5 rivoltamenti sono un compromesso ottimale, fra le esigenze di ossigenazione della biomassa, e la necessità di turbare il meno possibile i delicati equilibri e microecosistemi in cui i microorganismi operano la biossidazione, determinando tempi di permanenza in fase statica di 7 giorni per la Linea Compost di Qualità e di 4-5 giorni per la Linea Biostabilizzato.

Il processo di bioconversione prevede una fase molto attiva inizialmente (primi 10 metri), con alte temperature (60-65°C fase termofila), che garantiscono le condizioni di igienizzazione, elevata attività dei microorganismi, alto indice di respirazione (elevato consumo di ossigeno) e conseguente formazione di odori; in seguito l'attività dei microorganismi rallenta e la temperatura tende a stabilizzarsi attorno ai 40-45°C (fase mesofila). All'uscita dall'area di biossidazione il materiale è già stabilizzato.

La totale automazione nella fase di biossidazione accelerata, determina l'assenza di personale in un ambiente ostile alle condizioni di igiene del lavoro. In questa area la presenza umana è prevista solamente per le operazioni di manutenzione o in condizioni di emergenza, e comunque avverrà in condizioni di ventilazione con 6 ricambi ora.

L'aerazione dei cumuli e di tutto il capannone di prima maturazione è direttamente collegata a quella della zona di conferimento e miscelazione, in quanto l'aria aspirata da queste zone viene convogliata e distribuita al capannone di bioconversione, dove sono garantiti 6 ricambi/ora nella zona in cui opera la rivoltatrice (durante il rivoltamento della massa si liberano notevoli quantità di vapore e composti volatili che vengono aspirati), e 2 ricambi/ora (come previsto dalla emananda normativa e dalle Linee Guida della Regione Lombardia) nelle zone in cui il materiale è in situazione di cumulo statico.

L'aerazione avviene per una quota, definita dalle necessità di processo, tramite insufflazione dell'aria sotto ai cumuli, e la rimanente viene immessa sopra i cumuli.

Tale sistema assieme agli accorgimenti e presidi ambientali adottati, sono atti a minimizzare gli effetti negativi sia a livello di igiene del lavoro, sia di impatto ambientale nelle aree limitrofe l'impianto.

Il percolato prodotto in quest'area viene raccolto dalla rete di canalette che corre sotto i cumuli, deputata anche alla distribuzione dell'aria.

Durante la fase di ossidazione accelerata il materiale subisce una perdita in peso di circa il 40% (processo di produzione di Compost di Qualità) e del 26.2 % (processo di produzione di biostabilizzato), per perdita di acqua (i 2/3 per evaporazione ed 1/3 come percolato) e di carbonio e azoto organico che vengono ossidati a composti inorganici e volatili.

Durante questa fase, l'eccessiva perdita di acqua verrà controbilanciata da un inumidimento della massa (che avverrà circa a 15-20 m dalla fine della corsia) con percolato ricircolato (come indicato anche nella normativa emananda e nelle linee guida della Regione Lombardia), e con acqua pulita (per impedire la formazione di depositi ed intasamenti nel sistema di erogazione). Questa operazione non incide per quanto riguarda la quota percolato, con l'impianto a regime, sul bilancio di massa, ma evita di dover trattare un quantitativo maggiore di reflui, come accadrebbe se si umidificasse la biomassa con sola acqua pulita.

- *Linea compost di qualità*

Di seguito (tab. 10) si riportano i dati di input e output relativi alla sezione utilizzata per la produzione di Compost di Qualità, oltre alle specifiche di ciascuna corsia teorica, dalle quali poi ci si può ricondurre alle corsie reali, moltiplicando rispettivamente per 2 o per 3 tutti i parametri ad eccezione delle lunghezze delle corsie che ovviamente rimangono invariate.

Poiché dal punto di vista gestionale si opererà per 6 giorni alla settimana, per un totale di circa 300 giorni all'anno (in realtà sono 312 giorni lavorativi all'anno, ma si tiene conto di una decina di giorni per operare la manutenzione straordinaria), per ciascuna settimana saranno riempite 10 corsie.

Di conseguenza con 5 rivoltamenti a cadenza settimanale, si riuscirà a percorrere i 35,7 m di lunghezza della corsia e a raggiungere, in 35 giorni, la zona di scarico.

LINEA COMPOST DI QUALITA'		
Parametri	Unità di misura	Sezione di biossidazione
Portata ponderale in ingresso	t/anno	22.470
Densità apparente in ingresso	t/m ³	0,642
Portata volumetrica in ingresso	m ³ /anno	34.999
Portata ponderale in uscita	t/anno	13.482
Densità apparente in uscita	t/m ³	0,565
Portata volumetrica in uscita	m ³ /anno	23.862
giorni lavorativi/anno	giorni	300
Portata ponderale giornaliera in ingresso	t/giorno	74,9
Portata volumetrica giornaliera in ingresso	m ³ /giorno	116,7
Portata ponderale giornaliera in uscita	t/giorno	44,9
Portata volumetrica giornaliera in uscita	m ³ /giorno	79,5
Dimensioni corsia teorica	Unità di misura	Sezione di biossidazione
Numero corsie teoriche	-	10
Larghezza corsie teoriche	m	3,5
Lunghezza corsie teoriche	m	35,7
Altezza del cumulo in ingresso	m	2,5
Sezione cumulo in ingresso	m ²	8,75
Lunghezza zona di carico	m	8
Volume zona di carico	m ³	70,0
Massa in zona di carico	t	44,9
Altezza del cumulo in uscita	m	2,1
Sezione cumulo in uscita	m ²	7,35
Lunghezza zona di scarico	m	6,5
Volume zona di scarico	m ³	47,7
Massa in zona di scarico	t	26,95
Numero cicli/anno	-	10,42
Numero rivoltamenti per scarico corsia	-	5
Frequenza rivoltamenti	giorni	7
Tempo di permanenza	giorni	35

Tabella 10: dati di input e output relativi alla sezione utilizzata per la produzione di Compost di Qualità, e specifiche di ciascuna corsia teorica.

Durante il percorso lungo la corsia il materiale in fase ACT subisce notevoli perdite di processo, che si concretizzano in una perdita di volume (ma anche di peso). Tale perdita di volume, che si realizza in pratica con un abbassamento del cumulo, viene compensata, in parte, dal restringimento, nel senso della lunghezza, della zona di avanzamento del cumulo. In pratica dopo il quarto rivoltamento, quando la biomassa si trova nella zona di scarico, occupa 6,5 metri in lunghezza della corsia, contro i 8 m della zona di carico.

La compressione nel senso della lunghezza del materiale in fase di rivoltamento, viene ottenuto tramite un nastro telescopico a lunghezza variabile.

Quando la rivoltatrice comincia a rivoltare il cumulo presente in una corsia, comincia dalla coda della stessa, ed il nastro telescopico preposto alla traslazione del materiale determina una traslazione effettiva di 6,5 m.

Mano a mano che la rivoltatrice procede e si avvicina alla testa della corsia, il nastro telescopico si allunga fino a raggiungere la massima lunghezza quando raggiunge la zona di carico.

Questo accorgimento permette di accorciare la lunghezza della corsia di qualche metro (2-3), ma soprattutto, ci permette maggiore flessibilità, in quanto l'altezza di progetto dell'ultima sezione di corsia di 2,1 m, può essere notevolmente aumentata (fino ai 2,5 m iniziali), determinando, di fatto, un aumento di potenzialità dell'impianto.

- *Linea biostabilizzato*

Un discorso analogo può essere fatto per le corsie utilizzate per la produzione di biostabilizzato.

Di seguito si riportano i dati di input e output relativi alla sezione utilizzata per la produzione di tale prodotto (tab. 11).

Dai dati riportati si può notare come in quattro giorni si riescano a riempire 9 corsie.

Poiché dal punto di vista gestionale si opererà per 6 giorni alla settimana, le operazioni di carico e scarico delle corsie previste nei giorni festivi, verranno di volta in volta posticipate al giorno successivo.

Di conseguenza con 5 rivoltamenti, uno ogni quattro/cinque giorni, si riuscirà a percorrere i 35,7 m di lunghezza della corsia e a raggiungere, in 20 giorni, la zona di scarico. Lo scarico della corsia avverrà il 21esimo giorno.

LINEA BIOSTABILIZZATO

Parametri	Unità di misura	Sezione di biossificazione
Portata ponderale in ingresso	t/anno	33.174
Densità apparente in ingresso	t/m ³	0,632
Portata volumetrica in ingresso	mc/anno	52.491
Portata ponderale in uscita	t/anno	24217
Densità apparente in uscita	t/m ³	0,58
Portata volumetrica in uscita	m ³ /anno	41.753
giorni lavorativi/anno	giorni	300
Portata ponderale giornaliera in ingresso	t/giorno	110,6
Portata volumetrica giornaliera in ingresso	m ³ /giorno	175
Portata ponderale giornaliera in uscita	t/giorno	80,7
Portata volumetrica giornaliera in uscita	m ³ /giorno	139,2
Dimensioni corsia teorica	Unità di misura	Sezione di biossificazione
Numero corsie teoriche	-	9
Larghezza corsie teoriche	m	3,5
Lunghezza corsie teoriche	m	35,7
Altezza del cumulo in ingresso	m	2,5
Sezione cumulo in ingresso	m ²	8,75
Lunghezza zona di carico	m	8
Volume zona di carico	m ³	70,0
Massa in zona di carico	t	44,2
Altezza del cumulo in uscita	m	2,34
Sezione cumulo in uscita	m ²	8,19
Lunghezza zona di scarico	m	6,8
Volume zona di scarico	m ³	55,7
Massa in zona di scarico	t	32,3
Numero cicli/anno	-	17,38
Numero rovesciamenti per scarico corsia	-	5
Frequenza rovesciamenti	giorni	4 - 5
Tempo di permanenza	giorni	35

Programma gestionale carico/scarico corsie
 Tabella 11: dati di input e output relativi alla sezione utilizzata per la produzione di Biostabilizzato, e specifiche di ciascuna corsia teorica.
 Viene anche riportato il programma di carico e scarico delle corsie, evidenziando le operazioni da svolgere giornalmente affinché il processo proceda nelle migliori condizioni possibili e la gestione dell'impianto risulti ottimale.

Poiché la durata della fase di biossificazione è differente per i processi di produzione di Compost di Qualità (35 giorni) e di Biostabilizzato (21 giorni), la compilazione dello schema gestionale è stata effettuata considerando 105 giorni.

Tale periodo determina un numero di tre cicli di lavorazione per la produzione di Compost di Qualità (35x3=105) e cinque cicli di lavorazione per la produzione di biostabilizzato (21x5=105), trascorsi i quali lo schema gestionale viene ripetuto.

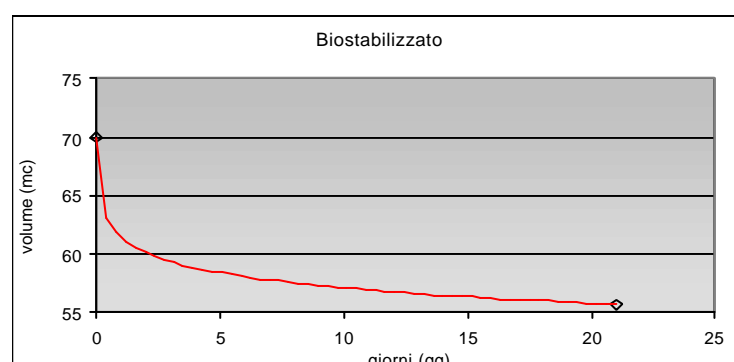
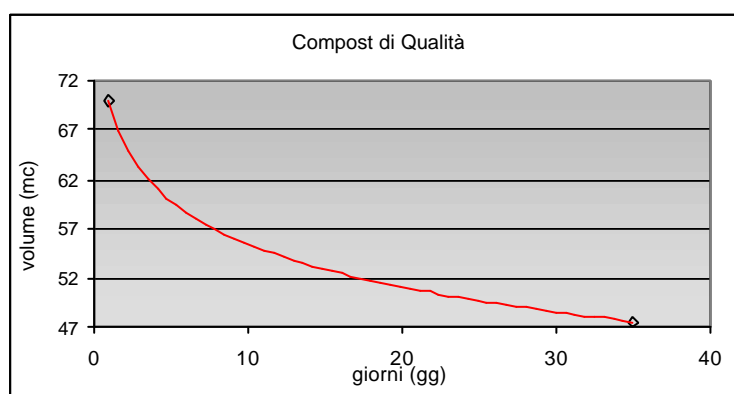
La scelta di programmare uno schema gestionale considerando 105 giorni, si è resa necessaria per analizzare tutte le possibili situazioni che si possono presentare con l'impianto in attività ed evitare quindi problematiche, principalmente legate al sovraccarico di lavoro per la macchina rovesciatrice, che, inevitabilmente, causerebbero una revisione della gestione del processo in fase di avviamento dell'impianto.

Nelle tabelle che seguono viene riportata la suddivisione della lunghezza della corsia, l'altezza, la larghezza e il volume del cumulo in funzione dell'avanzamento del processo di biossidazione, relativamente alla Linea di produzione del Compost di Qualità e di Biostabilizzato.

I calcoli sono stati effettuati considerando una diminuzione di volume del cumulo di tipo logaritmico, che, come si può notare dai grafici sotto riportati, tiene conto della maggiore perdita di acqua nelle prime fasi del processo.

LINEA COMPOST DI QUALITA'					
	lunghezza cumulo (m)	giorni	larghezza cumulo (m)	volume cumulo (m ³)	altezza cumulo (h)
carico corsia	8	0	3,5	70,0	2,5
dopo 1° rivoltamento	7,3	7	3,5	61,0	2,4
dopo 2° rivoltamento	7,1	14	3,5	57,8	2,3
dopo 3° rivoltamento	6,8	21	3,5	55,9	2,3
dopo 4° rivoltamento	6,5	28	3,5	47,7	2,1
scarico corsia		35			
	35,7	35			

LINEA BIOSTABILIZZATO					
	lunghezza cumulo (m)	giorni	larghezza cumulo (m)	Volume cumulo (mc)	Altezza cumulo (h)
carico corsia	8	0	3,5	70,0	2,5
dopo 1° rivoltamento	7,1	4	3,5	58,8	2,4
dopo 2° rivoltamento	6,9	8	3,5	57,5	2,4
dopo 3° rivoltamento	6,9	12	3,5	56,7	2,3
dopo 4° rivoltamento	6,8	16	3,5	55,7	2,3
scarico corsia		21			
	35,7	21			



Le correnti in uscita dall'area di prima maturazione sono la 7, la 8 e la 9 che avranno le seguenti caratteristiche:

CORRENTE N°7	U.d.M.	MIX (Linea Compost di Qualità)
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	t/anno	13.482
Portata volumetrica annua	mc/anno	23.862
Portata ponderale giornaliera	t/giorno	44,9
Portata volumetrica giornaliera	mc/giorno	79,5
Umidità	%	-
Densità apparente	t/mc	0,565

4.5.4

CORRENTE N°8	U.d.M.	Percolato
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	t/anno	3.617
Portata volumetrica annua	mc/anno	3.617
Portata ponderale giornaliera	t/giorno	9,9
Portata volumetrica giornaliera	mc/giorno	9,9
Umidità	%	100%
Densità apparente	t/mc	1

4.5.5

CORRENTE N°9	U.d.M.	BIOSTABILIZZATO
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	t/anno	24.217
Portata volumetrica annua	mc/anno	41.753
Portata ponderale giornaliera	t/giorno	80,7
Portata volumetrica giornaliera	mc/giorno	139,2
Umidità	%	-
Densità apparente	t/mc	0,58

4.5.6 4.3.4 – AREA DI SECONDA MATURAZIONE

All'uscita dalla zona di bioossidazione accelerata, il materiale viene portato tramite nastro all'area di maturazione finale. La sezione è posizionata sotto una tettoia coperta dalle dimensioni di 90,4 m per 50 m, ed un'altezza di 5,5 m, per una superficie coperta di 4.520 m², ed una volumetria di 24.860 m³.

In questa zona il biostabilizzato verrà caricato su camion e conferito agli utilizzatori. La produzione di biostabilizzato annuale (su base di calcolo di 34200 t/anno) è di 24217 t, pari a circa il 75% in peso della massa iniziale, e di 41753 m³ pari all' 88% del volume iniziale.

Il materiale destinato alla produzione di Compost di Qualità subisce, in questa area, la maturazione finale, per un periodo di 55 giorni in cumuli trapezoidali dell'altezza di metri 2,2, larghezza di 6 metri e lunghezza di 37 metri.

La tettoia è suddivisa in 4 aree di 45 m ca. di lunghezza e 25 m circa di larghezza in cui il materiale in uscita dalla bioossidazione viene sistemato in cumuli che si sviluppano nel senso della lunghezza di questi quattro settori.

Più precisamente tre settori saranno destinati al processo di seconda maturazione indispensabile per la produzione di Compost di Qualità, mentre un settore sarà utilizzato per le operazioni di carico ed, eventualmente, di stoccaggio del biostabilizzato prima di essere avviato agli utilizzatori finali.

Ogni settore ospita 4 cumuli, per un totale di 12 cumuli destinati alla seconda maturazione del Compost di Qualità.

Ogni cumulo ha un volume di 310,3 m³ e, poiché il materiale vi sosta 55 giorni, sono previsti 6,6 cicli all'anno.

In questa zona il materiale subisce la fase di maturazione caratterizzata da una scarsa attività batterica, e da un limitato consumo di ossigeno; essa è caratterizzata dall'assenza di odori molesti e da una limitata formazione di percolato.

I rivoltamenti della biomassa, sono effettuati tramite rivoltatrice semovente, che opera la traslazione una volta in un senso e la successiva in senso opposto annullando l'effetto di traslazione precedente.

Questa rivoltatrice non è automatica ma prevede l'impiego di personale e, nonostante non vi siano condizioni di rischio per gli operatori, la cabina di comando sarà pressurizzata ed aerata artificialmente.

La tettoia è dotata, in corrispondenza dei due lati lunghi, di un sistema di teli avvolgibili in PVC, che vengono srotolati fino all'altezza del muretto di contenimento. In questo modo si crea un effetto tunnel, che tramite aspirazione centralizzata, permette di non disperdere polveri ed odori durante il periodo del rivoltamento.

Di seguito vengono riportati i parametri di dimensionamento della tettoia.

PARAMETRI	U.d.	Sez. di
Input/anno	m ³	23.862
Input/giorno	m ³	79,5
Input/anno	t	13.482
Input/giorno	t	44,9
Output/anno	m ³	14.509
Output/giorno	m ³	48,4
Output/anno	t	7.980

Output/giorno	t	26,6
Tempo di	g	55
Numero	-	6,6
Massimo	m	3.615
Massima	t	2.043
CUMULI		
Numero cumuli	-	12
Lunghezza	m	37
Larghezza	m	6
Altezza cumulo	m	2,2
Pendenza lato	°	44
Volume cumulo	m	301,3
Volume totale	m	3.615

4.3.5 – Area di vagliatura finale e stoccaggio

Dopo 55 giorni di maturazione, il materiale viene movimentato tramite pala gommata dalla sezione di maturazione alla tettoia di raffinazione e stoccaggio.

La sezione dedicata alla raffinazione finale e allo stoccaggio del compost di qualità è realizzata sotto tettoia già esistente. Tale tettoia ha dimensioni di 38 m per 40,9 m, e altezza pari a 4,5 m; la superficie risulta essere di 1555 m², e la volumetria di 6.994 m³ (edificio F). La tettoia verrà, in parte, tamponata lateralmente per evitare la dispersione di eventuali polveri nell'ambiente.

Il materiale viene successivamente avviato alla raffinazione tramite vaglio rotante dotato di doppia rete (fig. 9), una con maglie da 60 mm deputata al recupero e successivo ricircolo degli scarti legnosi più grossolani, la seconda con maglie da 10 mm. deputata alla raffinazione finale, e seguita da un deplastificatore avente la funzione di eliminare gli eventuali residui di materiale plastico, in modo da ottenere una tipologia di prodotto da commercializzare conforme a quanto dettato dalla vigente normativa.

Il compost di qualità in uscita dal deplastificatore viene stoccato in cumuli, nella sezione di tettoia non coinvolta nelle operazioni di raffinazione. Tale superficie utile è stimata essere di circa 550 m².

Gli input e gli output di questa sezione sono riportati di seguito:

INPUT RAFFINAZIONE	m ³ /anno	t/anno	m ³ /giorno	t/giorno
Compost grezzo	4.509	7.980	48,4	26,6
OUTPUT RAFFINAZIONE				
Compost di qualità	10.364	5.700	34,5	19
Legno da ricircolare	3.990	1.596	13,3	5,3
Sovvallo (mat. plastiche)	3.420	684	11.04	2,3

Si nota che la somma degli output espressi in volume è superiore a quella in input per quanto riguarda le portate volumetriche. Ciò è determinato dal fatto che fino a che i pezzi di legno ingombranti sono frammisti al compost, questo si inserisce negli interstizi che questi formano. Questo fenomeno determina quindi un apparente aumento di volume delle masse in uscita dalla raffinazione,

mentre, ovviamente non variano le quantità. L'operazione di raffinazione, riduce la corrente entrante di compost del 28%.

Di seguito viene invece dimensionato lo stoccaggio del compost raffinato.

INPUT SEZIONE STOCCAGGIO	m ³ /anno	t/anno	m ³ /giorno	t/giorno
Compost di qualità	10.364	5.700	34,5	19

Superficie disponibile	m ²	550
Altezza media cumuli	m	3
Volume disponibile	m ³	1.650
Input/giorno	m ³	34,5
Stoccaggio	giorni	48

L'operazione di raffinazione riduce la corrente entrante del 28%, in peso. In virtù di quanto detto le correnti 10, 11, 12, 13 e 14 sono così caratterizzate:

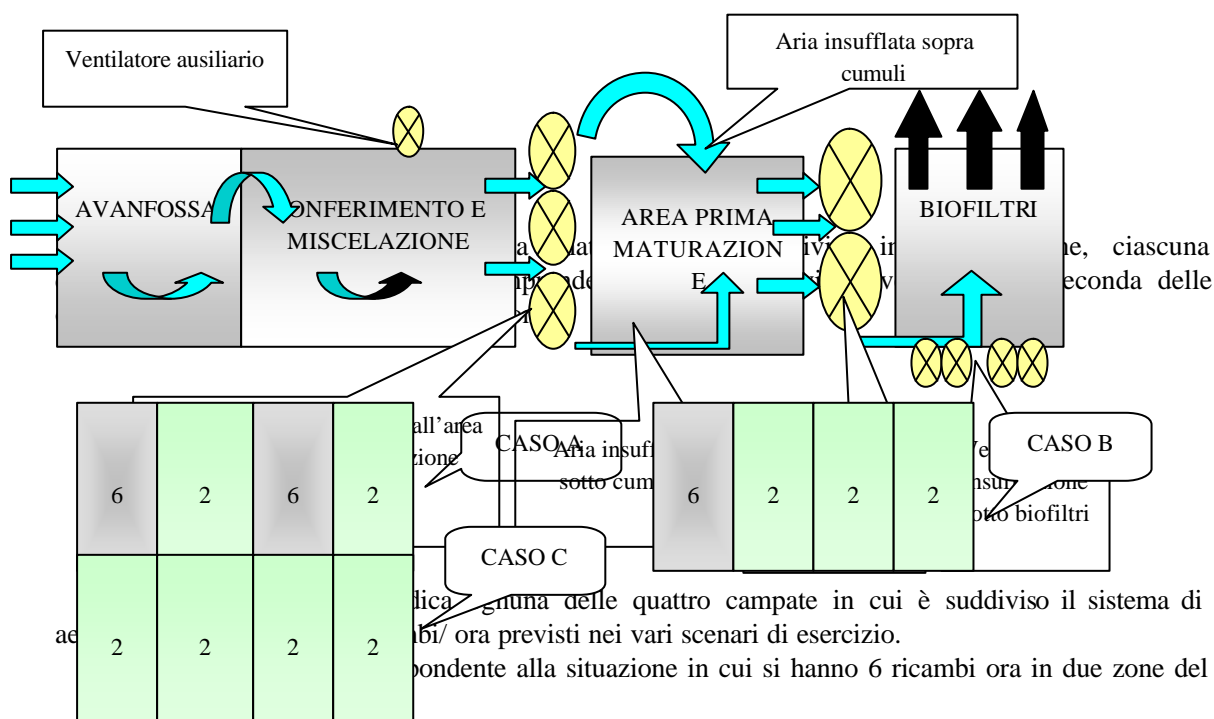
CORRENTE N°10	U.d.M.	Percolato
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	t/anno	454
Portata volumetrica annua	mc/anno	454
Portata ponderale giornaliera	t/giorno	1,2
Portata volumetrica giornaliera	mc/giorno	1,2
Umidità	%	100%
Densità apparente	t/mc	1
CORRENTE N°11	U.d.M.	Compost Grezzo
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	t/anno	7.980
Portata volumetrica annua	mc/anno	14.509
Portata ponderale giornaliera	t/giorno	26,6
Portata volumetrica giornaliera	mc/giorno	48,4
Umidità	%	-
Densità apparente	t/mc	0,55
CORRENTE N°12	U.d.M.	Compost di Qualità
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	t/anno	5.700
Portata volumetrica annua	mc/anno	10.364
Portata ponderale giornaliera	t/giorno	19,0
Portata volumetrica giornaliera	mc/giorno	34,5
Umidità	%	-
Densità apparente	t/mc	0,55
CORRENTE N°13	U.d.M.	Sovvallo (Riciclo)
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	t/anno	1.596
Portata volumetrica annua	mc/anno	3.990
Portata ponderale giornaliera	t/giorno	5,3
Portata volumetrica giornaliera	mc/giorno	13,3

Umidità	%	-
Densità apparente	t/mc	0,4
CORRENTE N°14	U.d.M.	Sovvallo (Mat. Plastiche)
Composizione ponderale	%	100%
Portata ponderale annua	t/anno	684
Portata volumetrica annua	mc/anno	3.420
Portata ponderale giornaliera	t/giorno	2,3
Portata volumetrica giornaliera	mc/giorno	11,4
Umidità	%	-
Densità apparente	t/mc	0,2

La produzione di compost raffinato annuale (su base di calcolo di 22800 t/anno) è di 5.700 t, pari a circa il 25% in peso della massa iniziale, e di 10.364 m³ pari al 29% del volume iniziale. Il compost raffinato ottenuto viene stoccato in attesa di essere conferito all'utilizzatore.

4.3.6 – Trattamento emissioni gassose: sistema di ventilazione

E' previsto un sistema di aerazione forzata per il mantenimento in depressione delle aree soggette alla presenza di sostanze odorogene, e per i ricambi d'aria previsti dalla normativa in queste zone, sia per una buona conduzione del processo, che per la salute del personale. Come già anticipato esso riguarderà principalmente l'avanfossa di scarico dei camion, la zona di miscelazione, e l'area di prima maturazione. Sono previsti tre differenti regimi di aerazione a seconda delle fasi di processo e delle necessità di intervento per manutenzione ordinaria o straordinaria. Il sistema è schematizzabile come segue:



capannone, poiché in una è previsto il funzionamento della rivoltatrice, mentre nell'altra c'è una squadra che opera la manutenzione. Questa situazione è senza dubbio una situazione eccezionale, e corrisponde ad una media di 4 ricambi/ora, con un volume di aria aspirata ed inviata ai biofiltri di ben 85.000 Nm³/h. Con una specifica di questo genere si raggiungono 28 ricambi/h nell'avanfossa, e 12 ricambi/h nella zona di conferimento e miscelazione.

B. Il caso B corrisponde alla situazione in cui si hanno 6 ricambi/h nella zona di lavoro della rivoltatrice, e 2 ricambi/ora nelle altre tre sezioni. In questo modo si hanno mediamente in tutto il capannone di prima maturazione 3 ricambi/h. Questa è una situazione che si verificherà in tutti i giorni lavorativi, per un intervallo di 3 o 4 ore/giorno. Con questa specifica i ventilatori aspireranno ed invieranno ai biofiltri un volume d'aria pari a 63.750 Nm³/h. Con questa aspirazione si hanno nell'avanfossa 21 ricambi/h, e nella zona di miscelazione 9 ricambi/h.

C. Il caso C corrisponde alla situazione in cui non ci sono interventi nè della rivoltatrice, nè del personale nell'area di prima maturazione, per cui sono previsti 2 ricambi/h in tutte e quattro le sezioni del capannone. Con questa specifica i ventilatori aspireranno ed invieranno ai biofiltri un volume d'aria pari a 42.500 Nm³/h, che corrispondono a 14 ricambi/h nell'avanfossa e 6 ricambi/h nella zona di miscelazione. Questa situazione sarà la più frequente in quanto si verificherà per circa 20 h/giorno.

Il sistema di aerazione, permette di avere un notevole numero di ricambi/h nella zona di conferimento, anche nella situazione peggiore. I 28 ricambi/h previsti al massimo regime, potrebbero anche risultare eccessivi e creare delle depressioni e turbolenze con sollevamento di polveri, per cui si è presa in considerazione la possibilità di insufflare nell'edificio di prima maturazione dove avviene la bioossidazione, aria proveniente dall'esterno, riducendo così i ricambi nell'avanfossa, e migliorando la qualità dell'aria insufflata.

Come già detto i ricambi d'aria hanno un duplice scopo: mantenere una situazione sostenibile per il personale addetto, e favorire l'ossigenazione della biomassa.

A questo proposito, si prevede di modulare la quantità d'aria insufflata nella biomassa a seconda delle esigenze durante il corso della reazione.

L'aria insufflata nella zona di bioossidazione, sarà divisa in due porzioni. Una frazione costante verrà insufflata direttamente sotto al cumulo, mentre l'altra sarà modulata, a seconda delle tre situazioni sopra indicate, fino a raggiungere il numero di ricambi prestabiliti.

Durante il percorso nella corsia, la biomassa necessita di una quantità d'aria diversa a seconda del grado di attività dei microorganismi, quindi un maggior apporto nella parte iniziale, e minore in quella terminale.

In particolare la corsia di 40 m è stata suddivisa in tre zone:

- una prima di 10m, in cui è prevista una insufflazione pari a 30 Nm³/t S.V.*h (normal metri cubi per tonnellata di sostanza volatile per ora). Questa specifica corrisponde ad insufflare complessivamente nei primi 10 m delle 20 corsie 10.000 Nm³/h
- una seconda di 15 m, in cui è prevista un'insufflazione pari a 25 Nm³/t S.V.*h,

corrispondente ad un volume d'aria totale da immettere nella biomassa pari a $8.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$

➤ una terza anch'essa di 15 m, in cui è prevista un'insufflazione pari a $20 \text{ Nm}^3/\text{t S.V.} \cdot \text{h}$, corrispondente ad un volume d'aria pari a $6.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

La frazione totale di aria da immettere sotto cumulo è quindi di circa $24.000\text{-}25.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$, e non varia nel tempo. La suddivisione delle portate alle tre zone sarà regolata da un sistema di valvole. La rimanente frazione per arrivare ai volumi corrispondenti alle situazioni A, B, C, sarà immessa sopra cumulo.

Per realizzare questo sistema di aerazione sono previsti tre set di ventilatori:

1. Un set di ventilatori adibito all'aspirazione dell'aria dalla zona di conferimento e miscelazione, e all'insufflazione nell'area di prima maturazione. Tale set sarà suddiviso in 2 gruppi di ventilatori, ciascuno adibito a servire rispettivamente l'aria sottocumulo, e sopra cumulo. L'aria sottocumulo, per una portata complessiva di $24.000\text{-}25.000 \text{ m}^3/\text{h}$, verrà insufflata permanentemente tramite tre ventilatori (più uno di riserva) da $8500 \text{ m}^3/\text{h}$. Il frazionamento è reso indispensabile per motivi di distribuzione dei flussi. Il secondo set, per servire aria sopra cumulo, è composto da due ventilatori per una portata complessiva massima di $60.000 \text{ m}^3/\text{h}$, ma in grado di lavorare a diverse velocità per realizzare alternativamente le tre situazioni di esercizio indicate sopra (A; B; C).

2. Un secondo set di quattro ventilatori (per una portata complessiva massima di $85.000 \text{ m}^3/\text{h}$), ciascuno in aspirazione da una delle quattro aree in cui è stato suddiviso il capannone di prima maturazione. Tale suddivisione permette di gestire il numero di ricambi/h desiderati nelle varie sezioni, in concomitanza con la gestione del flusso d'aria immessa.

3. Un terzo set di quattro ventilatori (dalla portata massima di $85.000 \text{ m}^3/\text{h}$) che insufflano l'aria sotto al letto dei biofiltri.

Con questi tre set di ventilatori ci sarà la possibilità di gestire tutte le situazioni previste, ed anche situazioni di emergenza, considerato che il sistema è dimensionato per condizioni di esercizio massime (4 ricambi/h nell'area di prima maturazione), ma in caso di rottura od inefficienza di alcuni ventilatori si garantirà comunque una ventilazione paragonabile a quella di condizioni normali minime (2 ricambi/h nell'area di prima maturazione).

Infine è previsto un ulteriore ventilatore che aspira l'aria esterna, la invia nella zona di miscelazione, e che entra in funzione solo quando il personale deve accedere in quest'area per fare la manutenzione, aumentando notevolmente il numero di ricambi, e migliorando la qualità dell'ambiente.

Il sistema di ventilazione prevede inoltre la possibilità di effettuare una miscelazione e quindi un ricircolo, tra aria proveniente dalla bioossidazione ed aria proveniente dai locali di conferimento, stoccaggio e miscelazione, in modo tale che quando la temperatura esterna scende a valori molto bassi (ad esempio in inverno), è possibile insufflare al di sotto dei cumuli nelle corsie aria preriscaldata ed evitare quindi fenomeni anche solo locali di quenching degli strati inferiori delle masse in fase attiva. In estate quando invece si ha necessità di masse di aria il più possibile "fredda", si

evita la miscelazione delle due correnti, ed invece si può usufruire di ulteriore aria proveniente direttamente dall'esterno, grazie a delle prese posizionate sui due collettori da cui aspirano i ventilatori a servizio delle corsie di biossidazione.

4.3.7 – Biofiltri

I biofiltri (fig. 10) a servizio dell'impianto saranno 4, ciascuno di dimensioni di 10 m di larghezza per 21 m di lunghezza, con una superficie di circa 210 m², per una superficie totale di 850 m². Sono realizzati in muratura e coperti con una tettoia molto leggera che ha il solo scopo di impedire all'acqua piovana di bagnare eccessivamente il letto filtrante durante gli eventi meteorici.

Le arie esauste prima di giungere ai biofiltri, attraversano un sistema di umidificazione (comunemente chiamato scrubber, fig. 11) che ha il duplice scopo di abbattere le polveri ed il materiale sospeso eventualmente presente, ma anche di saturare l'aria di umidità, in modo tale realizzare le migliori condizioni possibili di efficienza del biofiltro. In questo caso è previsto il ricircolo delle acque utilizzate per l'umidificazione, con il ripristino delle quote consumate tramite acque di acquedotto presenti in un pozzo apposito adiacente lo scrubber. La quota parte di fanghi che si verranno a formare sul fondo dello scrubber verrà rimossa manualmente a seconda delle necessità.

Di seguito, per comodità, si riportano le principali caratteristiche dei biofiltri.

L'emissione, sia per la geometria della copertura che per la vicinanza dei biofiltri, è assimilabile a quella di un'area estesa, piuttosto che a quella di una sorgente puntiforme.

Il riempimento sarà costituito per l'80% da cortecce finemente triturate, e per il 20% da compost e/o torbe, così da ottenere un adeguato tenore di carbonio organico (>60%) ed un'adeguata porosità del materiale, che deve limitare le perdite di carico dei flussi gassosi da trattare.

Il letto sarà alto 1.2 m, ed il volume totale del letto filtrante sarà di 1020 m³. Le portate dei flussi da trattare variano da un minimo di 42.500 Nm³/h, ad un massimo di 85.000 Nm³/h.

Il dimensionamento è stato ovviamente fatto sulla massima portata, prevista peraltro solo in occasione di contemporanea presenza di rivoltatrice in azione e squadra di manutenzione all'interno dell'area di prima maturazione, portando ad un netto sovradimensionamento dei biofiltri in tutte le altre situazioni lavorative.

Assumendo le condizioni standard di temperatura e pressione per il gas in ingresso ai biofiltri (questa assunzione oltre ad essere realistica, semplifica i calcoli), si può calcolare la portata specifica sia per unità di volume che di superficie.

➤ Portata specifica per unità di volume: $85000 / 1020 = 83,33 \text{ Nmc/h} \cdot \text{m}^3$

➤ Portata specifica per unità di superficie: $85.000 / 850 = 100 \text{ Nmc/h} \cdot \text{m}^2$

Se assumiamo le condizioni standard la portata specifica ha le dimensioni di una velocità, cioè la velocità media con cui il gas attraversa il letto filtrante.

La velocità di 100 m/h, corrisponde, fatte le dovute equivalenze, ad una velocità di 0,027 m/sec, e poiché il letto filtrante ha un'altezza di 1,2 m:

➤ Tempo di contatto = $1,2 / 0,027 = 43,2 \text{ sec.}$

Il tempo di contatto, anche nella situazione peggiore è nettamente superiore a quello previsto dalla normativa, con un sovradimensionamento del 24 %.

Quando invece ci troviamo in condizioni di regime, per cui sono previsti mediamente 2 (42500

Nm³/h) ricambi/h, o 3 (63.750 Nm³/h) ricambi /h nell'edificio dove avviene la biossidazione, i tempi di contatto aumentano notevolmente arrivando a 57,6 sec con 3 ricambi/h, e a 86,4 sec con 2 ricambi/h.

Il notevole sovradimensionamento, al fine di combinare le esigenze di processo con quelle ambientali, testimonia una grande attenzione verso la minimizzazione dei possibili impatti ambientali per emissione di odori ed altri inquinanti.

Di seguito sono riportate le caratteristiche tecniche e le specifiche di funzionamento del biofiltro.

Portata aria in ingresso (normalizzata)	42.500 – 85.000 Nm ³ /h
Superficie filtrante	840 m ²
Altezza letto filtrante	1,2 m
Volume filtrante	1008 m ³
Portata specifica per unità di volume	84,3 Nm ³ / m ³ *h
Portata specifica per unità di superficie	101,2 Nm ³ / m ² *h
Velocità di attraversamento	0,028 m*/sec
Tempo di contatto	43* sec
Temperatura	15 –35 °C
pH	6 – 8
Perdite di carico	0.1 –10 KPa

Tali velocità e tempi di contatto sono riferiti ai volumi normalizzati. In condizioni di temperatura di 45 °C (massima temperatura prevista di progetto), gli 85.000 Nm³

Quindi le condizioni operative ottimali sono:

- Contenuto di umidità nel mezzo filtrante del 50-65% (peso umido). Il livello di umidità nel biofiltro è il più importante parametro gestionale, poiché i microorganismi sono in grado di assorbire le sostanze alimentari solo nella fase acquosa. Livelli di umidità bassa provocano la deattivazione dei micro-organismi, la contrazione ed il collasso del mezzo di riempimento; un livello di umidità eccessivo provoca invece elevate contro pressioni e bassi tempi di ritenzione del gas dovuto al riempimento da parte dell'acqua degli interstizi porosi, problemi di trasporto di massa (soprattutto ossigeno) dovuti alla ridotta interfaccia gas-liquido per unità di volume del biofilm, creazione di zone anaerobiche, produzione di percolato a basso pH ed alto carico che richiede smaltimento;

- Valori di pH intorno a 6-8. I biofiltri che trattano arie contenenti composti la cui degradazione produce acidi (nel nostro caso abbiamo solfuri e acido solfidrico che portano alla

formazione di acido solforico, inoltre ammoniacale e composti azotati che portano ad acido nitrico), devono avere una adeguata capacità tamponante;

- Temperatura compresa tra i 15-35 °C, con una temperatura ideale per i microorganismi aerobi di 35 °C. Temperature non ottimali rallentano le reazioni di degradazione;
- Assenza di composti tossici per i micro-organismi.

I biofiltri progettati a servizio dell'impianto di compostaggio in oggetto rispondono a tutti i requisiti sopra menzionati, e sono in linea con quanto riportato dai Criteri generali elaborati dal Comitato Regionale Inquinamento Atmosferico Emilia-Romagna (CRIAER).

I biofiltri progettati, devono, come già detto sopra, trattare una portata massima di aria valutata in circa 85.000 Nm³/h. I biofiltri presentano una superficie utile di filtrazione complessiva di 840 m², e, pertanto, sono in grado di garantire una adeguata portata specifica (101,2 m³/m²*h).

Per quanto riguarda il mantenimento dei valori ottimali di umidità del letto filtrante, è stato previsto un doppio sistema di umidificazione:

- Il primo agente sull'effluente gassoso in arrivo ai biofiltri, costituito dallo scrubber (umidificatore a pioggia), all'interno del quale si persegue il duplice fine di abbattere le polveri sospese, e di aumentare l'umidità relativa dell'effluente gassoso fino a valori prossimi alla saturazione, in modo da evitare che tali arie, attraversandolo essicchino il letto. Inoltre poiché il letto si trova ad una temperatura leggermente inferiore rispetto all'effluente gassoso in ingresso, questo attraversandolo si raffredda rilasciando gradualmente acqua che permette di ripristinare e contrastare il fenomeno di evaporazione sulla superficie del letto. Per quanto detto, risulta che fenomeni di essiccamento del letto, sono da attendersi in particolar modo sulla superficie esposta del biofiltro.

- Il secondo agisce sulla superficie del biofiltro tramite un sistema di spruzzatori posizionati agli angoli del biofiltro ed in grado di coprire col proprio getto l'intera superficie, garantendo quindi anche l'umidificazione della superficie, e, qualora non fosse sufficiente il sistema di umidificazione sulle arie in ingresso, di mantenere comunque una adeguata umidità del letto filtrante.

Per rendere operativi ed efficienti i biofiltri bisogna mantenere costanti i parametri per i quali è previsto un monitoraggio in continuo, tra cui umidità, temperatura, pH e perdite di carico del letto biofiltrante. Inoltre è importante misurare altri parametri, legati al funzionamento e all'efficacia di abbattimento dei biofiltri, come le unità odorimetriche (OU). polveri, NH₃, H₂S, ecc.. in modo da

determinare il rispetto dei limiti di legge. Infatti viene prescritto il rispetto del flusso di massa, con una portata massima di 85000 Nm³/h, delle seguenti concentrazioni in emissione dai biofiltri:

Parametro	Portata	Concentrazione
NH ₃	85000 Nm ³ /h	9 mg/Nm ³
H ₂ S	85000 Nm ³ /h	0,5 mg/Nm ³
polveri	85000 Nm ³ /h	5 mg/Nm ³
T.O.C.	85000 Nm ³ /h	30 mg/Nm ³

Si prescrive inoltre il rispetto del limite per le unità odorimetriche pari a 200 OU/Nm³.

Inoltre sono previsti degli autocontrolli che l'azienda è tenuta ad effettuare secondo le metodiche UNICHIM dei suddetti inquinanti con le cadenze temporali di seguito riportate:

Parametro	Periodicità	Metodica
NH ₃	mensile/15 gg	UNICHIM 632
H ₂ S	mensile/15 gg	UNICHIM 634
polveri	mensile/15 gg	UNICHIM 494
T.O.C.	mensile/15 gg	UNICHIM 631
unità odorimetriche	mensile/15 gg	CEN prEN 13725

Il fine di questo monitoraggio in continuo è quello di poter mettere a regime i biofiltri mantenendone la funzionalità e garantendo condizioni operative ottimali.

5 – MATERIALI E METODI

5.1 – Supervisione

Tutti i parametri per cui è prevista la misurazione in continuo (temperatura, umidità, pH, perdite di carico) vengono registrati ed archiviati in un personal computer, presente nell'edificio di supervisione da cui si controlla l'andamento di tutto l'impianto, che riporta anche i valori e gli andamenti dei parametri degli altri edifici.

È possibile avere una registrazione dei dati misurati ogni 2 minuti, oltre che le medie effettuate ogni 6 e 24 ore.

Per quel che riguarda gli altri parametri da determinare sui biofiltri, come le unità odorimetriche (OU), polveri, TOC, NH_3 , H_2S , velocità dei fumi ecc., le determinazioni verranno effettuate mensilmente da un laboratorio specializzato.

5.2 – Temperatura

Per il rilievo in continuo della temperatura dei biofiltri si utilizza una sonda di tipo FlexTop 2201 (fig. 12), che è un trasmettitore a microprocessore 4.20 mA (completamente digitale) per termoresistenze Pt 100 a 2 fili alimentato dal loop di uscita.

Le caratteristiche meccaniche ne consentono l'installazione direttamente nella testa formato "DIN B" dei sensori tramite 2 viti con molla di supporto (sistema bring loaded) che permettono l'impiego anche in ambiente con forti vibrazioni. Il convertitore è costruito in un materiale a base siliconica, che unito al range di temperatura di funzionamento particolarmente ampio ($-40..+85^\circ\text{C}$), rende possibile l'installazione anche in condizioni non standard, dove non è garantita la completa separazione termica tra il trasmettitore ed il processo. Comunque, per quanto concerne i biofiltri, la sonda lavora sempre a temperatura ambiente, in funzione solo delle condizioni climatiche.

Il range di temperatura che bisogna rispettare è compreso tra 15 e 35°C , dal momento che questi valori sono ottimali, almeno dal punto di vista termico, per l'attività degradatoria dei microrganismi aerobi presenti nel letto del biofiltro. Temperature non ottimali rallentano le reazioni di degradazione.

5.3 - Umidità superficiale

La misura in continuo dell'umidità superficiale del biofiltro viene effettuata tramite un trasduttore di umidità. La sonda TS UMD 00 è un trasduttore di umidità con uscita 4-20 mA (corrispondenti allo 0 e al 100% di umidità relativa) per rilevare il valore dell'umidità dell'ambiente in cui è posta.

La sonda (fig. 12), resa solidale con quella per la misura della temperatura, è posta a circa 5 cm di profondità nel letto del biofiltro.

La sonda per il rilievo dell'umidità impiega un sensore polimerico-capacitivo. Il segnale generato dallo stesso viene convertito in una corrente proporzionale al valore di umidità ed inviato allo strumento connesso (ad un PLC prima e poi al pc in supervisione).

Il campo di misura della sonda varia dal 5 al 95% di umidità relativa.

In caso di utilizzo della sonda in ambienti con elevata concentrazione di polvere, bisogna effettuare periodicamente la pulizia del sensore, attraverso aria compressa a bassa pressione o con acqua distillata.

Si è scelto di mantenere il valore di umidità relativa del letto del biofiltro al di sopra del 95%: se l'operatore che lavora in supervisione registra un valore inferiore al 95%, procede con la bagnatura del biofiltro per circa 30-60 minuti.

5.4 – Umidità del letto del biofiltro

Il letto del biofiltro è mantenuto umido grazie sia all'apporto idrico degli spruzzatori, attivati direttamente dalla supervisione, che all'aria satura di umidità proveniente dallo scrubber e che giunge al biofiltro tramite canalette grigliate poste sul fondo dello stesso.

Il livello di umidità del letto non potrà essere monitorato in continuo, in quanto non esistono sistemi adatti al rilevamento di tale parametro all'interno di un mezzo eterogeneo, quale il sistema del letto filtrante. Tali sonde infatti misurerebbero semplicemente l'umidità dell'atmosfera presente negli interstizi, senza fornire valori attendibili dell'umidità effettiva del letto. Per questo motivo si cercherà di trovare una correlazione tra l'umidità relativa in superficie del letto, la cui lettura è immediata dalla supervisione, e l'umidità dello stesso, controllata periodicamente, tramite un programma di campionamenti puntuali.

Il campionamento viene effettuato, per ognuno dei 4 biofiltri, prelevando una quota di materiale a 20 e 50 cm di profondità in 5 punti distinti del letto.

Tutte le quote, per ogni biofiltro, vengono mescolate insieme e poi si procede alla suddivisione manuale, tramite inquartamento, per ottenere un campione rappresentativo da inviare in un laboratorio

per la determinazione dell'umidità. Questa viene determinata ponendo in forno, a 105°C per 45 minuti, una quota del nostro campione. Si estrae il campione dal forno e lo si inserisce all'interno di un essiccatore con gel di silice per 30 minuti, in modo da raffreddarlo senza che riassorba umidità dall'esterno. Si esegue quindi la pesata nel minor tempo possibile e si ripete l'operazione fino a peso costante.

Il valore ottimale di umidità del letto del biofiltro da rispettare è compreso tra 50-65%.

5.5 – pH

Per la misurazione in continuo del pH si è deciso di operare con un pHmetro posizionato direttamente nei pozzetti di raccolta del percolato dei biofiltri, essendo questo una matrice liquida, al contrario del letto del biofiltro che è una matrice solida, in cui è difficile determinare il pH.

Lo strumento utilizzato è un misuratore e regolatore a microprocessore pHREDOX, modello PR 75 P-C (fig. 13), adatto per applicazioni industriali. Il contenitore in formato DIN 96*96, con il collegamento del BNC, occupa uno spazio interno al quadro di 12 cm. Questo ingombro permette la sua installazione in quadri di piccole dimensioni. Il frontale in policarbonato (LEXAN) è a totale tenuta stagna IP 65, in modo che l'elettronica sia protetta dall'umidità, dai vapori e dalle polveri, soprattutto in applicazioni senza porta di protezione.

La calibrazione del sensore di misura (elettrodo) è gestita automaticamente dallo strumento PR 75 P il quale fornisce all'utilizzatore i parametri di qualità dell'elettrodo indicandone lo stato di deterioramento. Gli elettrodi sono di tipo a vetro con gel a ponte salino.

Per evitare deterioramenti precoci degli elettrodi è opportuno effettuarne la pulizia, con H₂O distillata possibilmente, ogni 2-3 giorni, a causa della natura del percolato presente, ricco in sostanza organica (specie acidi umici e fulvici) che può determinare incrostazioni intorno all'elettrodo.

La temperatura di lavoro dello strumento varia da 0 a 50°C, dal momento che lavora in ambiente controllato, e può essere utilizzata per effettuare la correzione della misura del pH, impostando manualmente un valore tipico di temperatura.

La misura del pH viene fatta sull'intera scala tra 0-14 con una risoluzione di 0,01 pH, ricordando sempre che, da limiti di legge, bisogna rientrare in un range compreso di pH 6-8.

L'elettrodo di pH va periodicamente ricalibrato fino a quando, per eccessivo esaurimento, è necessaria la sostituzione. L'operazione di calibrazione viene guidata automaticamente dal PR 75 P che riconosce il valore dello standard di soluzione campione nel quale è immerso l'elettrodo e visualizza un parametro di qualità della sonda (in percentuale).

Per la calibrazione sono necessarie:

- Soluzione tampone a 7 pH ben conservata;
- Soluzione tampone a 4 o 9,22 pH ben conservata;
- H₂O pulita per lavare l'elettrodo.

Una soluzione a pH 4 è sempre da preferire ad una da 9,22 pH: si tratta di un valore di pH molto più stabile nel tempo e meno influenzato dalla temperatura. La procedura di calibrazione è riportata all'interno del manuale istruzioni dello strumento.

Inoltre i biofiltri che trattano arie contenenti composti la cui degradazione produce acidi (nel nostro caso abbiamo solfuri e acido solfidrico che portano alla formazione di acido solforico, in più ammoniaca e composti azotati che portano ad acido nitrico), devono avere una adeguata capacità tamponante, oppure si devono utilizzare delle soluzioni tampone a pH basico. Nel caso specifico, l'acqua (di acquedotto), utilizzata per bagnare i biofiltri, ha un pH pari a 8,3-8,4 e la si può considerare come la nostra soluzione tampone.

5.6 – Perdite di carico

Per la misura in continuo delle perdite di carico si utilizza un trasmettitore di pressione di tipo DMP 343 (fig. 14), utile ed adatto per la misurazione di basse pressioni (con valori spesso nel campo dei 3-10 mbar). È adatto per le misurazioni di pressione dei gas, aria secca e di fluidi puliti e non aggressivi.

Il DMP 343 converte la pressione in un segnale elettrico proporzionale inviandolo ad un PLC che riceve e registra tale valore che viene poi visualizzato sulla schermata del pc presente in supervisione. Gli elementi basilari del trasmettitore di pressione sono i sensori di pressione DSP 201.

Questi sono dei sensori al silicone montati su un supporto di ceramica. A monte e all'interno di questo c'è un filtro che deve essere costantemente pulito e/o sostituito per evitare intasamenti, altrimenti lo strumento non effettua correttamente le misure.

La misura della perdita di carico dovrebbe essere effettuata direttamente sul letto del biofiltro, ma in mancanza di una strumentazione idonea a tale ambiente e a tali misurazioni, si è scelto di determinare le perdite di carico tramite le condotte poste subito a monte dei biofiltri, quelle cioè che trasportano le arie esauste e sature di umidità in uscita dallo scrubber.

Si è praticato un foro circolare a circa 1 m di altezza, per ciascuna delle 4 condotte, ed è stato inserito un tubo in ferro, a forma di "L", con un'apertura rivolta verso l'alto e l'altra, che si trova subito dopo una piccola curva dello stesso, collegata al sensore, in corrispondenza del filtro.

La misurazione in continuo delle perdite di carico ha lo scopo di monitorare la funzionalità del letto filtrante, rispettando i limiti, comunque abbastanza ampi, posti dalla legge (0.1-10 Kpa oppure 1-100 mbar). Questi valori sono utili per capire quella che è la struttura del letto filtrante e per controllare se, dopo l'assestamento dello stesso, vi siano o meno problemi di "effetto muro": letto del biofiltro che si allontana dal muro, a causa degli assestamenti intervenuti dopo un certo periodo di attività degradativa dei microrganismi e di imbibizione del letto stesso; questo effetto è molto importante da controllare dal momento che crea vie preferenziali di uscita per le arie in arrivo dallo scrubber e provenienti dal box di biossidazione.

5.7 – Emissioni

I metodi utilizzati per la misura dei parametri monitorati per il controllo delle emissioni, sono metodi UNICHIM. Per la scelta dei punti di prelievo, le strategie di campionamento e la presentazione e valutazione dei risultati ci si riferirà al manuale M158.

Il campionamento ha previsto l'uso di sistemi di convogliamento e prelievo dell'aria osmogenea per aspirazione diretta del campione in un bag. Tutte le fasi di prelievo sono state effettuate con procedure che rispondono ai requisiti richiesti dalle specifiche comunitarie, pr EN 13725.

Per ottenere un campione che rappresenti l'emissione dell'intera superficie (biofiltro), occorrerebbe ricoprirlo interamente con un telo costituito da materiale inerte all'odore, assicurandosi della mancanza di perdite, ed effettuare il prelievo da un punto del telo, lasciato come unico punto emissivo dell'intera area.

Vista l'impossibilità logistica di effettuare un campionamento di questo tipo, può essere usata per il campionamento, ed il convogliamento dei flussi gassosi, una cappa in acciaio inox (fig. 15), appoggiata direttamente sul letto del biofiltro, a base quadrata e con una superficie di 0,5 m², che convoglia i gas in un tubo circolare del diametro di 0,20 m.

Durante la fase di campionamento sono state effettuate misure accessorie che sono servite per una migliore comprensione dei dati ottenuti. Tale misure vengono effettuate con un'opportuna strumentazione che prevede:

- un anemometro a filo caldo (fig. 16) per la misura della velocità dei fumi e della portata totale della cappa di captazione, utilizzando il metodo UNICHIM M467;
- uno psicrometro (fig. 17) con bulbo umido e secco per la misura della temperatura, umidità relativa e pressione dei fumi, utilizzando il metodo UNICHIM M467;

- un prelievo non in isocinetismo ma a flusso costante, a causa delle basse velocità, per la misura del materiale particellare (polveri), utilizzando il metodo UNICHIMM494;
- un back per analisi in continuo (in metano e non metanici) per la misura del T.O.C., utilizzando il metodo UNICHIM M631;
- un set di 3 gorgogliatori (2 di analisi e 1 di controllo) con H_2SO_4 0,005 N salificato con NH_4^+ , per la misura della concentrazione di NH_3 , utilizzando il metodo UNICHIM M632;
- un set di 3 gorgogliatori (2 di analisi e 1 di controllo) con CdSO_4 , 5 g/l, per la misura della concentrazione di H_2S , utilizzando il metodo UNICHIM M634.

In entrambi i casi l'aria prelevata dalla cappa viene fatta confluire nelle burette per circa 50 minuti (fig. 17).

L'aria osmogena prelevata è stata intrappolata in sacchetti di Nalophan, della capacità di 8 litri. Ad ogni sacchetto era collegato un tubo in Teflon, del diametro di 8 mm che ha permesso il prelievo e successivo collegamento all'olfattometro per l'analisi (fig. 18).

Per evitare errori durante il campionamento, occorre che l'attrezzatura e le modalità di prelievo abbiano determinate caratteristiche, così come indicato dalla norma pr EN 13725:

- il bag di campionamento sia inodore;
- il bag di campionamento sia inerte nei confronti del gas da campionare;
- il materiale del bag di campionamento non si adsorbente;
- il bag di campionamento non sia permeabile dando luogo a perdite diffusive;
- siano evitati fenomeni di condensazione; se il gas possiede umidità superiore al 90% e/o temperatura superiore a 50°C occorre prediluire il campione in ingresso;
- il tempo di stoccaggio del campione nel bag prima dell'analisi con olfattometro non sia superiore alle 30 ore.
- sia evitata l'esposizione del campione alla luce, soprattutto solare, conservandolo in cardboard box per minimizzare le reazioni fitochimiche di degradazione.

Sono state eseguiti 2 campionamenti delle arie osmogene in 2 momenti diversi (agosto e settembre) per poter poi eseguire le analisi olfattometriche.

L'analisi dei campioni è stata condotta servendosi di un olfattometro Mannebeck Mod. TO7 e di un panel costituito da 8 persone adeguatamente testate e certificate secondo normativa europea.

I campioni prelevati sono stati analizzati in un laboratorio olfattometrico di Reggio Emilia, in una camera termostatica appositamente attrezzata per lo scopo e che risponde ai requisiti richiesti dalle specifiche pr EN 13725.

L'apparecchiatura utilizzata è un olfattometro Mannebeck Mod. TO7 munito di 4 postazioni di saggio contemporaneo degli odori.

I test con l'olfattometro sono stati condotti operando con 2 panel di 4 persone ciascuno, selezionate mediante appositi test di sensibilità olfattiva secondo i criteri delle specifiche comunitarie richiamate.

Il metodo si basa sull'identificazione (da parte di questo panel) della cosiddetta "soglia dell'odore", ossia del confine al quale un odore tende ad essere percepito dal 50% dei soggetti che sono stati sottoposti alla prova.

L'olfattometro è lo strumento che permette di diluire il campione di aria odorosa con aria neutra, ossia aria priva di odore. Il numero di diluizioni necessarie a far giungere l'odore alla cosiddetta "soglia dell'odore" è preso come indice della concentrazione dell'odore ed espresso in unità odorimetriche per metro cubo (OU/m³).

Conclude l'indagine olfattometrica l'elaborazione dei risultati con cui si mediano tutti i valori di OU/m³ per singolo panelist ottenendo un valore medio che rappresenta la concentrazione di odore del campione in esame in OU/m³.



Olfattometro Mannebeck Mod. TO7 e panel di 4 persone durante una prova olfattometrica.

6 – RISULTATI

6.1 – Temperatura

Gli andamenti delle temperature dei primi mesi di messa a regime dei biofiltri sono riportati in figura 19.

I valori delle temperature rientrano nel range (15-35°C), variando in funzione delle condizioni climatiche; le temperature medie registrate in questi 3 mesi sono riportate, per ogni biofiltro, nella tabella sottostante.

	biofiltro 1 (°C)	biofiltro 2 (°C)	biofiltro 3 (°C)	biofiltro 4 (°C)
luglio	25,71	25,71	26,48	23,66
agosto	26,52	26,85	28,51	26,03
settembre	26,12	26,28	27,50	24,85

Tab. 12: temperature medie durante i 3 mesi di messa a regime dei 4 biofiltri

Si è notato che le temperature dei biofiltri scendevano di circa 2-3 °C durante l'estate subito dopo la bagnatura degli stessi. Mentre se si confrontano le temperature dell'aria satura in uscita dallo scrubber e quelle dei biofiltri si vede che, nelle giornate soleggiate, la temperatura, passando dallo scrubber ai biofiltri, tende a diminuire di circa 1-2°C; nelle giornate con cielo coperto, invece, la temperatura dei biofiltri è maggiore di 2-3°C rispetto a quella dell'aria in ingresso e proveniente dallo scrubber: questo è dovuto all'attività esotermica dei microrganismi, dimostrando il corretto funzionamento dei biofiltri.

6.2 – Umidità superficiale

Gli andamenti dell'umidità superficiale dei biofiltri, nei primi 3 mesi della loro messa a regime, sono riportati in figura 20.

Come si può notare, inizialmente, nel mese di luglio, il letto dei biofiltri era secco, quindi si è proceduto con la bagnatura giornaliera per circa 30-60 minuti/giorno. Si è proceduto in maniera blanda per raggiungere 2 obiettivi: ottenere un valore di umidità superficiale pari a 95-100% senza però bagnare eccessivamente, evitando di creare condizioni di asfissia per i microrganismi, vie preferenziali per le arie osmogene ed eccessiva lisciviazione dell'acqua (con notevoli quantità di percolato prodotto e da smaltire).

Già da fine luglio si sono sempre registrati valori che rientravano nel range (95-100%) eccezion fatta per il biofiltro 1 in cui si sono sempre registrati valori intorno all'80%; molto

probabilmente questo è dovuto alla posizione della sonda che si trova lungo un muro in cui non arriva molta acqua.

A volte, invece, si sono registrati, per i biofiltri 2 e 3, valori di umidità costantemente intorno al 100%: questo è dovuto al fatto che le sonde sono contenute all'interno di un tubo in ferro, forato alla punta, ed inserito nel letto, nel quale però si forma della condensa ed il trasmettitore di umidità segnala sempre il 100%. Per questo è necessario intervenire ogni tanto, eliminando la condensa asciugando i tubi al sole. Al contrario, le altre hanno le sonde della temperatura e dell'umidità solidali tra loro e poste direttamente nel letto del biofiltro, non mostrando problemi di condensa.

I valori medi di umidità, registrati in questi 3 mesi, sono riportati, per ogni biofiltro, nella tabella sottostante.

	biofiltro 1 (%)	biofiltro 2 (%)	biofiltro 3 (%)	biofiltro 4 (%)
luglio	73,42	94,34	95,03	88,87
agosto	79,86	99,25	97,81	97,68
settembre	79,84	99,46	97,45	96,37

Tab. 13: medie mensili delle umidità superficiali durante i 3 mesi di messa a regime dei 4 biofiltri

Questi valori sono stati utilizzati per trovare una correlazione tra umidità superficiale e umidità del letto del biofiltro, così da intervenire dalla supervisione nel caso si registrino valori bassi di umidità superficiale in modo da mantenere quella del letto intorno al 50-65%: così facendo, anche se indirettamente, si potrà monitorare in continuo anche l'umidità del letto. I risultati della correlazione saranno mostrati più avanti.

6.3 – Umidità del letto del biofiltro

Gli andamenti dell'umidità del letto dei biofiltri, nei primi 3 mesi della loro messa a regime, sono riportati in figura 21 e fanno riferimento alla tabella 14 sottostante, considerando che non si tratta di valori giornalieri, ma settimanali, corrispondenti cioè ai campionamenti e alle analisi di laboratorio relative.

Umidità letto biofiltro lug-sett 2003

campionamento	Biofiltro 1 (%)	Biofiltro 2 (%)	Biofiltro 3 (%)	Biofiltro 4 (%)
14-lug	33,2	11,8	51,0	36,5
24-lug	43,0	30,1	54,3	49,8
31-lug	43,0	49,9	47,0	53,7
07-ago	46,6	53,9	59,3	58,9
13-ago	37,9	57,5	66,3	56,6
18-ago	54,7	64,6	74,3	73,3
21-ago	63,30	67,90	69,70	65,90
02-set	69,50	70,2	54,5	73,7
12-set	64,5	67,0	64,0	64,7
17-set	65,6	68,8	59,3	56,2
23-set	63,70	70,4	58,9	70,10
30-set	65,40	58,3	46,4	62,5

Tab. 14: valori di umidità del letto del biofiltro, determinate in laboratorio tramite essiccazione in forno a 105°C, durante i 3 mesi di messa a regime dei 4 biofiltri

I valori registrati sono molto irregolari: nella fase iniziale, come da attendersi, il valore di umidità del letto dei biofiltri è abbastanza basso (circa 30%) visto che è appena iniziata l'attività di bagnatura dello stesso. È stata prevista una frequenza iniziale di bagnatura di circa 60 minuti; con il passare delle settimane, il letto ha continuato ad assorbire acqua tant'è che sono stati registrati valori elevati di umidità (maggiori del limite superiore di legge pari a 65%) a cavallo tra agosto e settembre. Per tale motivo si è deciso di bagnare il letto del biofiltro per circa 30 minuti al giorno, quando dalla supervisione vengono registrati valori minori di 95% di umidità superficiale per i biofiltri 2, 3 e 4 e 80% per il biofiltro 1. Inoltre, una bagnatura di 30 minuti è considerata sufficiente dal momento che, a partire dalla metà di settembre, le temperature atmosferiche sono calate di circa 3-4°C rispetto ai mesi precedenti.

Si è deciso di prendere, per il biofiltro 1, come valore di riferimento, al di sotto del quale bagnare il letto, l'80% dal momento che, anche se si registrano valori di umidità superficiale pari a circa 80-85%, i valori di umidità del letto sono pari a 63-70%.

La bagnatura del letto per soli 30 minuti al giorno è giustificata dal fatto che i biofiltri vengono ulteriormente bagnati dal basso, tramite canalette grigliate, con aria satura di umidità proveniente dallo scrubber.

Inoltre è stata anche testata l'efficienza degli spruzzini: per ogni biofiltro ce ne sono 3 e riescono a coprire efficacemente tutta la superficie del letto.

6.3.1 – Rapporto di umidità

Per evitare che i continui campionamenti del letto del biofiltro causino, in maniera costante e regolare, dei disturbi alle popolazioni di microrganismi presenti ed anche eccessive spese di analisi, si è cercato di trovare una correlazione tra l'umidità superficiale e quella del letto per ciascun biofiltro.

In questo modo si vede come e quanto varia il valore dell'umidità del letto del biofiltro in funzione dei valori di umidità superficiale: dal momento che i dati a disposizione sono pochi, dopo aver trovato una retta di regressione, con il corrispondente valore di r^2 (coefficiente di determinazione o di regressione), per ciascun biofiltro, per determinare se i valori sono significativi o meno si è utilizzata una funzione statistica nota come momento di correlazione di "Pearson": questa corrisponde al coefficiente di correlazione r .

I risultati di tale studio statistico sono riportati nella figura 22, in cui si nota che sono stati calcolati i valori di r^2 e r per i singoli biofiltri, ma anche i valori delle situazioni medie, e cioè considerando insieme i biofiltri 2, 3 e 4, visto che il biofiltro 1, per le particolari condizioni di umidità superficiale sempre intorno all'80%, verrà considerato a parte.

Considerando insieme i valori dei biofiltri 2, 3 e 4 si nota che c'è una buona correlazione tra i parametri presi in considerazione ($r^2 = 0,70$), e questa è anche abbastanza significativa ($r = 0,89$). Discorso a parte merita il biofiltro 1, in cui i valori di umidità del letto sono veritieri, al contrario di quelli di umidità superficiale; infatti si ha un basso grado di correlazione tra i parametri ($r^2 = 0,31$; $r = 0,55$) a conferma dei valori poco significativi ottenuti.

I dati significativi verranno utilizzati per decidere quando e per quanto tempo bagnare i biofiltri direttamente dalla supervisione, in modo da evitare di ricorrere ancora alle analisi di laboratorio per determinare l'umidità del letto.

6.4 – pH

Sono stati riscontrati problemi di funzionamento dei pHmetri dopo solo 10 giorni dal loro utilizzo. Gli elettrodi analizzati hanno mostrato una banda giallognola nella loro parte alta, sintomo che in un determinato momento si è avuta una scarica galvanica piuttosto elevata. Il tutto dipende da un effetto pila che si crea tra lo strumento e il percolato dei pozzetti. Infatti le particelle presenti nel percolato, prima di giungere nei pozzetti, attraversano vari metri di tubatura; in questo modo vengono spinte sulle pareti delle condotte con una certa velocità, passano attraverso lo scrubber e le condotte che portano direttamente ai biofiltri, quindi vengono eccitate e caricate elettrostaticamente; per cui, una volta nel pozzetto di raccolta del percolato dei biofiltri, si creano correnti galvaniche, che non sono altro che correnti (energia) elettrostatiche. Una volta verificatosi il fenomeno pila, può bastare

anche un piccolo sbalzo di corrente (pochi Ampere) in tutta la rete dell'impianto per determinare la bruciatura (da qui il colore giallognolo) della resistenza dell'elettrodo. Quindi è necessario utilizzare uno strumento con separatore galvanico. In mancanza di tale strumento, il pH è stato determinato, una volta alla settimana, con campionamenti del percolato (da ogni pozzetto di ciascun biofiltro) inviato ad un laboratorio di analisi.

Gli andamenti del pH del letto dei biofiltri, nei primi 3 mesi della loro messa a regime, sono riportati in figura 23: il primo grafico fa riferimento ai primi 10 giorni di luglio quando lo strumento era funzionante, il secondo si riferisce ai valori settimanali da laboratorio.

Si nota come, dopo un periodo iniziale in cui i valori di pH erano maggiori di 8,5, si rientra tranquillamente nel range imposto di 6-8 pH. I valori abbastanza elevati riscontrati all'inizio sono dovuti al fatto che nei pozzetti di raccolta del percolato c'erano grandi quantità di cemento, catrame e pietrisco, rilasciati all'interno dalla ditta che ha effettuato i lavori di messa in opera dell'impianto. Una volta ripuliti tutti e 4 i pozzetti da tali materiali si è notato come il valore del pH è rientrato nel range imposto.

Questo ha confermato le attese, e cioè ci si attendeva un pH sub-acido dal momento che la lettiera è costituita da cortecce di specie arboree appartenenti ai generi *Pinus* e *Picea*, che sono essenze tipiche di ambienti montani e collinari e che danno una lettiera con pH nel campo della sub-acidità; per di più in estate sono stati osservati corpi fruttiferi di *Amanita vaginata* (Bulliard, Fries) Vittadini (fig. 24) che è una specie fungina tipica di lettiere sub-acide di latifoglie e conifere montane. Inoltre i fumi che arrivano ai biofiltri sono di tipo acido.

Il pH dei pozzetti, però, non ha mai valori inferiori a pH 6 e questo è dovuto sia all'attività di degradazione dei microrganismi, che all'utilizzo di acqua, per la bagnatura, con pH pari a 8,3-8,4 che funge da soluzione tampone.

6.5 – Perdite di carico

Gli andamenti delle perdite di carico del letto dei biofiltri, nei primi 3 mesi della loro messa a regime, sono riportati in figura 25. Come si nota, anche per questo parametro, sono stati riscontrati problemi di funzionamento dello strumento di misurazione; infatti nel mese di luglio i valori dei biofiltri 1 e 3 erano al di sotto dei limiti di legge (1-100 mbar) e questo era dovuto al fatto che il dado (a monte del filtro) di collegamento trasmettitore-condotta era pieno di silicone; inoltre questo, essendo anche zigrinato, creava dei vortici nel tubicino del trasmettitore, con conseguente instaurarsi di condizioni di depressione: tutto ciò determinava valori bassi, prossimi a zero.

Dopo la riparazione si nota come i valori rientrano nel range, con valori medi intorno a 67 mbar: questi valori sono bassi per il fatto che i biofiltri sono giovani, con pochi processi degradativi a loro carico e quindi poco impaccati.

Inoltre si nota anche che il biofiltro 4 è quello che mostra i valori più bassi di perdite di carico, e ciò è dovuto ad un altro parametro che influenza queste misure, cioè lo spessore del letto filtrante che, in questo caso specifico è di 110 cm, mentre quello del biofiltro 3 è di 125 cm e quello dei biofiltri 1 e 2 è di 120 cm.

6.6 – Emissioni

Dai risultati delle analisi olfattometriche effettuate sulla superficie dei biofiltri è emerso che (tabb. 15, 16, 17 e 18):

PARAMETRO	Portata	Temperatura	Umidità	Velocità	PTS	H ₂ S	NH ₃	TOC	U.O.
u.d.m.	Nmc/h	°C	%	m/s	mg/Nmc	mg/Nmc	mg/Nmc	mg/Nmc	OU/mc
BIOFILTRO 1	11016	29	93	0,015	1,7	0,07	3,74	10,24	233
BIOFILTRO 2	8807	28,9	90,5	0,012	0,95	0,07	2,74	6,76	158
BIOFILTRO 3	17448	32,5	61	0,028	0,29	0,07	2,76	10,59	577
BIOFILTRO 4	14224	27,6	85,6	0,019	0,42	0,08	2,23	9,47	126

Tab. 15: valori dei parametri misurati nella prima analisi olfattometrica.

	Umidità	Velocità	PTS	H ₂ S	NH ₃	TOC	U.O.	Temperatura	portata
Umidità	1	0,91	0,53	0,02	0,09	0,24	0,83	0,76	0,77
Velocità		1	0,47	0,02	0,07	0,50	0,73	0,58	1,00
PTS			1	0,19	0,77	0,01	0,15	0,11	0,50
H ₂ S				1	0,45	0,01	0,23	0,36	0,00
NH ₃					1	0,07	0,01	0,02	0,12
TOC						1	0,33	0,18	0,56
U.O.							1	0,96	0,55
Temperatura								1	0,36
portata									1

Tab. 16: matrice con i coefficienti di correlazione al quadrato (r^2)

PARAMETRO	Portata	Temperatura	Umidità	Velocità	PTS	H ₂ S	NH ₃	TOC	U.O.
u.d.m.	Nmc/h	°C	%	m/s	mg/Nmc	mg/Nmc	mg/Nmc	mg/Nmc	OU/mc
BIOFILTRO 1	12504	19	94	0,017	0,27	0,07	4,28	10,3	157
BIOFILTRO 2	17356	19	93,5	0,023	1,24	0,07	4,43	16,32	306
BIOFILTRO 3	9967	23	92,1	0,013	0,74	0,07	3,87	8,12	195

BIOFILTRO 4	15556	23	94,7	0,021	0,08	0,07	2,67	9,3	192
-------------	-------	----	------	-------	------	------	------	-----	-----

Tab. 17: valori dei parametri misurati nella seconda analisi olfattometrica.

	Umidità	Velocità	PTS	H ₂ S	NH ₃	TOC	U.O.	Temperatura	Portata
Umidità	1	0,46	0,33	0,00	0,21	0,02	0,02	0,03	0,40
Velocità		0,91	0,04	0,00	0,01	0,57	0,41	0,15	1
PTS		0,68	1	0,00	0,46	0,53	0,74	0,15	0,06
H ₂ S				1	0	0	0	0	0
NH ₃					1	0,29	0,12	0,62	0,01
TOC						1	0,77	0,53	0,61
U.O.							1	0,12	0,47
Temperatura								1	0,1464
Portata									1

Tab. 18: matrice con i coefficienti di correlazione al quadrato (r^2)

✓ le U.O. sono correlate con parametri fisici quali umidità e temperatura e questo è reso evidente dai valori sia dell' R^2 che dall' R di Pearson (fig 26). Infatti si nota che, nel caso di correlazione tra U.O. e temperatura, i valori sono: $r^2=0,64$ e $r=0,80$; mentre nel caso di correlazione tra U.O. e umidità i valori sono: $r^2=0,83$ e $r=0,91$; quindi bisogna tenerli sotto controllo soprattutto con la bagnatura superficiale e il corretto funzionamento dello scrubber;

✓ Il totale delle portate dei quattro biofiltri è di $Nm^3/h=51.495$ pari a circa $m^3/h=57.110$, nelle prime analisi; di $Nm^3/h=55383$ pari a circa $m^3/h=61536,6$ nelle seconde analisi; di conseguenza, in entrambe le occasioni, il limite di $85.000 Nm^3/h$ risulta rispettato;

✓ Si nota che i valori maggiori delle U.O. li si ritrova in quei biofiltri con maggiori portate (intorno a $17000 Nm^3/h$); infatti c'è una buona correlazione tra U.O. e portata (o velocità), $r^2=0,55$ e $r=0,74$ per le prime analisi; $r^2=0,47$ e $r=0,69$ per le seconde; tutto ciò a conferma del fatto che a flussi maggiori di aria in arrivo ai biofiltri corrispondono maggiori valori di U.O.;

✓ la velocità è correlata ($r^2=0,54$) anche con il TOC, che a sua volta è correlato con le U.O., e come si è notato nelle seconde analisi la loro correlazione è la più elevata con $r^2=0,77$ ed $r=0,88$ quasi a confermare il ruolo che hanno i composti contenenti C, in particolar modo quelli aromatici a lunga catena e contenenti N, S (per es. mercaptani, ecc..), nell'emissione di cattivi odori.

✓ E' da indagare poi il legame tra PTS e U.O, ben correlato nelle seconde analisi, affatto nelle prime.

✓ Dall'analisi degli r^2 emerge che non sussiste significativa correlazione fra ammoniaca e acido solfidrico con le U.O.; ciò sembra indicare che non sono queste sostanze le responsabili degli odori, o che, comunque singolarmente non predominano, l'una componente sull'altra, nella responsabilità sulla concentrazione di odore.

✓ Dai dati emerge un andamento che indica che una maggiore velocità del flusso di aria che attraversa i biofiltri, e quindi una maggiore portata, tende ad aumentare l'umidità del letto filtrante grazie al fatto che lo scrubber è in funzione e invia aria satura di umidità ai biofiltri. Inoltre, nelle giornate con sole coperto si nota che la temperatura dell'aria in entrata ai biofiltri (che proviene quindi dallo scrubber) è minore di quella del letto biofiltrante, a conferma dell'attività esotermica dei microrganismi: tale differenza di temperatura è dell'ordine di 1-1,5°C.

Quindi possiamo concludere affermando che vengono rispettati tutti i limiti imposti dalla autorizzazione, ad eccezione delle U.O. in alcuni biofiltri, in cui il valore è maggiore di 200 UO/m³.

Dai dati emerge una possibilità di correlazione fra U.O. e agenti fisici quali temperatura, umidità e portata (velocità); in particolare la correlazione migliore risulta fra U.O. ed umidità che risulta così il parametro più importante da monitorare e da mantenere il più possibile in un range ottimale (50-65%).

I dati sono comunque troppo pochi per poter trarre delle conclusioni; ad ogni modo sicuramente sembra importante controllare bene sia la temperatura che l'umidità dei biofiltri, tramite l'utilizzo sia dello scrubber che la bagnatura dei biofiltri.

Quindi si continuerà a tenere sotto controllo i parametri fisici in modo da ottimizzare il sistema di abbattimento dei cattivi odori, considerando anche il fatto che il TOC non è un fattore molto importante e probante, visto che in esso rientrano sia sostanze maleodoranti ma anche sostanze che non lo sono (come quelle che odorano di fungaia o lettiera, quindi odori propri del letto del biofiltro).

7 – CONCLUSIONI

Il monitoraggio in continuo dei parametri fisico-chimici (temperatura, umidità, pH, perdite di carico) dei biofiltri ha mostrato il rispetto dei limiti di legge. Ciò conferma, inoltre, le ottimali condizioni operative in cui si trovano i biofiltri, a vantaggio della loro efficienza di abbattimento delle arie oscure.

I valori delle perdite di carico confermano la buona struttura e porosità del letto biofiltrante; quelli di pH, temperatura e umidità, invece, confermano che si è creato un habitat idoneo per lo sviluppo di una idonea flora microbica atta alla demolizione delle sostanze odorogene. Il parametro da gestire al meglio è l'umidità del letto: questo, anche se mediamente rientra nei limiti (50-65%), ha un andamento abbastanza irregolare. Bisogna cercare di regolarizzare la bagnatura, attivandola nel momento più opportuno, in modo da mantenere sempre le condizioni ottimali per i microrganismi, dal momento che carenze o eccessi di umidità determinano condizioni non ideali per la degradazione. Come si è visto, l'umidità è il parametro maggiormente legato all'emissione dei cattivi odori; quindi, mantenendola su valori ottimali, si garantisce anche l'abbattimento dei cattivi odori.

Per gestire al meglio l'umidità dei biofiltri sarà utile la correlazione ottenuta, e tali valori potranno essere inseriti all'interno del programma informatico che gestisce l'impianto così che, appena si registrano valori di umidità superficiale inferiori ad un dato limite (a cui corrispondono bassi tenori di umidità del letto), la bagnatura possa partire in automatico.

Oltre l'umidità è importante controllare la temperatura, dal momento che anche questo parametro fisico è correlato alle unità odorimetriche.

Le analisi olfattometriche hanno mostrato valori non eccessivamente elevati, mediamente intorno alle 200 OU/m³, con alcuni dati anomali di 577 e 306 OU/m³. Si può affermare che sono valori più che accettabili ed anche confortanti se si considera che la messa a regime dei biofiltri è partita solo da 3 mesi; infatti, se si premette che il biofiltro di per sé emette odore (di lettiera o fungaia) pari a circa 150 OU/m³, si può ben capire quella che è la sua efficienza. Questa bisognerà comunque dimostrarla confrontando le analisi delle arie prima (in ingresso ed uscita dallo scrubber) e dopo l'attraversamento dei biofiltri, così da poterne evidenziare la percentuale di abbattimento (che, da fonti bibliografiche, è pari al 99%).

Inoltre le analisi olfattometriche hanno dimostrato che le unità odorimetriche non sono legate alla concentrazione di NH₃ e H₂S (almeno se le si considera singolarmente), a conferma del fatto che negli impianti di compostaggio gli odori sono legati a molecole organiche aromatiche a lunga catena, non pericolose per la salute umana ma che, comunque, arrecano fastidi di natura olfattiva.

Quindi, fin quando si manterranno ottimali le condizioni operative all'interno dei biofiltri, questi svolgeranno al meglio la loro azione di abbattimento delle sostanze maleodoranti.

Bisogna ricordare, però, che non solo dai biofiltri c'è emissione in atmosfera di sostanze odorigene: gli edifici di ricevimento, stoccaggio e biossidazione del materiale, se non completamente tamponati, sono responsabili dell'emissione di arie fortemente odorigene.

Di rilevante importanza è anche la gestione del percolato che, se non gestito in maniera ottimale (intercettato, conferito e stoccato in idonee vasche a tenuta stagna), è uno dei maggiori responsabili dell'emissione di sostanze maleodoranti nell'atmosfera.

Quindi, al fine di contenere l'emissione di cattivi odori, bisognerebbe coadiuvare il lavoro dei biofiltri rendendo efficienti tutti gli altri settori dell'impianto.

Perdite di sostanze maleodoranti saranno, comunque, inevitabili, per cui sarebbe auspicabile creare barriere frangivento lungo il perimetro dell'impianto o, almeno, in direzione dei venti dominanti e delle abitazioni limitrofe. Così facendo si potranno perseguire i seguenti obiettivi:

- ✓ ulteriore filtrazione degli odori;
- ✓ assorbimento dei rumori legati ai ventilatori che sono sempre attivi, anche di notte;
- ✓ migliore inserimento paesaggistico dell'impianto nel sito di interesse.

Le barriere dovranno essere disposte a strati, in funzione dell'altezza e delle caratteristiche botaniche delle specie da utilizzare. Il primo strato, quello più alto, dovrebbe essere costituito da specie sempreverdi, alte, con chioma che si sviluppa sin dal basso.

A tal fine si consigliano: *Cupressus sempervirens* e *Chamaecyparis lawsoniana*; si potrebbe anche utilizzare *Populus nigra* var. *cipressina* che, anche essendo caducifolia, presenta una chioma folta con sviluppo dal basso, utile in estate, periodo in cui maggiormente si presentano problemi di cattivi odori, legati sia alla temperatura (come confermato dai risultati) che dalla quantità maggiore di rifiuti conferiti all'impianto, a causa del grande flusso di turisti presente, a Rimini, in tale periodo.

Subito dopo il primo strato frangivento, si potrebbero utilizzare specie vegetali (*Quercus pubescens*, *Fraxinus ornus*, *Pyracantha coccinea*, *Crataegus monogyna*, ecc..) appartenenti all'associazione fitosociologica dell'*Orno-Quercetum ilicis* Horvatic (1956) 1958; tale associazione è quella tipica della zona collinare in cui sorge l'impianto di compostaggio.

8 – BIBLIOGRAFIA

[1] Accotto E, 1999. Iter amministrativo per la realizzazione e la gestione degli impianti di compostaggio. Consorzio Nazionale Compostatori , atti del 3° Corso Nazionale di Perfezionamento, “Progettazione e gestione di impianti di compostaggio”, Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. S.p.A. – Reggio Emilia, 1999, 5-10.

[2] Adani F., 1999. Il processo di compostaggio: definizioni e principi biodinamici. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 4° corso nazionale di base, “*Produzione ed impiego del compost di qualità*”, Istituto Agronomico Mediterraneo – Valenzano (Bari), 1999, 1-20.

[3] Agenzia Nazionale per la Protezione dell’Ambiente (ANPA) e Osservatorio Nazionale sui Rifiuti (ONR), 2002. Il recupero di sostanza organica dai rifiuti per la produzione di ammendanti di qualità. Manuali e Linee guida 7/2002, ANPA – Unità Normativa Tecnica.

[4] Bellino M., Borrello P., Coccia A.M., Gucci P.M.B., 2001. Indagine preliminare sui livelli di esposizione ai bioaerosol emessi in un impianto di trattamento dei rifiuti. Atti di Ricicla 2001, Rimini, 125-130.

[5] Berri A. e Castiglioni A., 2003. Metodologia di indagine nella valutazione degli effetti di molestia olfattiva in presenza di un impianto di compostaggio nell’area. Atti di Ecomondo 2003, Rimini, 103-106.

[6] Calcaterra E., 1999. Aspetti tecnologici critici della gestione. Consorzio Nazionale Compostatori , atti del 3° Corso Nazionale di Perfezionamento, "Progettazione e gestione di impianti di compostaggio", Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. S.p.A. – Reggio Emilia, 1999, 107-130.

[7] Calcaterra E., 1999. Le opere di presidio ambientale. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 4° corso nazionale di base, "*Produzione ed impiego del compost di qualità*", Istituto Agronomico Mediterraneo – Valenzano (Bari), 1999, 167-176.

[8] Centemero M., 1999. Le matrici organiche compostabili e i settori produttivi di provenienza. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 4° corso nazionale di base, "*Produzione ed impiego del compost di qualità*", Istituto Agronomico Mediterraneo – Valenzano (Bari), 1999, 21-32.

[9] Cortellini L., Laraia R., 2001. la normativa nazionale e internazionale sugli odori. Atti di Ricicla 2001, Rimini, 86-93.

[10] Decreto Presidente della Repubblica 24 maggio 1988, n. 203, con modifiche apportate dal Decreto Legislativo 4 agosto 1999, n. 351, e dal Decreto Ministeriale 2 aprile 2002, n. 60. " *Attuazione delle direttive 80/779/CEE, 82/884/CEE E 85/203/CEE concernenti norme in materia di qualità dell'aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali, ai sensi dell'articolo 15 della Legge 16 aprile 1987, n. 183*". Suppl. Ord. alla G.U. del 16 giugno 1988, Serie generale, n. 140.

[11] Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n. 22. "*Attuazione delle direttive 97/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CEE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio*". Suppl. Ord. alla G.U. del 15 febbraio 1997, Serie generale, n. 38.

[12] Decreto Legislativo 13 gennaio 2003, n.36. "*Attuazione della direttiva 99/31/CEE relativa alle discariche di rifiuti*". Suppl. Ord. alla G.U. del 12 marzo 2003, Serie generale, n. 59.

[13] Favoino E., 2002. Gli odori negli impianti di compostaggio: valutazioni strategiche e note tecniche su prevenzione e gestione del problema. Atti di Ricicla 2002, Rimini, 732-741.

[14] Favoino E., 2003. Il trattamento biologico nei sistemi integrati di gestione dei rifiuti. Novità e prospettive. Atti di Ecomondo 2003, Rimini, 61-67.

[15] Favoino E., 2003. Le caratteristiche operative degli impianti di compostaggio: coerenze di progetto e di processo per l'ottimizzazione dei cicli produttivi e la minimizzazione dei problemi. Appunti delle lezioni del Master

Universitario di 1° livello in “*Tecnologie per la gestione dei rifiuti*” – P.O.R. Regione Emilia-Romagna ob. 3 Misura C.3 “Formazione Superiore” Rif. O.I. 2002/0066/SC3 – FSE 2000/2006, Università di Bologna – Polo Scientifico di Rimini, 2003.

[16] Favoino E., 1999. Tecnologie di processo e coerenza con gli scenari operativi. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 3° Corso Nazionale di Perfezionamento, “Progettazione e gestione di impianti di compostaggio”, Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. S.p.A. – Reggio Emilia, 1999, 77-106.

[17] Laraia R e Cortellini L, 2002. Misura di emissioni di odori da impianti di compostaggio: risultati preliminari. Atti di Ricicla 2002, Rimini, 707-716.

[18] Laraia R., 2002. Il ruolo della gestione dei rifiuti organici biodegradabili nella gestione integrata dei rifiuti: orientamenti europei e nazionali. Atti di Ricicla 2002, Rimini, 684-695.

[19] Manetti E, Montanaro I, Zagaroli M., 2001. Sviluppo ed ottimizzazione sistema di biofiltrazione applicato ad un impianto di selezione meccanica e stabilizzazione dei RSU. Atti di Ricicla 2001, Rimini, 161-165.

[20] Manetti E., Zagaroli M., Montanaro I., Caruson P., Sicilia F. e Lunghi P., 2002. Sperimentazione di un sistema di pretrattamento dell’aria aspirata dai bacini di compostaggio mediante bioscrubber. Atti di Ricicla 2002, Rimini, 748-752.

[21] Perelli M., 1999. Normativa comunitaria e nazionale di riferimento sulla produzione e l’impiego del compost. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 4° corso nazionale di base, “*Produzione ed impiego del compost di qualità*”, Istituto Agronomico Mediterraneo – Valenzano (Bari), 1999, 51-86.

[22] Piccinini S., 1999. La situazione del compostaggio in Italia: panoramica sugli impianti. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 4° corso nazionale di base, “*Produzione ed impiego del compost di qualità*”, Istituto Agronomico Mediterraneo – Valenzano (Bari), 1999, 177-198.

[23] Piccinini S., 2001. Stato dell’arte del compostaggio di qualità in Italia. Atti di Ricicla 2001, Rimini, 31-45.

[24] Regione Basilicata, Dipartimento Ambiente e Territorio. Linee Guida per la gestione degli impianti di compostaggio e stabilizzazione (www.regione.basilicata.it/dipartimento_ambiente_territorio/modulistica/lineeimpianti.doc).

[25] Regione Lombardia, Bollettino Ufficiale – Milano, 13 maggio 2003, 1° Supplemento Straordinario. Delibera Giunta Regionale 16 aprile 2003 – n.7/12764. Linee guida relative alla costruzione e all'esercizio degli impianti di produzione di compost – Revoca della D.G.R. 16 luglio 1999, n. 44263.

[26] Regione Sicilia, Commissario Delegato per l'emergenza rifiuti e la tutela delle acque – O.P.C.M. n° 2983 del 31 maggio 1999. Linee Guida per la gestione degli impianti di compostaggio e stabilizzazione. (http://www.regione.sicilia.it/presidenza/ucomrifiuti/leggi/decreti/dec_13b.htm).

[27] Rossi L., 1999. I possibili sistemi operativi: macchine ed attrezzature utilizzabili. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 4° corso nazionale di base, "*Produzione ed impiego del compost di qualità*", Istituto Agronomico Mediterraneo – Valenzano (Bari), 1999, 87-166.

[28] Rossi L. e Piccinini S., 1999. La progettazione dell'impianto di compostaggio a tecnologia semplificata. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 3° Corso Nazionale di Perfezionamento, "Progettazione e gestione di impianti di compostaggio", Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. S.p.A. – Reggio Emilia, 1999, 11-34.

[29] Sironi S., Il Grande M., Gronchi P., Del Rosso R. e Centola P., 2002. La gestione delle emissioni di odori negli impianti di compostaggio. Atti di Ricicla 2002, Rimini, 812-821.

[30] Squiteri G., 2001. La doppia valenza della strategia del compostaggio alla luce del decreto legislativo 22/97 e degli obiettivi di lotta alla desertificazione. Atti di Ricicla 2001, Rimini, 15-20.

[31] Valli L. e Piccinini S., 2001. La misura degli odori negli impianti di compostaggio. Atti di Ricicla 2001, Rimini, 145-149.

[32] Zagaroli M., Canovai A. e Mazzoni G., 1999. La progettazione dell'impianto di compostaggio a tecnologia complessa. Consorzio Nazionale Compostatori, atti del 3° Corso Nazionale di Perfezionamento, "Progettazione e gestione di impianti di compostaggio", Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. S.p.A. – Reggio Emilia, 1999, 35-76.

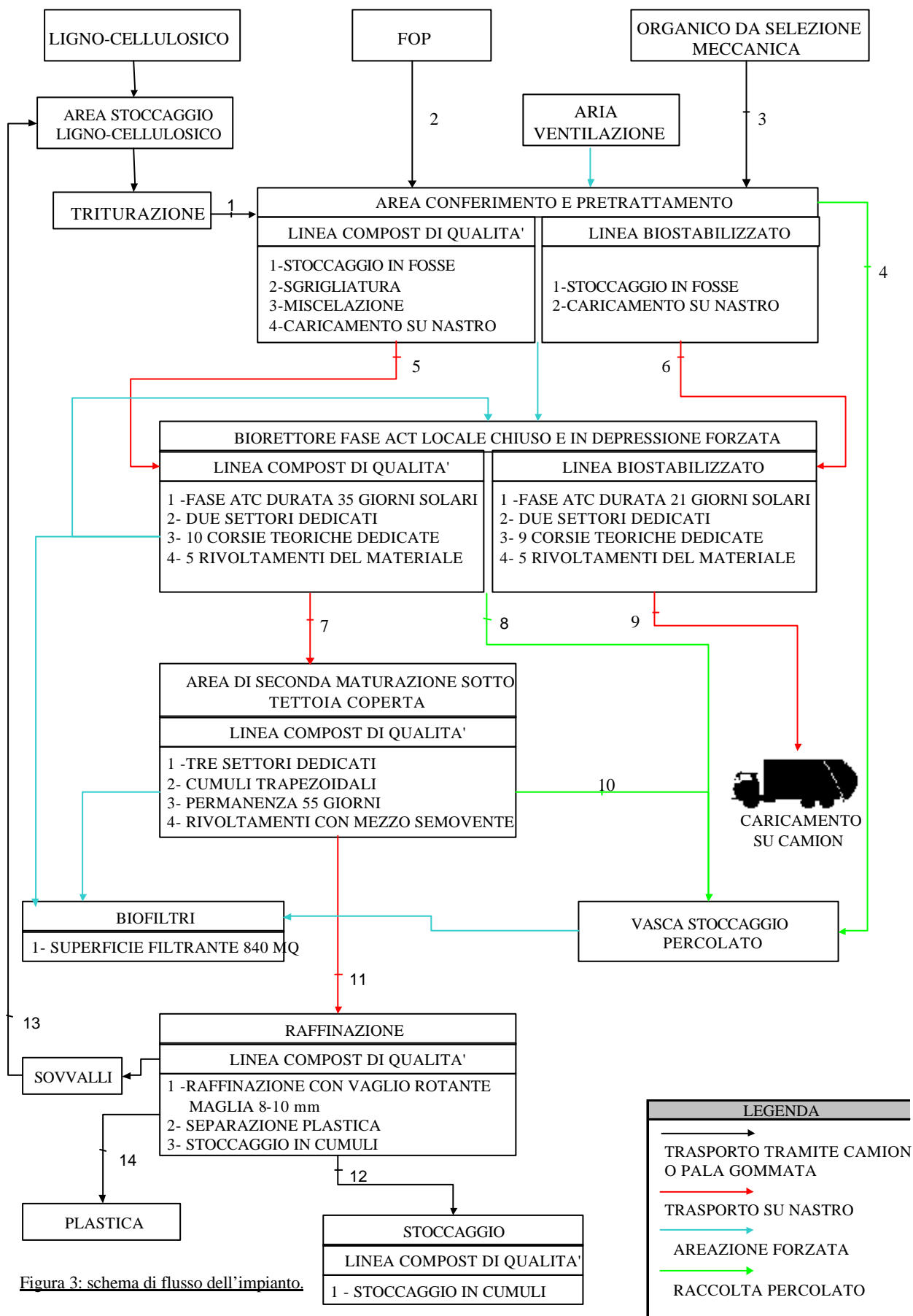


Figura 3: schema di flusso dell'impianto.

LINEA COMPOST DI QUALITA'

CAMPATA 1					CAMPATA 2									
Corsia 1	Corsia 2				Corsia 3	Corsia 4			rifiuto conferito mc/g	Carico mc/g	Scarico mc/g	giorno		
									116,7	70	47,7	LUN	1	
									116,7	140	95,4	MAR	2	
									116,7	140	95,4	MER	3	
									116,7	70	47,7	GIO	4	
									116,7	140	95,4	VEN	5	
									116,7	140	95,4	SAB	6	
												DOM	7	
									116,7	70	47,7	LUN	8	
									116,7	140	95,4	MAR	9	
									116,7	140	95,4	MER	10	
									116,7	70	47,7	GIO	11	
									116,7	140	95,4	VEN	12	
									116,7	140	95,4	SAB	13	
												DOM	14	
									116,7	70	47,7	LUN	15	
									116,7	140	95,4	MAR	16	
									116,7	140	95,4	MER	17	
									116,7	70	47,7	GIO	18	
									116,7	140	95,4	VEN	19	
									116,7	140	95,4	SAB	20	
												DOM	21	
									116,7	70	47,7	LUN	22	
									116,7	140	95,4	MAR	23	
									116,7	140	95,4	MER	24	
									116,7	70	47,7	GIO	25	
									116,7	140	95,4	VEN	26	
									116,7	140	95,4	SAB	27	
												DOM	28	
									116,7	70	47,7	LUN	29	
									116,7	140	95,4	MAR	30	
									116,7	140	95,4	MER	31	
									116,7	70	47,7	GIO	32	
									116,7	140	95,4	VEN	33	
									116,7	140	95,4	SAB	34	
												DOM	35	
									116,7	70	47,7	LUN	36	
									116,7	140	95,4	MAR	37	
									116,7	140	95,4	MER	38	
									116,7	70	47,7	GIO	39	
									116,7	140	95,4	VEN	40	
									116,7	140	95,4	SAB	41	
												DOM	42	
									116,7	70	47,7	LUN	43	

										116,7	140	95,4	MAR	44
										116,7	140	95,4	MER	45
										116,7	70	47,7	GIO	46
										116,7	140	95,4	VEN	47

									116,7	140	95,4	SAB	48
												DOM	49
									116,7	70	47,7	LUN	50
									116,7	140	95,4	MAR	51
									116,7	140	95,4	MER	52
									116,7	70	47,7	GIO	53
									116,7	140	95,4	VEN	54
									116,7	140	95,4	SAB	55
												DOM	56
									116,7	70	47,7	LUN	57
									116,7	140	95,4	MAR	58
									116,7	140	95,4	MER	59
									116,7	70	47,7	GIO	60
									116,7	140	95,4	VEN	61
									116,7	140	95,4	SAB	62
												DOM	63
									116,7	70	47,7	LUN	64
									116,7	140	95,4	MAR	65
									116,7	140	95,4	MER	66
									116,7	70	47,7	GIO	67
									116,7	140	95,4	VEN	68
									116,7	140	95,4	SAB	69
												DOM	70
									116,7	70	47,7	LUN	71
									116,7	140	95,4	MAR	72
									116,7	140	95,4	MER	73
									116,7	70	47,7	GIO	74
									116,7	140	95,4	VEN	75
									116,7	140	95,4	SAB	76
												DOM	77
									116,7	70	47,7	LUN	78
									116,7	140	95,4	MAR	79
									116,7	140	95,4	MER	80
									116,7	70	47,7	GIO	81
									116,7	140	95,4	VEN	82
									116,7	140	95,4	SAB	83
												DOM	84
									116,7	70	47,7	LUN	85
									116,7	140	95,4	MAR	86
									116,7	140	95,4	MER	87
									116,7	70	47,7	GIO	88
									116,7	140	95,4	VEN	89
									116,7	140	95,4	SAB	90
												DOM	91
									116,7	70	47,7	LUN	92
									116,7	140	95,4	MAR	93
									116,7	140	95,4	MER	94
									116,7	70	47,7	GIO	95
									116,7	140	95,4	VEN	96
									116,7	140	95,4	SAB	97
												DOM	98
									116,7	70	47,7	LUN	99

[illegible]

LINEA BIOSTABILIZZATO

CAMPATA 3				CAMPATA 4									
Corsia 5		Corsia 6		Corsia 7		Corsia 8		rifiuto conferito mc/g	Carico mc/g	Scarico mc/g	giorno		
								175	140	111,4	LUN		1
								175	210	167,0	MAR		2
								175	140	111,4	MER		3
								175	140	111,4	GIO		4
								175	140	111,4	VEN		5
								175	210	167,0	SAB		6
											DOM		7
								175	280	222,7	LUN		8
								175	140	111,4	MAR		9
								175	140	111,4	MER		10
								175	210	167,0	GIO		11
								175	140	111,4	VEN		12
								175	140	111,4	SAB		13
											DOM		14
								175	210	167,0	LUN		15
								175	280	222,7	MAR		16
								175	140	111,4	MER		17
								175	140	111,4	GIO		18
								175	210	167,0	VEN		19
								175	140	111,4	SAB		20
											DOM		21
								175	140	111,4	LUN		22
								175	210	167,0	MAR		23
								175	140	111,4	MER		24
								175	140	111,4	GIO		25
								175	140	111,4	VEN		26
								175	210	167,0	SAB		27
											DOM		28
								175	280	222,7	LUN		29
								175	140	111,4	MAR		30
								175	140	111,4	MER		31
								175	210	167,0	GIO		32
								175	140	111,4	VEN		33
								175	140	111,4	SAB		34
											DOM		35
								175	210	167,0	LUN		36
								175	280	222,7	MAR		37
								175	140	111,4	MER		38
								175	140	111,4	GIO		39
								175	210	167,0	VEN		40
								175	140	111,4	SAB		41
											DOM		42
								175	140	111,4	LUN		43
								175	210	167,0	MAR		44

										175	140	111,4	MER	45
										175	140	111,4	GIO	46
										175	140	111,4	VEN	47

									175	210	167,0	SAB	48
												DOM	49
									175	280	222,7	LUN	50
									175	140	111,4	MAR	51
									175	140	111,4	MER	52
									175	210	167,0	GIO	53
									175	140	111,4	VEN	54
									175	140	111,4	SAB	55
												DOM	56
									175	210	167,0	LUN	57
									175	280	222,7	MAR	58
									175	140	111,4	MER	59
									175	140	111,4	GIO	60
									175	210	167,0	VEN	61
									175	140	111,4	SAB	62
												DOM	63
									175	140	111,4	LUN	64
									175	210	167,0	MAR	65
									175	140	111,4	MER	66
									175	140	111,4	GIO	67
									175	140	111,4	VEN	68
									175	210	167,0	SAB	69
												DOM	70
									175	280	222,7	LUN	71
									175	140	111,4	MAR	72
									175	140	111,4	MER	73
									175	210	167,0	GIO	74
									175	140	111,4	VEN	75
									175	140	111,4	SAB	76
												DOM	77
									175	210	167,0	LUN	78
									175	280	222,7	MAR	79
									175	140	111,4	MER	80
									175	140	111,4	GIO	81
									175	210	167,0	VEN	82
									175	140	111,4	SAB	83
												DOM	84
									175	140	111,4	LUN	85
									175	210	167,0	MAR	86
									175	140	111,4	MER	87
									175	140	111,4	GIO	88
									175	140	111,4	VEN	89
									175	210	167,0	SAB	90
												DOM	91
									175	280	222,7	LUN	92
									175	140	111,4	MAR	93
									175	140	111,4	MER	94
									175	210	167,0	GIO	95
									175	140	111,4	VEN	96
									175	140	111,4	SAB	97
												DOM	98
									175	210	167,0	LUN	99
									175	280	222,7	MAR	100

[illegible]



Figura 4: piazzale stoccaggio e triturazione materiale ligno-cellulosico



Figura 5: avanzfossa, zona conferimento, stoccaggio e miscelazione del materiale



Figura 6: corsia dell'edificio di biossidazione.



Figura 7: rivoltatrice



Figura 8: area di seconda maturazione



Figura 9: vaglio rotante dotato di doppia rete



Figura 10: biofiltri



Figura 11: scrubber

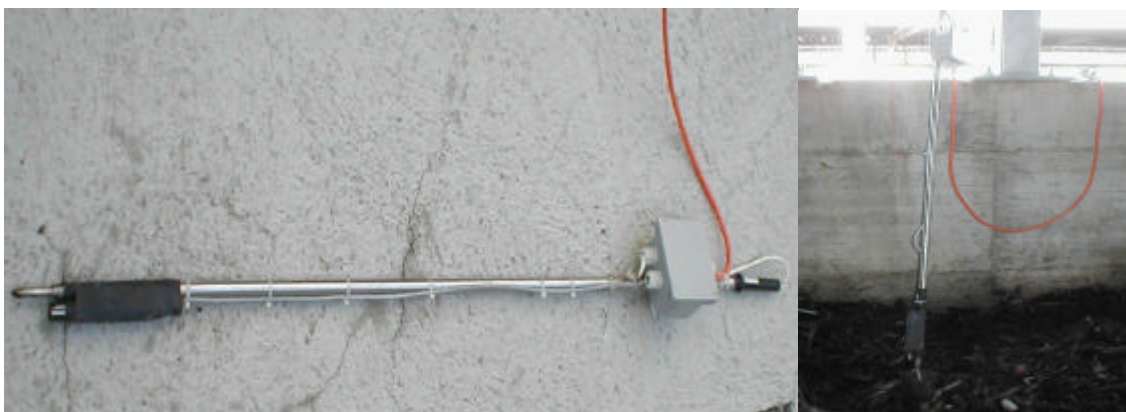


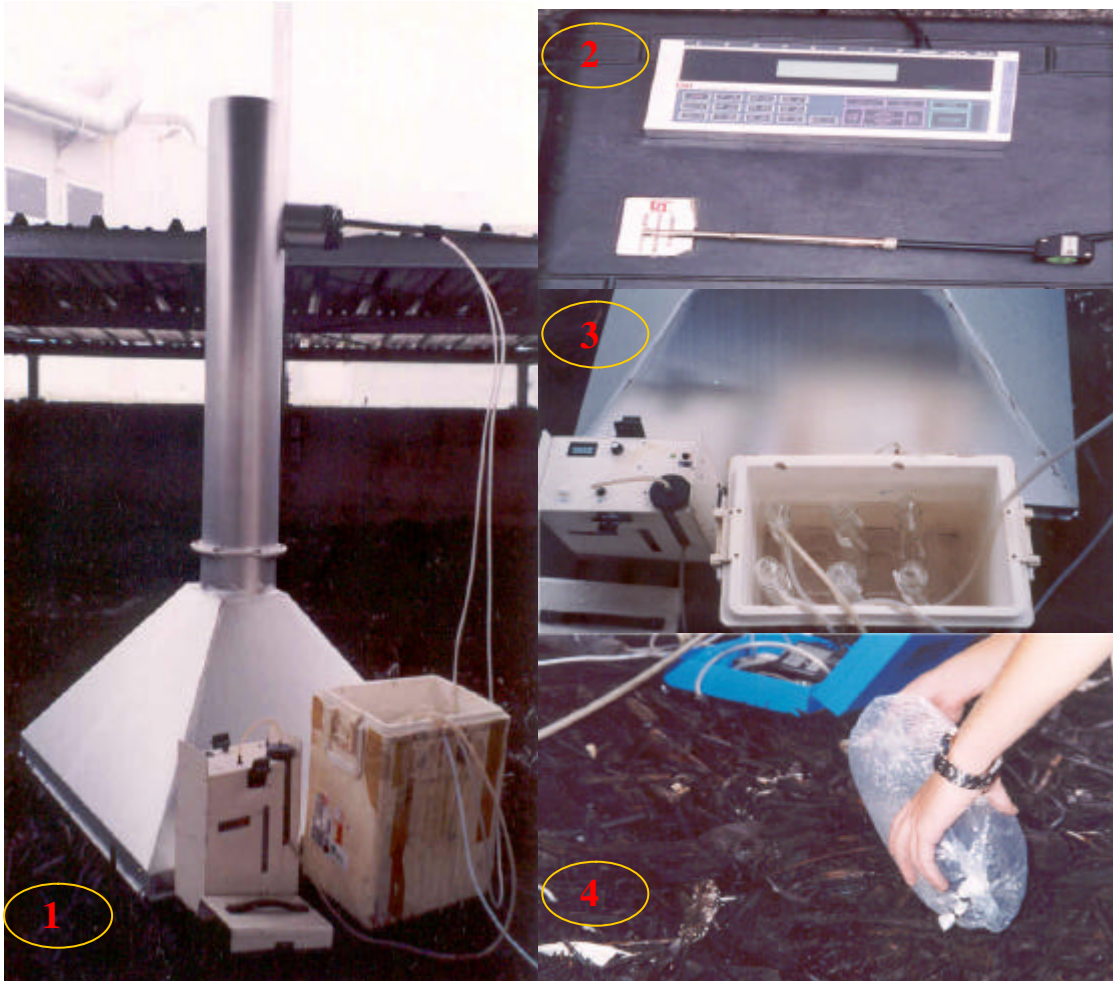
Figura 12: sonde per la misurazione di temperatura ed umidità superficiale del letto dei biofiltri.



Figura 13: pHmetro PR 75 P-C



Figura 14: trasmettitore di pressione tipo DMP343



- 1: figura 15, cappa in acciaio inox sul letto del biofiltro, con a sinistra lo psicrometro;
- 2: figura 16, anemometro a filo caldo;
- 3: figura 17, gorgiatori;
- 4: figura 18, sacchetto di Nalophan per il prelievo delle aree osmogene.

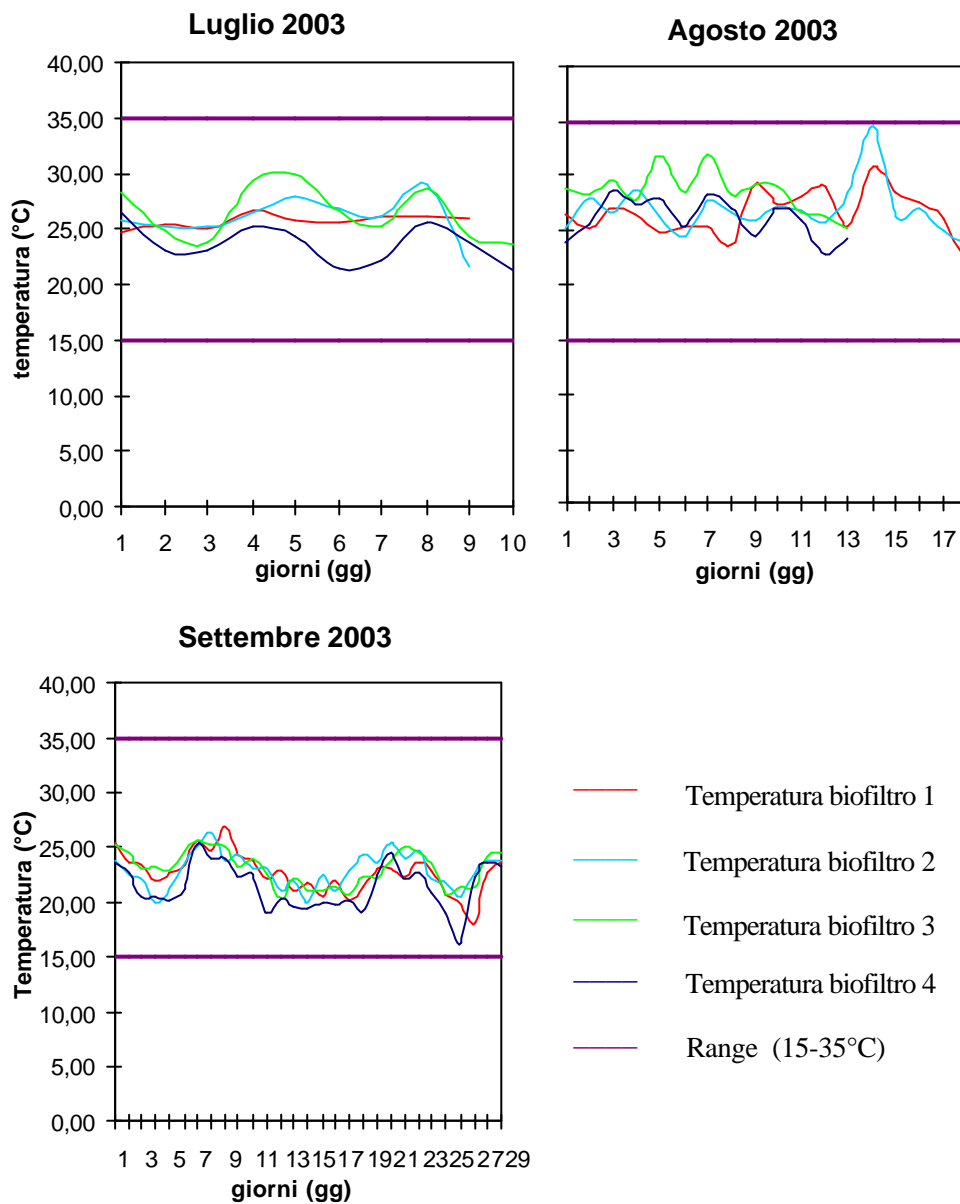


Fig. 19 - Andamento delle temperature dei biofiltri nei primi 3 mesi di messa a regime degli stessi, con i limiti da rispettare (range).

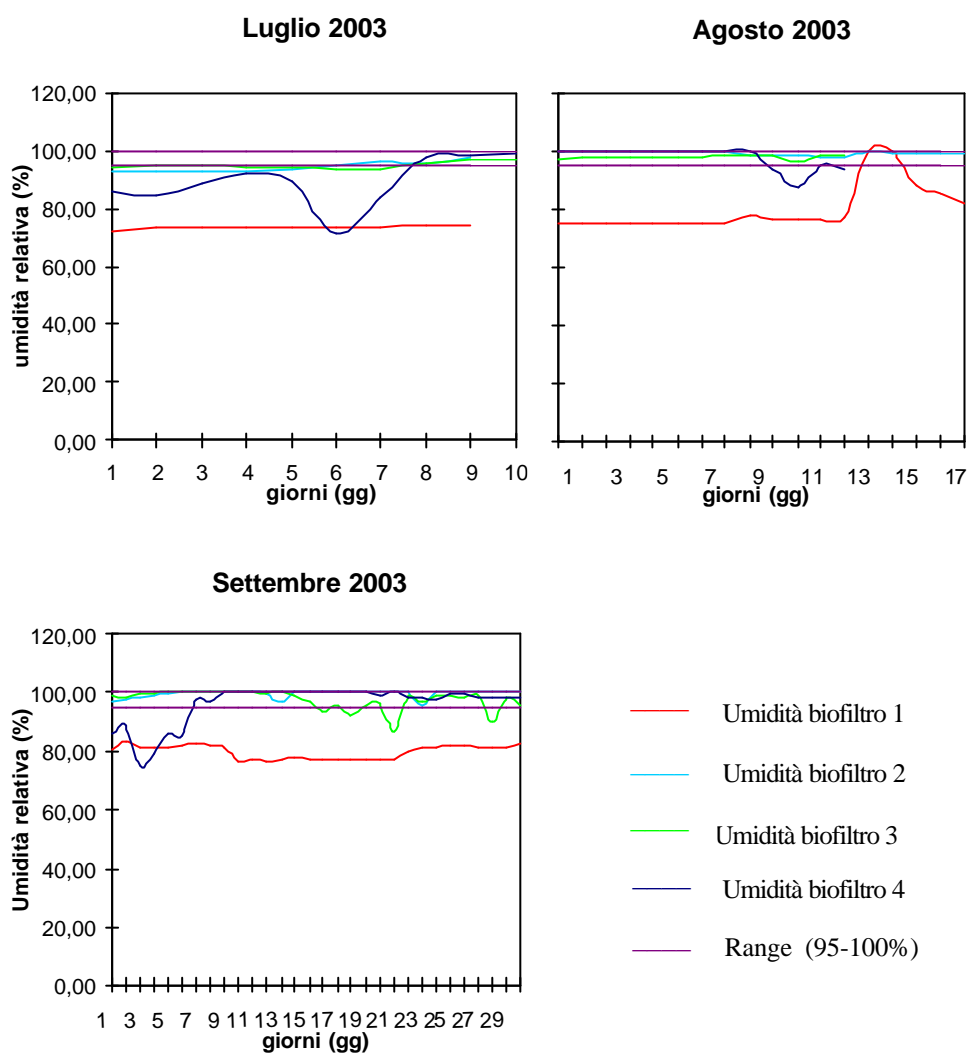


Fig. 20 - Anadamento dell'umidità relativa in superficie ai biofiltri nei primi 3 mesi di messa a regime degli stessi, con i limiti da rispettare (range).

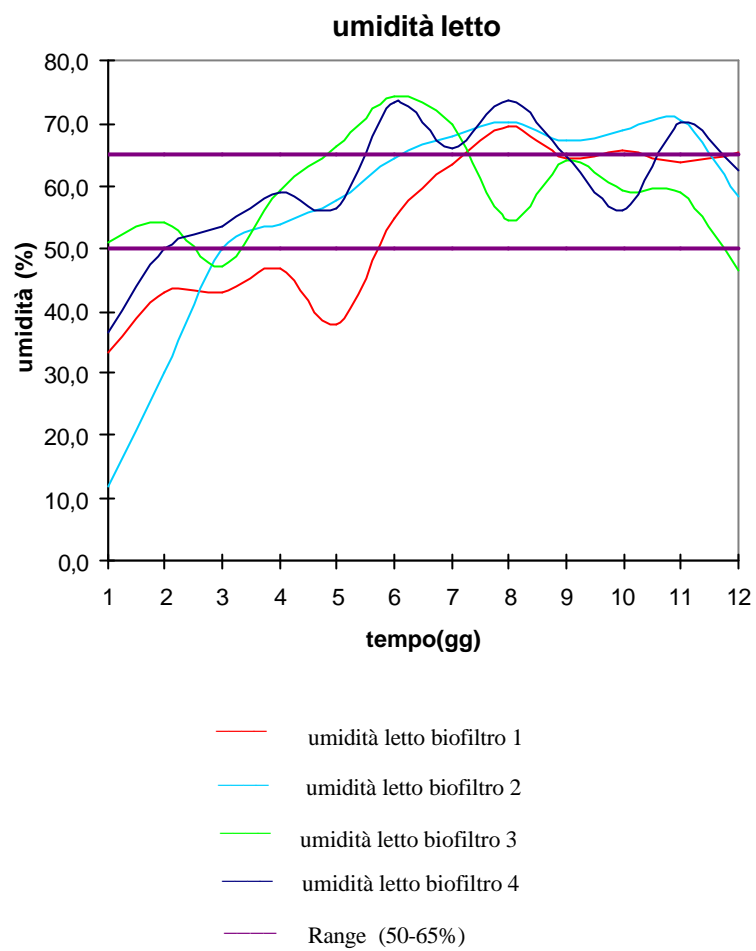


Fig. 21 - Anadamento dell'umidità del letto dei biofiltri nei primi 3 mesi di messa a regime degli stessi, con i limiti da rispettare (range).

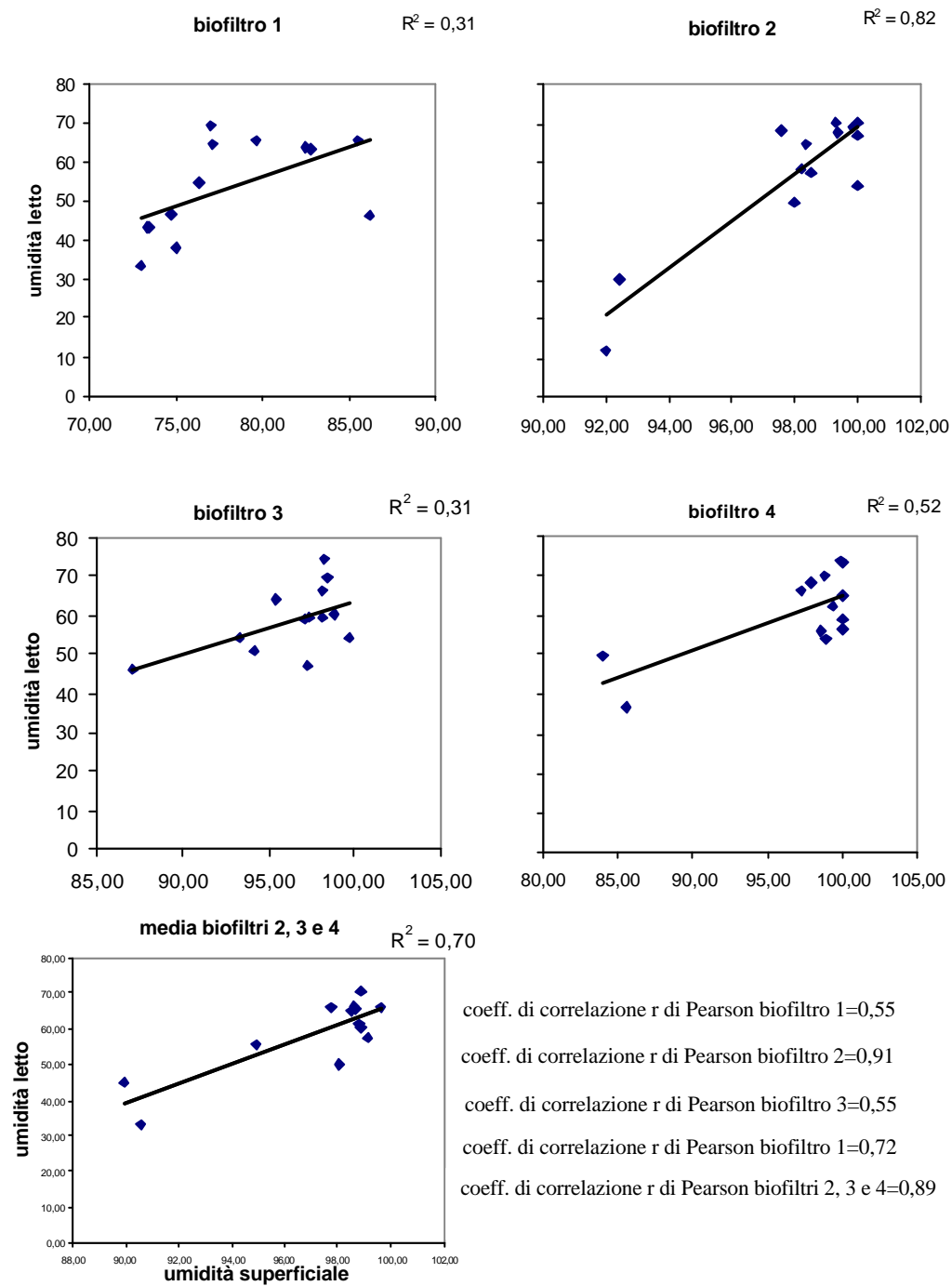


Figura 22: rette di regressione, coefficienti di determinazione (r^2) e di correlazione (r) dei 4 biofiltri e dei biofiltri 2, 3 e 4 (considerati insieme per avere un andamento medio).

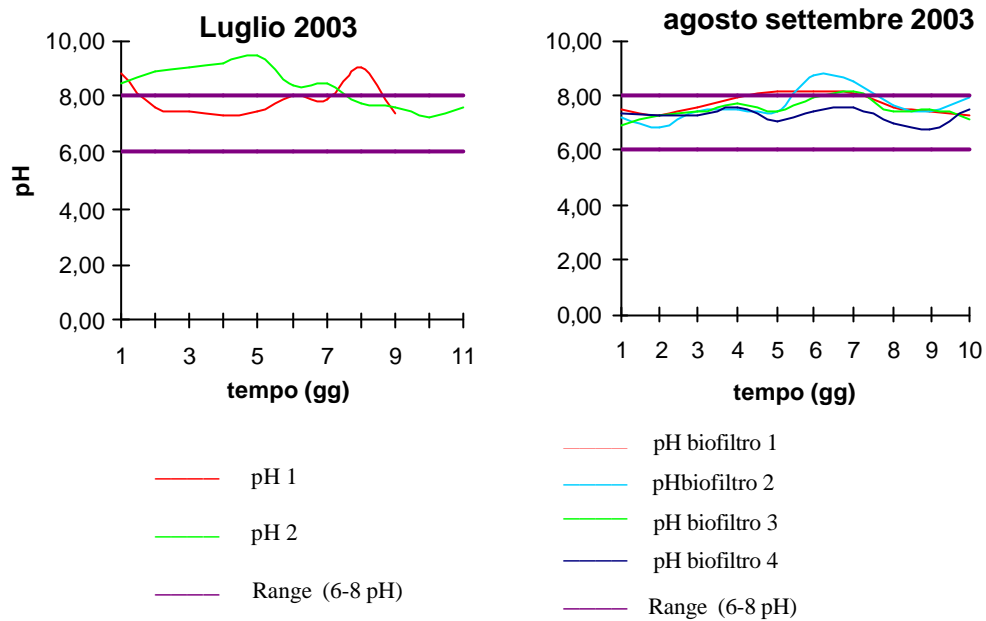


Fig. 23 - Anadamento del pH dei pozzetti del percolato dei biofiltri nei primi 3 mesi di messa a regime degli stessi, con i limiti da rispettare (range).



Fig. 24 - *Amanita vaginata* .

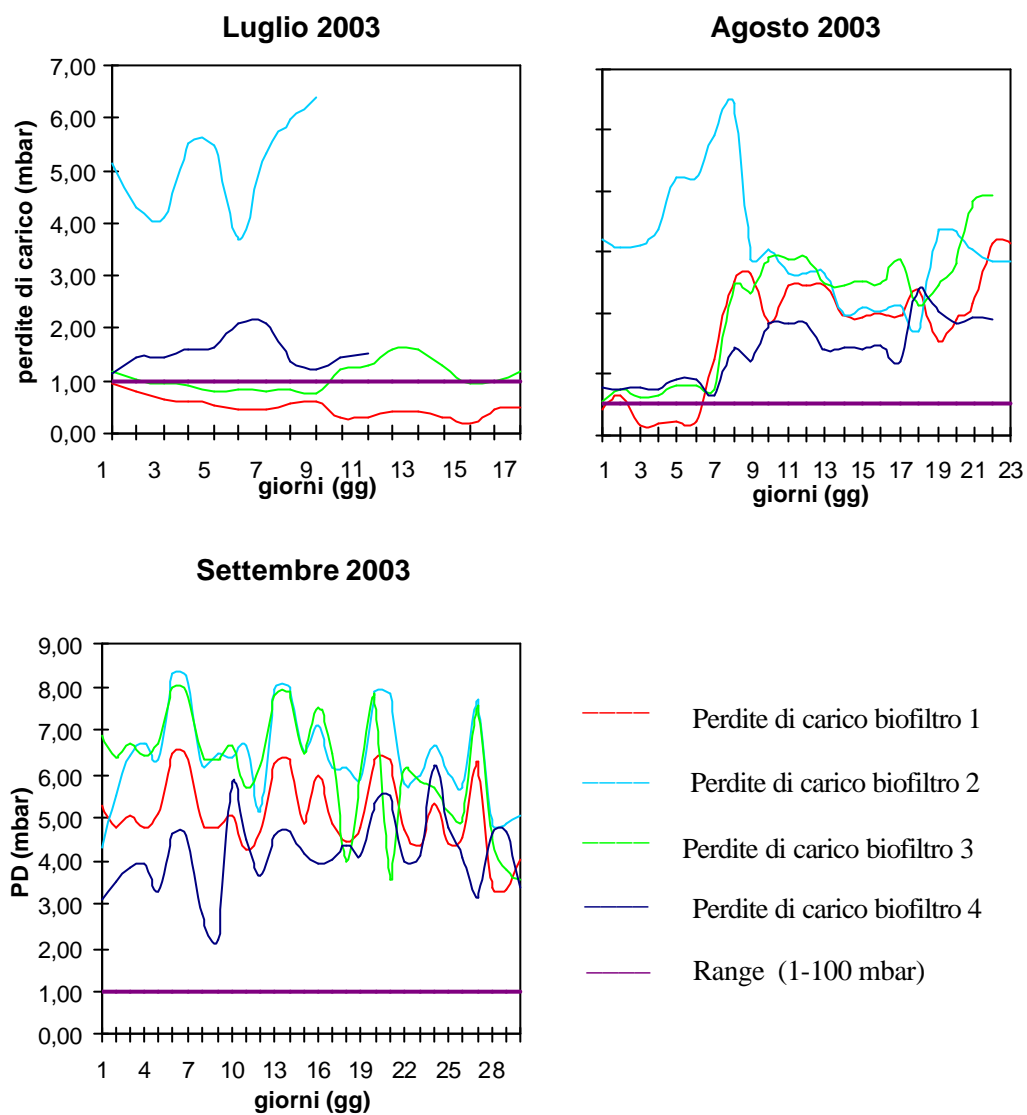


Fig. 25 - Anadamento delle perdite di carico dei biofiltri nei primi 3 mesi di messa a regime degli stessi, con i limiti da rispettare (range).

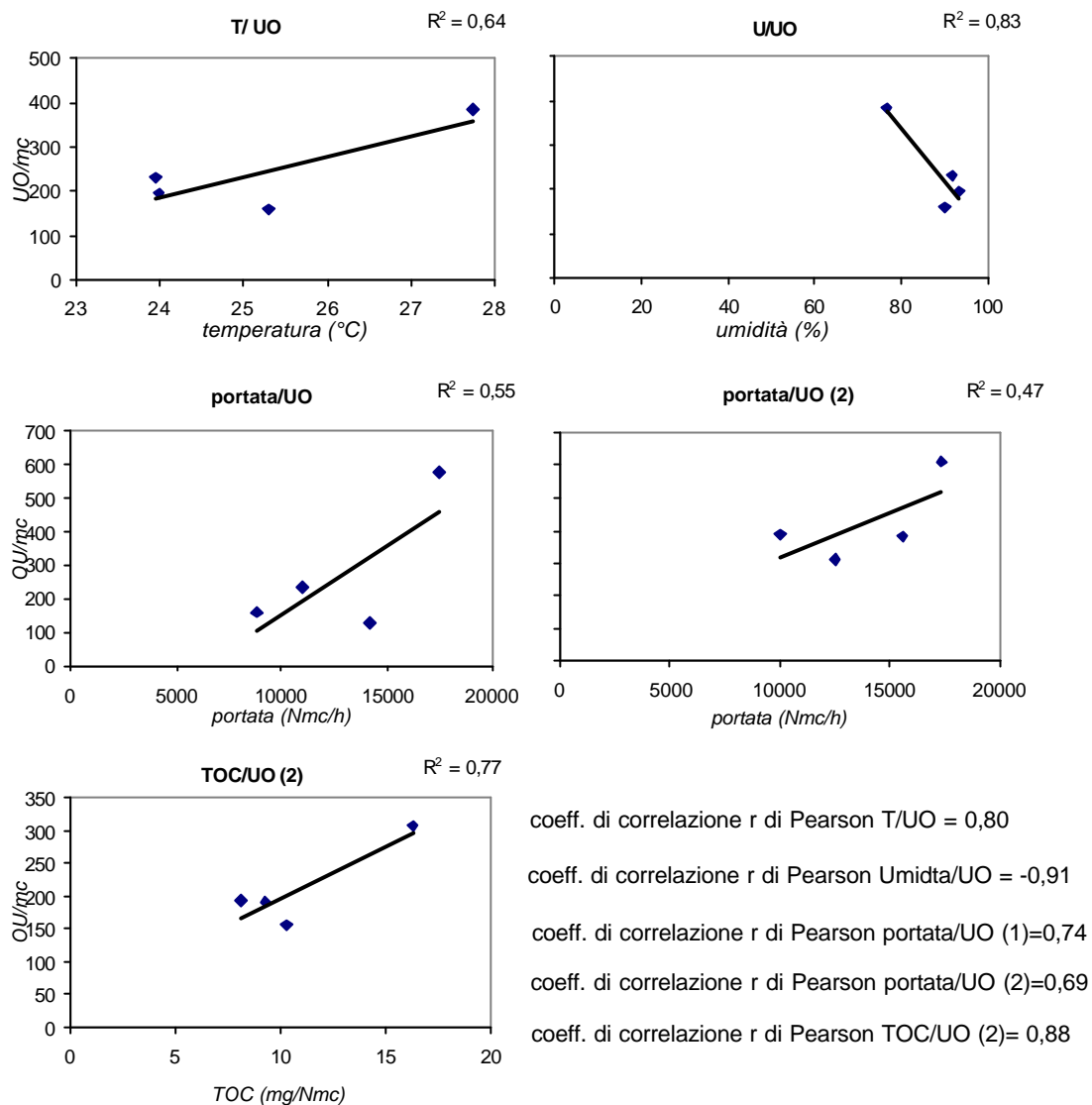


Fig. 26: coefficienti di regressione e di correlazione emersi correlando le unità odorimetriche con alcuni dei più importanti parametri gestionali dei biofiltri.

