

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA**

**per l'Ambiente e il Territorio**

*DIPARTIMENTO DICMA*

**TESI DI LAUREA**

in

Valorizzazione delle risorse primarie e secondarie LS

**Intervento di riqualificazione di un impianto di compostaggio in  
ambiente altamente urbanizzato: criticità, verifiche, soluzioni.**

CANDIDATO:

Giulia Angelini

RELATORE:

Chiar.ma Prof.ssa Ing. Alessandra Bonoli

CORRELATORI:

Dott. Calcaterra Enrico

Dott. Milani Daniele

Anno Accademico 2008/09

**Sessione III**

# INDICE

<b>INDICE</b> .....	pag. 1
<b>Capitolo 1 - Introduzione</b> .....	pag. 4
<b>Capitolo 2 - Normativa</b> .....	pag. 6
<b>2.1 Normativa Europea</b> .....	pag. 6
<b>2.2 Normativa Italiana</b> .....	pag. 6
<b>2.3 Normativa Regionale</b> .....	pag. 9
<b>Capitolo 3 - Lo stato di fatto</b> .....	pag. 11
<b>3.1 Localizzazione dell'impianto</b> .....	pag. 11
<b>3.2 Quantità rifiuti addotti all'impianto</b> .....	pag. 12
<b>3.3 Tipologie di rifiuti conferibili all'impianto</b> .....	pag. 12
<b>3.4 Qualità dei rifiuti ammissibili all'impianto</b> .....	pag. 15
<b>3.5 Standard di qualità per il compost prodotto</b> .....	pag. 16
<b>3.6 Processo di compostaggio</b> .....	pag. 16
<b>Capitolo 4 - Descrizione tecnica dell'impianto</b> .....	pag. 20
<b>4.1 Dimensionamento delle sezioni impiantistiche</b> .....	pag. 20
<u>4.1.1 Generalità</u> .....	pag. 20
<u>4.1.2 Biocelle</u> .....	pag. 20
<u>4.1.3 Maturazione</u> .....	pag. 22
<u>4.1.4 Raffinazione</u> .....	pag. 24
<u>4.1.5 Maturazione post-vagliatura e stoccaggio prodotto finito</u> .....	pag. 25
<b>4.2 Sezioni di trattamento</b> .....	pag. 26
<u>4.2.1 Sezione di ricezione della frazione organica da raccolta differenziata (FORSU)</u> .....	pag. 26
<u>4.2.2 Sezione di ricezione e triturazione dei rifiuti verdi</u> .....	pag. 28
<u>4.2.3 Sezione di triturazione e miscelazione (pre-trattamento)</u> .....	pag. 29
<u>4.2.4 Sezione di bioossidazione accelerata (biocelle)</u> .....	pag. 30
<u>4.2.5 Sezione di maturazione</u> .....	pag. 35
<u>4.2.6 Sezione di raffinazione</u> .....	pag. 36

4.2.7 Sezione di stoccaggio prodotto finito.....	pag. 38
<b>4.3 Impianto di aspirazione e trattamento aria.....</b>	<b>pag. 38</b>
<b>4.4 Reti fognarie e sistemi di raccolta percolati, condensati, acque di spurgo.....</b>	<b>pag. 43</b>
<b>4.5 Impianto di distribuzione acqua industriale e potabile.....</b>	<b>pag. 45</b>
<b>4.6 La pesa.....</b>	<b>pag. 46</b>
<b><u>Capitolo 5 - Criticità generali.....</u></b>	<b>pag. 48</b>
<b>5.1 Gli odori molesti.....</b>	<b>pag. 48</b>
<b>5.2 Qualità del compost prodotto.....</b>	<b>pag. 48</b>
<b>5.3 Rifiuti conferiti.....</b>	<b>pag. 49</b>
<b><u>Capitolo 6 - Interventi realizzati.....</u></b>	<b>pag. 50</b>
<b>6.1 Monitoraggio degli odori.....</b>	<b>pag. 50</b>
<b>6.2 Modifiche di processo per il miglioramento del compost prodotto.....</b>	<b>pag. 52</b>
<b>6.3 Utilizzo dei prodotti.....</b>	<b>pag. 53</b>
<b><u>Capitolo 7 - Gli odori.....</u></b>	<b>pag. 55</b>
<b>7.1 Premessa: gli odori.....</b>	<b>pag. 55</b>
<b>7.2 Le fonti di emissione di odori.....</b>	<b>pag. 55</b>
<b>7.3 I composti osmogeni negli impianti di compostaggio.....</b>	<b>pag. 56</b>
<b>7.4 Rischi tossicologi associati.....</b>	<b>pag. 60</b>
<b>7.5 La misura e la quantificazione degli odori.....</b>	<b>pag. 61</b>
<b>7.6 La determinazione di tipo analitico-chimico.....</b>	<b>pag. 62</b>
<b>7.7 I metodi sensoriali.....</b>	<b>pag. 63</b>
<b>7.8 Misura della concentrazione di odore.....</b>	<b>pag. 64</b>
<b>7.9 Misura dell'intensità di odore.....</b>	<b>pag. 67</b>
<b>7.10 Misura dell'accettabilità dell'odore.....</b>	<b>pag. 68</b>
<b>7.11 Altri indici di quantificazione dell'odore.....</b>	<b>pag. 69</b>
<b>7.12 Come effettuare una misura olfattometrica presso un impianto di trattamento.....</b>	<b>pag. 69</b>
<b>7.13 Genesi e caratteristiche degli odori negli impianti di bioconversione.....</b>	<b>pag. 73</b>
<b><u>Capitolo 8 - Strategie di prevenzione e mitigazione degli</u></b>	

<b>odori</b> .....	pag. 77
<b>8.1 Le strategie di gestione intese alla prevenzione degli odori</b> .....	pag. 77
<b>8.2 Le strategie di gestione del problema</b> .....	pag. 79
<b>8.3 Le strategie di mitigazione - la strategia della dispersione</b> .....	pag. 80
<b>8.4 Le strategie di mitigazione - la strategia di abbattimento</b> .....	pag. 81
<b>Capitolo 9 - Tecnologie di abbattimento in uso nell'impianto trattato</b> .....	pag. 83
<b>9.1 Gli scrubbers</b> .....	pag. 83
<b>9.2 Il biofiltro</b> .....	pag. 85
<i>9.2.1 Stadi del processo</i> .....	pag. 87
<i>9.2.2 Componenti costruttivi</i> .....	pag. 89
<i>9.2.3 Parametri di dimensionamento</i> .....	pag. 91
<i>9.2.4 Dotazioni impiantistiche minime e condizioni operative ottimali</i> .....	pag. 93
<b>Capitolo 10 - Analisi dei dati sperimentali del biofiltro</b> .....	pag. 95
<b>10.1 Premessa</b> .....	pag. 95
<b>10.2 Parametri di controllo del biofiltro, perdite di carico</b> .....	pag. 96
<b>10.3 Analisi dei risultati ottenuti dalla misurazione delle perdite di carico del biofiltro</b> .....	pag. 100
<b>10.4 Parametri di controllo del biofiltro, temperatura e umidità, analisi dei dati</b> .....	pag. 103
<b>10.5 Possibili soluzioni e verifiche di queste</b> .....	pag. 105
<b>Bibliografia</b> .....	pag. 108
<b>Ringraziamenti</b> .....	pag. 110

## **Capitolo 1 - Introduzione**

Complice l'entrata a far parte dell'Unione Europea e del risultante recepimento delle sue normative e soprattutto dei suoi principi, nel nostro Paese si sta verificando un sostanziale incremento delle realtà territoriali attivate sul fronte della raccolta differenziata. L'intercettazione delle frazioni compostabili (umido e scarti verdi) sta assumendo un ruolo di sempre maggior rilevanza quantitativa nella raccolta differenziata. Infatti dal 1997 al 2007 si è passati da circa 604.000 ton di frazioni raccolte a 2.368.000 ton.

Questo sistema di recupero degli scarti organici è attualmente il più diffuso nel nostro Paese. Esso presenta indubbi problemi tecnico-gestionali, soprattutto riconducibili alle emissioni odorigene che raramente risultano però nocive o addirittura tossiche per la salute dell'ambiente e delle persone. Nonostante questo dato gli impianti di compostaggio incontrano spesso una diffusa e forte avversione da quella parte di popolazione interessata ad accogliere l'impianto sul proprio territorio rispetto anche ad impianti di indubbia maggior pericolosità. Per via di questo generale atteggiamento in Italia risulta pertanto esistere una normativa particolarmente stringente sulle garanzie ambientali necessarie per la realizzazione di impianti di compostaggio confrontata con quella europea. Questa normativa però lascia inalterata la difficoltà nella diffusione di un'impiantistica adeguata a rispondere alle necessità della raccolta differenziata.

Questo problema risulta ancor più rilevante come nel caso dell'impianto oggetto di studio situato in ambiente altamente urbanizzato. In questi territori ad alta densità abitativa spesso si assiste alla degenerazione del sistema dove protratte conflittualità con la popolazione interessata ostacolano l'esercizio o portano alla temporanea cessazione delle attività degli impianti esistenti. Ulteriore problema risulta essere il fatto che anche in impianti nuovi criteri corretti di progettazione e costruzione risultano essere alle volte non sufficienti per evitare le precedenti problematiche, diventa quindi oltremodo difficoltoso ottenere gli stessi risultati intervenendo su

impianti già esistenti con misure di riqualificazione adeguate e compatibili con la sostenibilità economica dell'impianto. Per tanto questa tesi si propone di individuare le problematiche esistenti e proporre soluzioni efficaci al rilevante problema delle emissioni odorigene che sembra caratterizzare questo impianto, tramite uno studio dello stato di fatto e l'analisi delle criticità riscontrate, concentrandosi in modo particolare sul biofiltro e sulla biofiltrazione, che sembra essere il problema principale che influenza la qualità delle emissioni. Il caso oggetto di questa tesi riguarda un impianto avviato nel 2004 che, dopo un lungo periodo di esercizio caratterizzato da problematiche ambientali mai pienamente risolte, è stato sottoposto dalla seconda metà del 2008 ad una semplice e sistematica revisione delle procedure gestionali e mirati interventi tecnici ed impiantistici nell'ambito di un percorso di risanamento e riqualificazione.

## **Capitolo 2 - Normativa**

### **2.1 Normativa Europea**

Fin dagli anni 1970, la gestione dei rifiuti è stata una delle problematiche di maggiore rilievo per le politiche ambientali della Comunità Europea. Il quadro normativo di riferimento a livello europeo comprende la *Direttiva Quadro sui rifiuti* (75/442/EEC), la *Direttiva sui rifiuti pericolosi* (91/689/EEC) ed il *Regolamento sul trasporto dei rifiuti* (Reg.259/93). Queste normative avevano l'obiettivo di regolare la gestione dei rifiuti evitando danni all'ambiente ed alla salute umana. Successivamente, furono integrate da normative riguardanti i trattamenti dei rifiuti e le operazioni di smaltimento, come la *Direttiva sulle discariche* (99/31/EC), la *Direttiva sull'incenerimento* (2000/76/EC) e da normative volte a gestire specifici flussi di rifiuti come la *Direttiva fanghi* (86/278/EEC), la *Direttiva sugli imballaggi* (94/62/EC) e così via. La politica dei rifiuti nell'Unione Europea è basata sul concetto della cosiddetta "gerarchia dei rifiuti" secondo la quale esistono delle opzioni preferenziali fra le diverse modalità di gestione dei rifiuti. La preferibile è la prevenzione della produzione dei rifiuti, mentre la peggiore è lo smaltimento in discarica. Fra le opzioni intermedie figurano il riciclaggio (fra cui è annoverabile il *compostaggio*) ed il recupero di energia.

### **2.2 Normativa Italiana**

Il settore del compostaggio fa riferimento a due principali argomenti di intervento:

- a) la gestione dei rifiuti,
- b) la commercializzazione e l'utilizzo dei fertilizzanti.

a) L'Italia recepisce l'impianto della normativa comunitaria pubblicando, nel 1997, il *Decreto Legislativo n. 22 del 5 febbraio 1997* "Attuazione delle direttive 91/156/CEE, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio", che presenta numerosi aspetti innovativi, supera le precedenti legislazioni e le unifica sotto lo stesso quadro normativo ed inoltre, evidenzia chiaramente il ruolo del riciclaggio come tecnologia appropriata nella politica di gestione dei rifiuti di un paese moderno e sviluppato rispetto al ruolo svolto dall'incenerimento e dal collocamento in discarica. Il terzo punto di interesse è la definizione di specifici obiettivi da raggiungere negli anni successivi in termini di recupero della frazione organica dei rifiuti solidi urbani e di riciclaggio.

Il *Decreto Legislativo 22/97 (Decreto Ronchi)* attribuisce alla legge 748/84 sui fertilizzanti tutte le competenze riguardanti la definizione delle caratteristiche di qualità dei compost che possono essere utilizzati in agricoltura senza alcuna restrizione di tipo quantitativo se non del rispetto delle buone pratiche agricole. La legge quadro in materia di rifiuti, abrogata dall'art. 264 del TU in materia ambientale, riprendeva la direttiva CEE/91/156 e classificava il *compostaggio tra le operazioni di recupero dei rifiuti*, introducendo a livello nazionale il concetto di produzione di compost di qualità a partire da matrici selezionate a monte tramite la raccolta differenziata.

Il *Testo Unico in materia ambientale n.152 del 3 aprile 2006* interessa per diversi aspetti il settore degli ammendanti e del compost ed in particolare coordina la legislazione ambientale per quanto riguarda le procedure per le autorizzazioni ambientali integrate (IPPC), la difesa del suolo e la lotta alla desertificazione, la tutela delle acque e la gestione delle risorse idriche e la gestione dei rifiuti, che abroga il d.lgs 22/97. Recentemente il Testo Unico è stato modificato dal d.lgs n. 4 del 16/01/08 riportante ulteriori disposizioni correttive ed integrative.



Il Testo Unico è stato modificato dal *D.Lgs. 4 del 16/01/08*, riportante ulteriori disposizioni correttive ed integrative; in particolare, all'art. 183, viene definita la nozione di “*Compost di qualità*” come “*prodotto ottenuto dal compostaggio di rifiuti organici raccolti separatamente, che rispetti i requisiti e le caratteristiche stabilite dall'allegato 2 del D.Lgs. n. 217 del 2006 e successive modifiche e integrazioni*”.

b) La *legge 19 ottobre 1984, n. 748* “Nuove norme per la disciplina dei fertilizzanti” e sue successive modifiche ed integrazioni individuava, prima della sua recente abrogazione, quattro tipologie di ammendanti: ammendante vegetale semplice non compostato, ammendante compostato verde, ammendante compostato misto ed ammendante torboso composto. L'inclusione del compost di qualità nella normativa nazionale dei fertilizzanti ha consentito, anche a questa tipologia di fertilizzante, l'adozione di un regime fiscale agevolato. L'agevolazione fiscale, la definizione di specifici obiettivi da raggiungere in termini di recupero della frazione organica dei residui solidi urbani e la presenza di una quadro normativo certo ha determinato un notevole incremento del numero di impianti di compostaggio e del livello di produzione.

Il *D.Lgs. 152/99* che aveva recepito nell'ordinamento nazionale la *Direttiva Nitrati del 1991*, è stato abrogato dall'articolo 175 del *D.Lgs 152/06*.

Il *D.Lgs. 217 del 29 aprile 2006* "Revisione della disciplina in materia di fertilizzanti" sostituisce la *L. 748/84* “Norme in materia di fertilizzanti”. Esso si applica ai prodotti immessi sul mercato come concimi CE, definiti dal regolamento (CE) n. 2003/2003 e ai concimi nazionali, ammendanti, correttivi e prodotti

correlati immessi sul mercato definiti, descritti e classificati negli allegati 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 13.

## **2.3 Normativa Regionale**

La *legge regionale 21/93* "Smaltimento di rifiuti urbani e di quelli dichiarati assimilabili a norma del D.P.R. 915/82. Funzioni della regione e delle province" stabilisce le modalità di esercizio delle funzioni regionali e di quelle provinciali nel campo specifico dei rifiuti urbani. La pianificazione delle attività di smaltimento dei rifiuti urbani e di quelli dichiarati assimilati viene effettuata dalla Regione attraverso i piani provinciali elaborati secondo criteri contenuti nella citata legge. In questa legge vengono definite due diverse tipologie di rifiuti umidi, gli scarti vegetali derivanti dalla manutenzione del verde pubblico e privato e gli scarti di provenienza alimentare collettiva e mercatale. La legge è stata abrogata dalla lett. k) del primo comma dell'art. 57 della L.R. 12 dicembre 2003, n. 26.

La *L.R. 12 dicembre 2003, n. 26* "Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche". In essa si evince che la Regione orienta le attività di recupero e smaltimento verso un sistema integrato di gestione dei rifiuti che, per quanto concerne i rifiuti urbani, assicuri l'autosufficienza regionale per lo smaltimento e tenda in generale a:

- a) assicurare un'efficace protezione della salute e dell'ambiente;
- b) ridurre la quantità e la pericolosità dei rifiuti, da attuare anche con azioni positive a carattere preventivo;
- c) ottimizzare e integrare le operazioni di riutilizzo, recupero e riciclaggio come materia delle singole frazioni dei rifiuti urbani provenienti dalla raccolta differenziata e dai rifiuti speciali;
- d) incentivare e sostenere l'effettivo e oggettivo recupero, sia in termini di materia

sia in termini di energia, delle frazioni di rifiuto urbano nonché il recupero dei rifiuti speciali e di particolari categorie di rifiuti, tra i quali i veicoli a fine vita e i rifiuti elettrici ed elettronici, ivi compresi in particolare i frigoriferi, i surgelatori, i condizionatori d'aria e quant'altro contenente sostanze lesive dell'ozono stratosferico;

e) incentivare l'adozione di forme di autosmaltimento;

f) promuovere l'utilizzo dei materiali derivanti dalle operazioni di recupero e riciclaggio.

Essa tratta i temi di gestione dei rifiuti, pianificazione e pianificazione provinciale per la gestione dei rifiuti, azioni per il recupero di questi ed elenca gli obiettivi emersi dai precedenti punti.

Per la normativa regionale in materia di compostaggio si fa particolare riferimento alla *Deliberazione 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". Questo strumento si rivela completo al fine della costruzione e dell'esercizio di impianti di produzione di compost. Le linee guida hanno lo scopo di fornire un contributo sia agli operatori del settore che a coloro che operano nell'ambito della pubblica amministrazione e risultano utili sia per il rilascio delle autorizzazioni che per l'effettuazione dei controlli del/i prodotti e della operatività degli impianti da parte degli enti preposti. Esse comprendono indicazioni tecniche riguardanti le caratteristiche minime che gli impianti devono possedere, le specifiche analitiche delle diverse tipologie di prodotti, le metodiche analitiche e le modalità d'impiego di questi. Definisce inoltre i sistemi tecnologici, i trattamenti biologici, l'articolazione e gli obiettivi dei processi descritti e i parametri indicanti i contenuti in metallo, la fitotossicità e le caratteristiche della componente organica nelle diverse categorie di compost proposte. Dà i criteri necessari al fine del campionamento delle emissioni e della valutazione dei dati ottenuti.

## Capitolo 3 - Lo stato di fatto

### 3.1 Localizzazione dell'impianto

L'area interessata dall'impianto è posta nel Comune di Cologno Monzese e confina



*Illustrazione 1: vista dall'alto dell'impianto*

per i lati posti a Nord, Est e Sud con una cava di estrazione di materiale inerte localizzata nel Comune di Cernusco sul Naviglio, mentre a Ovest confina con la strada provinciale n. 113. La distanza dell'area in oggetto dai primi insediamenti abitativi è di 500 m

circa. La superficie complessiva a disposizione è di circa 23.000 m<sup>2</sup>. L'impianto è facilmente accessibile essendo localizzato in fregio alla strada provinciale, in prossimità dell'uscita 13 della tangenziale Est di Milano.

L'area interessata non è soggetta a vincoli idrogeologici, paesistici, archeologici, sismici, architettonici e ad esondazioni fluviali. Il sito dell'impianto in questione rientra nell'area di piano paesistico denominata "area Brianza Meridionale", è vicina ma esterna e separata ad area individuata nel piano Cave Provinciale.

L'area è compresa in zona adibita ad area verde, parcheggi, attrezzature ed impianti di carattere generale di interesse comunale.

### 3.2 Quantità rifiuti addotti all'impianto

L'impianto di compostaggio ha una potenzialità di trattamento autorizzata di 28.600  $\pm$  5% t/anno di rifiuti organici compostabili costituiti da rifiuti di provenienza alimentare collettiva, domestica e mercatale, da rifiuti vegetali derivati da attività di manutenzione del verde pubblico e privato, da scarti ligno-cellulosici.

Il bacino dell'impianto comprende circa 280.000 abitanti (dati del 2001) come riportato nella seguente tabella:

<b>COMUNE</b>	<b>ABITANTI</b>
Cologno Monzese	50.521
Sesto San Giovanni	84.294
Cormano	18.349
Segrate	32.877
Pioltello	32.772
Cernusco S.N.	27.500
Brugherio	30.700
<b>TOTALE</b>	<b>280.000</b>

*Tabella 1: bacino di utenza dell'impianto*

La miscela trattata dall'impianto è composta da materiale organico (proveniente dalla raccolta differenziata domestica, dai mercati, dalla ristorazione collettiva) e da materiali ligno-cellulosici (potature e materiale legnoso in genere). Quest'ultimo è necessario come agente strutturante e per bilanciare il rapporto C/N del compost prodotto, in generale 1/3 del materiale trattato proviene dai materiali ligno-cellulosici e 2/3 dal materiale organico.

### 3.3 Tipologie di rifiuti conferibili all'impianto

Le tipologie di rifiuti conferibili all'impianto sono:

- 20 01 rifiuti urbani-frazioni oggetto di raccolta differenziata
  - 20 01 08 rifiuti biodegradabili di cucine e mense
  - 20 01 25 oli e grassi commestibili
  - 20 01 38 legno, diverso da quello alla voce 20 01 37
- 20 02 rifiuti prodotti da giardini e parchi (inclusi i rifiuti provenienti da cimiteri)
  - 20 02 01 rifiuti biodegradabili
  - 20 02 02 rifiuti dei mercati
- 19 12 rifiuti prodotti da impianto di trattamento meccanico dei rifiuti
  - 19 12 07 legno diverso da quello di cui alla voce 19 12 06

#### Rifiuti verdi

Tale categoria comprende i residui da potature, sfalci, e raccolta fogliame; la raccolta di tali frazioni viene condotta direttamente nel luogo di produzione (aree pubbliche) oppure tramite appositi centri di raccolta dove la cittadinanza ha l'obbligo di conferirle.



*Illustrazione 2: frazione lignocellulosica*

### Organico da utenze domestica

La frazione organica del rifiuto (FORSU) è costituita dagli scarti di cucina di origine vegetale e animale. Tale frazione organica viene conferita alla raccolta in appositi contenitori , eventualmente chiusa in speciali sacchetti in materiale biodegradabile. La raccolta differenziata dell'umido viene condotta con modalità ed idonei mezzi di trasporto che consentono di evitare la contaminazione del rifiuto con rifiuti di altra natura.

Dal punto di vista quantitativo, analizzando la composizione merceologica dei rifiuti solidi urbani di provenienza domestica, si evince la possibilità di recuperare circa 300 g/ab/giorno come frazione di rifiuto organico.

### **3.4 Qualità dei rifiuti ammissibili all'impianto**

La qualità del compost prodotto è direttamente proporzionale alla qualità del rifiuto organico e del verde conferiti all'impianto. Lo standard qualitativo è definito dalla legge, esso deve rimanere costante nel tempo, per consentire la collocabilità del prodotto sul mercato.

La qualità della frazione organica è determinata dal grado di attenzione e partecipazione che i cittadini pongono nella scelta dei materiali da conferire, in questo senso l'uso di sacchetti in materiale biodegradabile risulta indispensabile ma nella pratica non attuato data l'elevatissima frazione di plastica che si riscontra all'ingresso del materiale organico e che permane anche dopo le vagliature e i processi di digestione e maturazione del compost.

Per quanto riguarda la qualità del verde va segnalato che il fogliame e gli sfalci provenienti dalle zone pubbliche a forte presenza di traffico veicolare non vengono confluite all'impianto per evitare il problema dell'inquinamento dovuto ai metalli pesanti.

Al momento della ricezione delle varie partite vengono effettuati controlli di carattere generale e campionamenti puntuali. Onde evitare di non compromettere la qualità del prodotto in caso di partite fortemente inquinate queste vengono rifiutate. Questo processo è utile anche per individuare i siti di provenienza non idonei e migliorare le attività di raccolta differenziata.



### 3.5 Standard di qualità per il compost prodotto

Parametro	Unità di misura	Limite
Cd	ppm	$\leq 1.5$
CrVI	ppm	$\leq 150$
Cu	ppm	$\leq 150$
Hg	ppm	$\leq 1.5$
Ni	ppm	$\leq 100$
Pb	ppm	$\leq 140$
Zn	ppm	$\leq 500$
Inerti	%	$< 0.9$
Plastiche	%	$< 0.45$

Tabella 2: parametri di qualità del compost

### 3.6 Processo di compostaggio

Il processo di compostaggio avviene principalmente in cinque fasi successive:

1. Formazione della miscela compostabile: si ottiene attraverso il mescolamento di FORSU e scarto verde da sfalci e potature a cui si possono aggiungere gli scarti grossolani di raffinazione del compost prodotto, costituiti per lo più da legno parzialmente compostato, che vengono introdotti riciclati in testa all'impianto. I materiali di partenza vengono introdotti in una macchina che ha la funzione di lacerare i sacchetti che contengono la frazione organica e di miscelare il rifiuto organico con le matrici lignocellulosiche. Il dosaggio dei vari componenti della miscela viene realizzato manualmente, in modo da assicurare una buona permeabilità all'aria e all'acqua della miscela e il corretto rapporto carbonio/azoto di partenza. Tale rapporto deve attestarsi intorno al valore:

$$C/N = 20 - 30$$

Prima di essere avviata alla fase successiva la miscela viene accuratamente deferrizzata attraverso un elettromagnete a tappeto rotante di elevata potenza. La deferrizzazione condotta su strato sottile consente di eliminare i metalli ferrosi che spesso risultano uniti ad altri metalli pesanti (cadmio, zinco...) incompatibili col processo e pericolosi per la qualità del prodotto finale.

2. Biossidazione accelerata: viene condotta all'interno di biocelle costituite da box di cemento a completa tenuta d'aria e di liquidi, dotati di isolamento termico. La biossidazione accelerata si svolge in 4 fasi:

- fase 1: raggiungimento della temperatura di esercizio di ~ 40°C
- fase 2: fase principale di demolizione con temperature tra 40°C e 50°C
- fase 3: igienizzazione del materiale ad una temperatura (misurata nell'aria di scarico) di 55°C per un periodo di almeno 3 giorni consecutivi
- fase 4: raffreddamento del compost fresco ed estrazione dell'umidità in eccesso.

Attraverso la biossidazione in biocelle si ottiene in 7-10 giorni il cosiddetto "compost fresco". Durante questo periodo si verifica nella biomassa una perdita di peso, variabile dal 30% al 50%, a seconda delle caratteristiche del materiale in ingresso. Il compost fresco così prodotto viene steso in cumuli e ulteriormente maturato.

3. Maturazione: della durata di almeno 60 giorni, in cui avviene il completamento della maturazione del compost. Aumenta perciò il tasso della humificazione del prodotto, che diviene stabile, giungendo a indici respirometrici bassi.

Dal punto di vista impiantistico questa trasformazione viene effettuata insufflando aria nel materiale in maturazione per circa 20 giorni, controllando umidità e temperatura dei cumuli. Al termine di questa prima fase il materiale viene trasferito

meccanicamente nella seconda campata dove viene lasciato a riposo per circa 40 giorni, al fine di permettere una buona humificazione del compost.

4. Raffinazione del compost prodotto: si separano i materiali grossolani e inerti (legno non degradato, plastiche, metalli, inerti e vetro). Questa operazione si svolge in due fasi successive: una vagliatura avente lo scopo di attuare una selezione granulometrica asportando i materiali grossolani (legno, plastica) ed una selezione densimetrica in corrente d'aria, avente la finalità di separare le frazioni leggere (frammenti di film plastici, polveri) e le frazioni pesanti (inerti, vetro, metalli) dalla frazione di prodotto.

Le polveri prodotte in fase di vagliatura e di separazione aerea vengono trattenute in un filtro a maniche, posto sul sistema di cappe aspiranti che copre le macchine e tutti i punti di caduta dei materiali in questa sezione.

5. Stoccaggio: il compost maturo e raffinato viene stoccato in cumuli. In questa fase il compost raggiunge il perfetto grado di maturazione, al fine della sua migliore commercializzazione. Dal punto di vista tecnico lo stoccaggio è effettuato al chiuso e la movimentazione del materiale avviene con l'ausilio di pale gommate. In questa sezione è anche posizionata la postazione di carico degli automezzi che trasportano il compost (prodotto pronto per essere commercializzato).



*Illustrazione 3: stoccaggio compost maturo*

Tutte le aree dell'impianto in cui si lavorano i FORSU e il compost sono poste al chiuso e tenute in forte depressione aspirando in continuazione aria dall'interno dei fabbricati.

L'impianto di aspirazione dell'aria prevede la compartimentazione in due aree operative distinte: alla prima, che comprende la zona di ricezione FORSU, di miscelazione e di alimentazione della miscela vengono assicurati 3 ricambi per ora e la portata volumetrica dell'aria estratta è di 40.000 Nm<sup>3</sup>/h. Quest'aria estratta viene utilizzata come aria di ambientazione della zona di maturazione. Alla seconda, costituita dalla zona di maturazione, sono garantiti 4 ricambi ora e l'aria estratta (120.000 Nm<sup>3</sup>/h) viene inviata all'impianto di trattamento (torri di lavaggio+biofiltro).

L'aria viene estratta dal fabbricato tramite opportuni sistemi di canalizzazione, che la convogliano alle torri di lavaggio, dove, in caso di necessità, è previsto un by pass. Nelle torri di lavaggio l'aria viene opportunamente umidificata e depolverata prima di essere inviata ai biofiltri. L'aria di spurgo della zona di bioossidazione accelerata (biocelle) viene unita all'aria aspirata dalla zona di maturazione e quindi avviata insieme a questa alle torri di lavaggio e ai biofiltri.

## Capitolo 4 - Descrizione tecnica dell'impianto

### 4.1 Dimensionamento delle sezioni impiantistiche

#### 4.1.1 Generalità

L'impianto funziona su un turno giornaliero di 6 ore, per un'operatività media di 300 giorni all'anno.

La potenzialità media orario risulta quindi :

$$28.600 / 300 = 95.3 \text{ t/giorno}$$

per cui risultano essere trattati mediamente 15,9 t/h (di cui 11,1 t/h medie di materia organica e 4,8 t/h di lignocellulosici).

Tenendo conto della stagionalità della produzione di rifiuti e di eventuali punte di conferimento della FORSU in corrispondenza di festività, etc., la portata di punta complessivamente da trattare viene assunta pari a:

$$15,9 \text{ t/h FORSU} : 0,7 = 22,7 \text{ t/h miscela da compostare}$$

Tale portata di punta fu utilizzata per il dimensionamento delle sezioni impiantistiche di pretrattamento e biocelle.

#### 4.1.2 Biocelle

Considerata che la durata della bioossidazione accelerata all'interno dei box delle biocelle è di 7 giorni, la quantità complessiva trattata in tale periodo risulta quella

conferita nella settimana di 6 giorni lavorativi, pari a

$15,9 \text{ t/h} * 6 \text{ ore/giorno} * 6 \text{ giorni} = 572,4 \text{ t/settimana}$  (portata media di progetto)

$22,7 \text{ t/h} * 6 \text{ ore/giorno} * 6 \text{ giorni} = 817,2 \text{ t/settimana}$  (portata di punta).

La composizione media annua in media risulta essere:

FORSU: 19.200 t/anno

Verde: 9.400 t/anno.

Lo schema di processo consente il ricircolo, in testa all'impianto, dei materiali lignocellulosici parzialmente compostati, che provengono dalla sezione di raffinazione del prodotto finito. Tali materiali, particolarmente adatti a fungere da strutturante della miscela iniziale possono essere ritenuti in razione del 30% del materiale verde in ingresso, quindi in un quantitativo medio di 2820 t/anno.

La composizione della miscela risulta la seguente:

TIPOLOGIA	QUANTITA' (t/anno)	UMIDITA'
Verde	9.400	55 %
FORSU	19.200	80 %
Ricircolo	2.820	30 %
Miscela		68 %

*Tabella 3: composizione miscela rifiuto in ingresso*

L'umidità come sopra calcolata, che corrisponde alle peggiori condizioni concomitanti di umidità dei prodotti in ingresso, risulta compatibile con le prescrizioni del produttore delle biocelle. Infatti l'umidità della miscela in ingresso

alle biocelle può essere compresa tra il 60 e il 70 %, assicurando il rispetto delle condizioni della bio-ossidazione in cumulo statico.



*Illustrazione 4: biocelle*

### 4.1.3 Maturazione

A seguito della riduzione ottenuta durante la fase di maturazione, stimabile in circa 50% per la FORSU e il 30% per il materiale lignocellulosico si ottiene:

$11,1 \text{ t/h} * 0,5 + 4,8 * 0,7 \text{ t/h} = 8,91 \text{ t/h}$  di materiale maturo (compost fresco)

ossia una riduzione di ~ il 44% rispetto alle 15,9 t/h in ingresso.

Considerando un peso specifico del materiale di  $0,5 \text{ t/m}^3$ , il volume si riduce a:

$$572,4 \text{ t} * (1-0,44)/0,5 \text{ t/m}^3 = 641 \text{ m}^3 \text{ per settimana di produzione.}$$

Il periodo di maturazione si completa con altri 60 giorni di lavorazione (pari a 8,6 settimane), in cui il materiale viene posto a maturare staticamente nell'area del fabbricato appositamente destinata e dove viene rimescolato periodicamente per abbatterne l'umidità.

Il volume del prodotto in maturazione statica risulta:

$$641 \text{ m}^3 * 8,6 = 5513 \text{ m}^3$$

La volumetria disponibile per il ricevimento di tale quantità di materiale è, considerando trasversalmente la campata da 32 m occupata per 24 m da materiale e 8 metri per il passaggio della pala gommata e un'altezza dei cumuli pari a 2,5 m:

$$\text{campate M-R 3-7: } 2,5 \text{ m} * 40 \text{ m} * 24 \text{ m} = 2400 \text{ m}^3$$

$$\text{campate M-R 7-11: } 2,5 \text{ m} * 72 \text{ m} * 24 \text{ m} = 4320 \text{ m}^3$$

per un totale di  $\sim 6720 \text{ m}^3$  superiore a quanto richiesto dalla portata media.





*Illustrazione 5: piste di maturazione*

#### 4.1.4 Raffinazione

Considerando un ulteriore calo di peso durante la fase di maturazione pari al 12,5% del materiale alimentato, ne segue che la portata media in ingresso alla fase di raffinazione risulta:

$$8,91 * 0,875 = 7.8 \text{ t/h}$$

Durante la raffinazione il compost maturo attraversa un vaglio a tamburo, dove viene separata la frazione ligno-cellulosica non degradata, che viene poi riciclata in testa alla linea di trattamento. Il sottovaglio viene quindi raffinato in una tavola densimetrica ad aria che rimuove la frazione leggera (principalmente plastica in

piccoli frammenti) e gli inerti, presenti soprattutto sotto forma di vetro e metalli non ferrosi.

Dall'analisi della composizione della miscela compostata si desumono i seguenti quantitativi di materiali separati:

legno al ricircolo: 1,76 t/h

scarti leggeri + inerti: 1,05 t/h

Il compost raffinato prodotto e pronto alla vendita risulta quindi:

$7,8 - 1,76 - 1,05 = 4,99$  t/h pari circa a 30 t/giorno.

#### 4.1.5 Maturazione post-vagliatura e stoccaggio prodotto finito

Considerando un peso specifico apparente del compost raffinato di  $0,6 \text{ t/m}^3$  il volume risulta:

$$(4,99 \text{ t/h} * 6 \text{ h/gg}) / 0,6 \text{ t/m}^3 \approx 50 \text{ m}^3/\text{gg}$$

La zona destinata allo stoccaggio del compost maturo presenta una superficie a terra di circa 60 m di lunghezza per 12 m di larghezza con cumuli alti 3 m. Il volume disponibile risulta di:

$$60 * 12 * 3 = 2160 \text{ m}^3$$

Questo volume garantisce un tempo di permanenza di:

$2160 \text{ m}^3 / 50 \text{ m}^3/\text{gg} \approx 44 \text{ giorni}$

Ciò permette la gestione dei volumi di stoccaggio in modo razionale assicurando nel contempo i 90 giorni complessivi di trattamento previsti e prescritti.

## **4.2 Sezioni di trattamento**

### 4.2.1 Sezione di ricezione della frazione organica da raccolta differenziata (FORSU)

Dopo avere svolto le operazioni di pesatura, gli automezzi raggiungono le zone di scarico.

Il sistema di scarico della frazione organica è organizzato nella tipologia "a bussola", con la presenza di un doppio portone dove l'apertura del portone nei comparti di scarico è possibile solo una volta che il portone di accesso alla precamera è completamente chiuso. In maniera analoga l'uscita dell'automezzo dopo le operazioni di scarico sarà possibile solo dopo che il portone della zona di scarico sarà in posizione chiusa. In questo modo si minimizza la possibilità di fuoriuscita di effluenti maleodoranti dal fabbricato.

Il ricevimento della frazione organica è organizzato in modo tale da consentire separazione di diverse partite di rifiuto. Tali partite infatti possono avere caratteristiche e composizione diverse; in questo modo si permette quindi un dosaggio migliore nella formazione della miscela.

In corrispondenza della zona di scarico degli automezzi è ricavata su tutta la larghezza di scarico una fossa, al fine di aumentare la capacità di stoccaggio del plateatico. Tale platea è disposta in pendenza fino alla quota del piano del pavimento interno dell'impianto, e quindi permettere la migliore accessibilità ai mezzi d'opera in movimentazione e carico al trituratore.

La superficie del comparto di scarico è di circa  $183 \text{ m}^2$  con un volume di

stoccaggio stimabile in circa 200-250 m<sup>3</sup> (circa 150-200 t di materiale) pari alla produzione di circa due giornate di lavoro.

La gestione normale dei rifiuti può avvenire in modo da smaltire la portata giornaliera all'interno della stessa giornata lavorativa. Alla fine del turno di lavoro i comparti e la linea di triturazione possono essere completamente svuotati.

La movimentazione dei materiali dalla sezione di ricezione a quella di miscelazione e triturazione avviene con pala gommata.

La precamera, la zona di ricezione e di pre-trattamento sono mantenute in depressione dal sistema di aspirazione dell'aria in modo da impedire qualsiasi possibilità di fuga verso l'ambiente esterno all'aria maleodorante eventualmente prodottasi in fossa.

In tali zone sono garantiti 3 ricambi di ari/ora, mediante condotte di aspirazione raccordate ad una tubazione principale di aspirazione, in cui sono installati i ventilatori.

Il comparto di scarico è dotato di proprio sistema di drenaggio del percolato eventualmente prodotto. Il percolato, confluisce per gravità nella vasca di raccolta da cui viene periodicamente allontanato tramite autobotte. La precamera di scarico è pavimentata e garantisce la pendenza della zona di scarico dei mezzi verso la vasca sopra citata, in modo da consentire la raccolta delle acque di lavaggio e dei percolati.

Nella zona di miscelazione triturazione opera una pala gommata, il cui operatore, oltre a formare le miscele di lavorazione e a caricare la linea di triturazione, deve assistere alle operazioni di scarico dei mezzi conferitori. In caso di conferimento di materiali non accettabili nell'impianto (rifiuti pericolosi, ingombranti, sacchi neri, ecc.) l'operatore della pala gommata deve segnalarne immediatamente al capoturno o il capo impianto la presenza, affinché l'autista del mezzo conferitore possa essere avvertito e il carico esaminato in contraddittorio per l'eventuale respinta.

#### 4.2.2 Sezione di ricezione e triturazione dei rifiuti verdi

Dopo avere svolto le operazioni di pesatura, gli automezzi del verde percorrono la viabilità interna sino a portarsi nella zona di scarico, prevista all'interno del capannone, sul lato ovest.

La zona di scarico sarà completamente chiusa. Il portone di accesso è dotato di un gruppo moto-riduttore che ne consente la chiusura/apertura automatica rapida con comando locale.

La zona di scarico è posta alla stessa quota pavimento e quindi comodamente accessibile ai mezzi d'opera di movimentazione e carico del cippatore che serve a ridurre la pezzatura. La movimentazione ed il caricamento alla triturazione dei materiali ligno-cellulosici vengono effettuati mediante ragno gommato dotato di apposita pinza per ramaglie.

All'interno della sezione è disposta un'area di stoccaggio del materiale ligno-cellulosico in modo da prolungarne al massimo il periodo di disponibilità di tali frazioni per l'alimentazione dell'impianto.

Stimando un peso specifico in mucchio cautelativamente pari a  $250 \text{ kg/m}^3$  (circa  $500 \text{ Kg/m}^3$  per il cippato) ed un'altezza di 2,5-3 m, la capacità di stoccaggio è di

$$30 \text{ m} * 7 \text{ m} * 2,75 \text{ m} * 0,25(\text{o } 0,5) \text{ t/m}^3 = 150\text{-}300 \text{ t}$$

Il pretrattamento è necessario per gli scarti ligno-cellulosici e consiste in una operazione di riduzione controllata della pezzatura a valori compatibili con il processo di compostaggio. Per assicurare la massima flessibilità impiantistica, la macchina cippatrice è dotata di un sistema di regolazione della pezzatura del materiale in uscita, compresa tra 20 e 80 mm.

Il cippatore è dotato di un'ampia tramoggia di carico al fine di assicurare un più agevole caricamento delle ramaglie ed un migliore funzionamento delle apparecchiature di valle.

Il materiale cippato viene ripreso dal nastro di scarico della macchina e di qui scaricato in un apposito box di calcestruzzo realizzato direttamente nella zona di ricezione FORSU.

#### 4.2.3 Sezione di triturazione e miscelazione (pre-trattamento)

L'operatore addetto alla movimentazione dei materiali ha il compito, fondamentale per l'ottenimento di un buon prodotto finale, di formare la corretta miscela all'interno del miscelatore-tritratore. L'operazione avviene direttamente tramite la pala gommata, caricando le giuste proporzioni in volume dei vari componenti nel tritratore-miscelatore; tale macchinario ha un funzionamento di tipo "continuo", ed è dotato di una tramoggia polmone necessaria alla fase di caricamento, che alimenta con regolarità il rotore miscelatore.

I dosaggi ottimali delle varie frazioni sono fissati in base a valutazioni densimetriche della miscela da avviare al trattamento di compostaggio, che deve sempre essere tale da assicurare la necessaria porosità in tutte le stagioni e situazioni di marcia. Sono riciclati all'interno dell'impianto anche gli scarti lignei grossolani di raffinazione che oltre ad essere porosi, forniscono al processo ceppi batterici già attivi.

La miscela di lavorazione deve essere di giorno in giorno ottimizzata in funzione delle caratteristiche di umidità e composizione dei rifiuti conferiti e di quelle del verde e degli scarti di raffinazione riciccolanti. La composizione ideale della miscela prevede un contenuto di umidità del 60%, a cui corrisponde una densità apparente di 600-650 Kg/m<sup>3</sup>.

Normalmente tale risultato si ottiene mescolando in volume 2 parti di umido + 2 parti di sovrullo di raffinazione + 1 parte di rifiuto verde, ma tale "ricetta" deve essere giornalmente rivista alla luce della qualità e della quantità dei rifiuti conferiti.

Per valutare le caratteristiche della miscela prodotta, l'addetto alla pala gommata

può pesare, a mezzo della bilancia di reparto il volume noto di miscela (20 litri) prelevato (a inizio turno o quando lo ritenga necessario) manualmente dal cumulo di materiale triturato raccolto nel reparto biocelle.

Qualora il peso del campione di volume noto fosse compreso tra 11 e 13 Kg la miscela può essere considerata accettabile, altrimenti l'addetto alla preparazione della miscela dovrà apportare le necessarie variazioni di miscela. In periodi particolarmente secchi ed in presenza di rifiuti disidratati, è possibile anche aggiungere acqua alla miscela triturata, a mezzo dei dispositivi installati nel box di ricevimento della miscela triturata posto nel reparto biocelle. Tali dispositivi sono azionati a mezzo telecomando dall'operatore della pala gommata adibita al caricamento delle biocelle, secondo quanto disposto dall'operatore preposto alla formazione della miscela.

Il materiale in uscita dal trituratore-miscelatore viene raccolto da un trasportatore a nastro; una volta su nastro la miscela viene sottoposta ad un trattamento di deferrizzazione mediante un separatore elettromagnetico ad alta efficienza. Il materiale viene quindi trasportato al box di alimentazione delle biocelle, da cui viene ripreso con la seconda pala gommata.

La zona di miscelazione e triturazione risulta ubicata nella stessa area della zona di ricezione della frazione umida e viene tenuta in depressione mediante lo stesso sistema di aspirazione dell'aria in cui sono previsti 3 ricambi ora di aria.

In tale sezione è presente una rete di drenaggio dei percolati e delle acque di lavaggio della pavimentazione.

#### 4.2.4 Sezione di bioossidazione accelerata (biocelle)

La fase di bioossidazione accelerata viene svolta all'interno di 6 biocelle, costituite da box in calcestruzzo larghi 4m, alti 4m e lunghi 30m.

Il volume totale di ogni singola biocella è di circa 320 m<sup>3</sup>.

Le biocelle sono rivestite esternamente con uno strato isolante di poliuretano espanso di 5 cm di spessore, protetto a sua volta da un'adeguata vernice epossidica. Grazie a questo cappotto termico la fermentazione all'interno delle biocelle può svolgersi in modo del tutto indipendente dalle condizioni climatiche esterne.

Il processo di fermentazione si svolge in 4 fasi:

- fase 1: raggiungimento della temperatura di esercizio di ~ 40°C
- fase 2: fase principale di demolizione con temperature tra 40°C e 50°C
- fase 3: igienizzazione del materiale ad una temperatura (misurata nell'aria di scarico) di 55°C per un periodo di almeno 3 giorni consecutivi
- fase 4: raffreddamento del compost fresco ed estrazione dell'umidità in eccesso.

Durante la fermentazione accelerata, mediante un apporto di aria controllato in relazione al processo biologico in atto, si ottiene, in un tempo brevissimo, una degradazione microbiologica delle sostanze organiche facilmente degradabili. Come prodotti di risulta si generano gas e vapori, in particolare CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, mentre rimangono le sostanze organiche più difficilmente degradabili.

Il processo viene regolato in funzione del valore massimo di CO<sub>2</sub> prodotta, assicurando i valori ottimali di umidità, di temperatura e di concentrazione di O<sub>2</sub> nel materiale.

La massa fresca da compostare viene caricata sul fondo forato della biocella dal davanti, mediante una pala gommata, fino ad una determinata altezza, che dipende dal peso specifico, della pezzatura e dall'umidità del materiale. L'altezza media iniziale del cumulo in biocella è normalmente di 2,5-2,8 m. Nel corso del trattamento, la biomassa si riduce sia di peso che di volume e al termine del processo il cumulo risulta alto circa 2 metri.



Lo spazio sotto il pavimento forato è suddiviso, trasversalmente, in 8 settori (interasse 2,50 m) che possono essere alimentati con aria in modo differenziato, in relazione alle esigenze del processo.

Per consentire il passaggio dell'aria insufflata al di sotto del pavimento forato, è necessario provvedere alla pulizia dei fori prima di ogni riempimento della biocella.

Completato il riempimento della biocella, viene chiuso il portello interno di contenimento e quindi il portellone anteriore, dotato di guarnizione perimetrale gonfiabile che garantisce la tenuta stagna.

Per realizzare le condizioni ottimali del processo di bioossidazione sono disponibili tre distinti flussi di areazione, regolabili separatamente e in modo completamente automatizzato in funzione dei fabbisogni di ossigeno, ovvero della produzione di anidride carbonica, e della temperatura della biomassa.

Tali flussi sono:

aria fresca (aspirata dalla zona di pretrattamento/capannone)

aria di ricircolo non raffreddata

aria di ricircolo raffreddata.

Aerazione, depurazione aria di scarico, regolazione del processo in fase di fermentazione:

l'aria nell'attraversare la massa in fermentazione si carica di anidride carbonica e di sostanze maleodoranti. Quest'aria, aspirata dal tetto della biocella, può essere miscelata direttamente con aria fresca (aria di ricircolo non raffreddata), oppure passare attraverso uno scambiatore di calore aria/acqua, per poi essere reintrodotta nel circuito di aerazione come aria di ricircolo raffreddata da miscelare con aria

fresca. Periodicamente una parte dell'aria ricircolata viene spurgata ed inviata al sistema di trattamento aria per essere depurata e quindi scaricata all'esterno.

Un computer regola l'interno processo di fermentazione secondo un programma prestabilito, in funzione della temperatura e della concentrazione di ossigeno, ovvero della CO<sub>2</sub> misurata nell'aria di scarico. La regolazione, impostata in base alla produzione massima di CO<sub>2</sub>, garantisce le condizioni ideali di umidità, di temperatura e di concentrazione di ossigeno nella biomassa, durante l'intero processo di fermentazione.

Mediante un idoneo dosaggio dell'aria di ricircolo con l'aria fresca si riesce a mantenere un livello di umidità dell'aria prossimo al 100%, cosicché si evita l'essiccamento del materiale sul fondo e non risulta necessario irrigarlo con acqua durante il processo di fermentazione.

La quantità di aria fresca necessaria per areare le biocelle viene prelevata dall'interno del capannone, consentendo così di mantenere la depressione.

Il calore dell'acqua di raffreddamento proveniente dallo scambiatore aria/acqua viene ceduto in atmosfera attraverso una torre di raffreddamento.

L'acqua di condensa proveniente dallo scambiatore aria/acqua (lato aria) viene scaricata in fognatura e quindi avviata al trattamento nel depuratore consortile.

Le eventuali acque di percolazione, che si raccolgono sotto il pavimento forato della biocella nei primi giorni di fermentazione, vengono pompate con regolarità in un pozzetto di raccolta. Di qui tali acque, fortemente inquinate, vengono sparse mediante ugelli dall'alto della biocella sul materiale in fermentazione e, grazie all'elevata temperatura, evaporano; si evita così di doverle smaltire in impianti di trattamento autorizzati.

Il sistema di ricircolo dell'aria permette, specie nelle stagioni fredde, quando anche il materiale da compostare è a bassa temperatura, di ridurre la durata della prima fase di fermentazione fino al raggiungimento della temperatura di regime. Anche durante la fase di igienizzazione il ricircolo dell'aria viene utilizzato per mantenere l'umidità e la temperatura nei box a livelli elevati, onde garantire l'eliminazione dei

germi patogeni anche sul fondo e nelle zone esterne della biomassa. Con il sistema di regolazione computerizzato è possibile anche funzionare con aria miscelata, al fine di garantire sempre i valori ottimali di temperatura e di CO<sub>2</sub>.

#### Regolazione computerizzata dell'aerazione:

il processo di fermentazione viene costantemente tenuto sotto controllo per tutta la sua durata (7 giorni). Ad intervalli regolabili e prestabiliti i valori attuali dei diversi parametri vengono confrontati con quelli teorici, operando di conseguenza le necessarie variazioni. Il programma computerizzato è in grado di regolare automaticamente l'andamento del processo di fermentazione distintamente in ogni box. Grazie alla concezione modulare dell'impianto di compostaggio Herhof è possibile impostare valori di soglia diversi per ogni box e anche per ogni carica. Tutti i dati vengono registrati ed elaborati in un computer centrale dove possono essere monitorati a video o stampati.

Il materiale in uscita dalla biocella presenta caratteristiche nettamente diverse da quelle del materiale fresco. Mediante il processo biologico aerobico si ottiene infatti un prodotto avente indice respirometrico statico di circa 600 mg/O<sub>2</sub> Kg di SShr, avente pH intorno a 6,0 e umidità del 45-50% (in teoria). Diverse condizioni del materiale in uscita (da controllare su ogni biocella) denotano problemi alla conduzione del processo, che potrebbero derivare sia dai dispositivi di comando e controllo delle biocelle, sia dalle condizioni della miscela iniziale.

E' possibile rivedere e reimpostare ad ogni carica, i valori di set point dei vari parametri regolabili del processo, in funzione dei risultati ottenuti nella carica precedente, al fine di condurre sempre il processo nelle condizioni ottimali che consentono di ottenere un prodotto aerobico, direttamente lavorabile nella successiva sezione di maturazione.

#### 4.2.5 Sezione di maturazione

Per perfezionare e completare il processo biologico accelerato, durante i primi 15-20 giorni successivi alla fase di bioossidazione in biocelle, il materiale viene deposto in cumuli nella zona di maturazione e aerato insufflando aria attraverso ugelli annegati nel pavimento con le loro tubazioni di alimentazione.

I ventilatori hanno portata volumetrica di 25.000 Nm<sup>3</sup>/h cadauno e consentono di convogliare sino a 50 Nm<sup>3</sup>/h di aria per tonnellata di biomassa. L'aria di insufflazione viene aspirata e reimpressa all'interno del capannone per non influire sulla depressione e sui ricambi/ora di progetto. Anche questi sistemi di aerazione a pavimento devono essere accuratamente puliti ogni volta che il cumulo viene spostato, prima di collocare il nuovo prodotto.

Il processo in questa fase viene gestito manualmente, tramite controllo di temperatura (da mantenere intorno a 60°C) e umidità della biomassa (che non dovrebbe scendere sotto il 40% per non interrompere i processi biologici).

Nel corso della prima fase di maturazione è possibile correggere l'umidità della biomassa irrorando i cumuli, nelle sezioni più opportune, tramite irrigatori fissi comandati manualmente dall'operatore.

Al termine della prima fase di maturazione, il prodotto ormai stabilizzato ha raggiunto un pH superiore a 7,0 e, previo controllo che l'umidità sia sempre intorno al 40%(teorico), viene trasferito con pala meccanica, nella seconda campata del capannone dove rimane per circa 40 giorni a completare la maturazione, in cumulo totalmente statico. Durante tale fase viene controllata giornalmente la temperatura del cumulo e settimanalmente il grado di umidificazione.

Il necessario ricambio d'aria in tutta la sezione di maturazione viene assicurato dal sistema di aspirazione dell'aria esausta, che garantisce 4 ricambi d'aria/ora.

#### 4.2.6 Sezione di raffinazione

Il compost maturo, avente umidità attorno al 35-40% e pH intorno a 8,0 viene avviato alla sezione di raffinazione, inserita in un'apposita area, completamente chiusa; la sezione risulta composta da:

1. vaglio di raffinazione a tamburo rotante;
2. tavola densimetrica aeraulica

La linea di raffinazione è stata dimensionata per una capacità oraria di 11 t/h di prodotto in ingresso. Qualora qualche lotto di prodotto non avesse le caratteristiche attese, deve essere ricircolato in testa all'impianto per essere ritrattato nell'intero processo.

##### Vaglio a tamburo rotante:

il vaglio, la cui funzione è di separare dal compost grezzo gli scarti grossolani non compostabili, oltre ai pezzi di corteccia e altri materiali di tipo cellulosico non completamente decomposti, è dotato di tramoggia di carico, a velocità regolabile. In questo modo la macchina ben si adatta alle esigenze operative che di volta in volta si potranno presentare.

Il compost vagliato (o sottovaglio) viene convogliato da un nastro trasportatore alla successiva fase di vagliatura su tavola densimetrica.

Il sopra-vaglio viene ricircolato alla sezione di miscelazione e triturazione, per essere utilizzato come strutturante. Periodicamente una quota parte viene scartata, per eliminare dal processo l'eccesso di impurezze grossolane (essenzialmente materie plastiche).

##### Tavola densimetrica:

per il trattamento finale di raffinazione. In tale apparecchiatura una tavola

vagliante, con fori da 5 mm, è disposta lungo un piano inclinato ed è fatta vibrare determinando il progressivo spostamento verso l'estremità alta del piano inclinato degli inerti pesanti e lo scivolamento della frazione intermedia verso i punti a quota inferiore. Un gruppo di ventilazione provvede a creare una corrente d'aria ascendente attraverso la tavola vagliante, consentendo la separazione per flottazione della frazione leggera dotata di una certa portanza aerodinamica.

Le regolazioni delle macchine di raffinazione (moto ed inclinazioni della tavola, portata del ventilare) sono di tipo continuo. E' così possibile ottimizzare sia la preparazione di prodotti, anche con pesi specifici molto vicini, sia i rendimenti di separazione voluti.

Gli scarti grossolani di pezzatura superiore a 10 mm vengono riciclati alla sezione di miscelamento e trattamento per essere utilizzati come strutturante unitamente a quelli provenienti dal vaglio rotante.

Gli scarti di alta densità, sostanzialmente costituiti da sassi, sabbia e vetro, vengono convogliati tramite trasportatore a coclea in un apposito contenitore che periodicamente viene prelevato ed avviato allo smaltimento. La quantità degli scarti (funzione della qualità della materia prima) può essere stimata attorno al 27,14 %, molto elevati.

Il compost raffinato viene trasferito nella zona di stoccaggio tramite un elevatore a tazze ed un nastro trasportatore.

L'aria utilizzata per le esigenze di raffinazione nella tavola densimetrica (per un totale di 22.000 Nm<sup>3</sup>/h) è inviata ad un depolveratore a maniche prima di essere reimpressa all'interno del capannone. Il filtro a maniche ha le seguenti caratteristiche tecniche:

- superficie filtrante 212 m<sup>2</sup>
- numero di maniche 180
- portata nominale 22.000 Nm<sup>3</sup>/h
- velocità di filtrazione 0,028 m/s

In tutta la sezione di raffinazione sono state predisposte cappe di aspirazione sulle macchine operatrici e sui punti di caduta dei prodotti, al fine di evitare formazione di polveri nell'ambiente di lavoro.

Il sistema di aspirazione è collegato ad un filtro a maniche e ad un ventilatore che consente la depolverizzazione dell'aria, reimpressa nell'ambiente stesso.

Le caratteristiche tecniche del filtro a maniche sono:

- superficie filtrante      108 m<sup>2</sup>
- numero di maniche      90
- portata nominale      8.000 Nm<sup>3</sup>/h
- velocità di filtrazione      0,0236m/s

#### 4.2.7 Sezione di stoccaggio prodotto finito

Nell'area coperta adibita allo stoccaggio, il compost maturo dopo la raffinazione viene disposto, a mezzo di pala gommata, in cumulo continuo con altezza media di 3 metri addossato alla parete nord della sezione stessa.

### **4.3 Impianto di aspirazione e trattamento aria**

Durante la produzione di compost si formano molte sostanze odorogene, in particolare durante la fase iniziale di compostaggio, quando la materia organica fresca viene aggredita dai batteri per essere decomposta.

La particolare tecnologia di compostaggio utilizzata controlla e tenta di minimizzare tale fenomeno, dato che la fase iniziale viene realizzata in biocelle ermeticamente chiuse e l'aria di spurgo viene convogliata, tramite tubazioni, direttamente al sistema di trattamento e deodorazione.

L'impianto di aspirazione e trattamento dell'aria si articola in 3 sezioni:

1. Sezione di aspirazione: costituita da ventilatori di caratteristiche adeguate per aspirare e convogliare i flussi d'aria esausta all'impianto di depurazione. Tale sezione consente di mantenere il livello di depressione voluto in tutti i punti del capannone.

I ricambi d'aria sono fissati in:

ricevimento, stoccaggio e miscelazione 3 ricambi/ora

maturazione 4 ricambi/ora

I volumi da controllare e aspirare sono i seguenti:

ricevimento, stoccaggio e miscelazione

Volume: 13.000 m<sup>3</sup>

Ricambi: 3

Aria estratta: 40.000 Nm<sup>3</sup>/h

maturazione

Volume: 29.000 m<sup>3</sup>

Ricambi: 4

Aria estratta: 120.000 Nm<sup>3</sup>/h

Per la zona di ricevimento, stoccaggio e miscelazione sono stati installati due ventilatori da 20.000 Nm<sup>3</sup>/h cadauno che assicurano più di 3 ricambi/ora. L'aria estratta da questa zona viene utilizzata come aria di ambientazione della zona di maturazione e come aria di reintegro nelle biocelle, necessaria per mantenere la concentrazione di ossigeno del materiale in fermentazione.

Per la zona di maturazione si sono installati due ventilatori da 60.000 Nm<sup>3</sup>/h cadauno, per totali 120.000 Nm<sup>3</sup>/h, assicurandosi così 4 ricambi/ora. L'aria di spurgo delle biocelle viene unita all'aria estratta dalla zona di maturazione direttamente nel tubo di aspirazione dei ventilatori e quindi inviata agli scrubber e al biofiltro per il trattamento.





*Illustrazione 6: ventilatori*

2. Sezione di trattamento primario dell'aria: costituita da due scrubber (torri di lavaggio verticali in cui avviene il lavaggio dei fumi o dei gas) funzionanti in parallelo, dotati di corpi di riempimento, in cui l'aria viene sottoposta, ove necessario, ad un lavaggio per mezzo di un flusso d'acqua alimentato in controcorrente all'aria stessa. La sezione di trattamento primario, aggiuntiva rispetto all'unità principale di abbattimento costituita dalla sezione di biofiltrazione, ha sostanzialmente tre funzioni:

- la rimozione di eventuali acidi organici solubili prodotti nella fase di bioossidazione del rifiuto;
- l'abbattimento delle polveri presenti nel flusso;
- l'umidificazione dell'aria.

Il *funzionamento* di queste torri pone le radici nel principio di assorbimento; in questi macchinari infatti avviene il trasferimento delle componenti inquinanti idrosolubili costituente veicolo di trasporto per le molecole odorose.

Gli scrubber utilizzano acqua industriale come fluido di lavaggio, ma sono predisposti per utilizzare anche soluzioni di lavaggio acide, basiche o ossidanti.

L'acqua di lavaggio viene riciclata all'interno dello scrubber, mentre il necessario spurgo viene raccolto all'interno di un serbatoio in vetroresina. Periodicamente le acque raccolte vengono smaltite in impianti di depurazione autorizzati. Ove la qualità dell'acqua di spurgo lo consentisse, è prevista la possibilità di scaricarla nel sistema fognario dell'impianto, collettato alla fognatura Comunale e quindi depurato nell'impianto di trattamento consortile di Peschiera Borromeo.



*Illustrazione 7: scrubbers - torri di lavaggio*

3. Sezione di biofiltrazione dell'aria: costituita da tre biofiltri funzionanti in

parallelo. Ciascun biofiltro è costituito da una vasca in cemento armato contenente un substrato vegetale (legno e torba) su cui si insediano colonie batteriche specializzate; l'aria da depurare viene immessa in una camera posta sotto al letto filtrante da cui fuoriesce, salendo attraverso opportune forature delle griglie di supporto del letto filtrante stesso. Nel corso dell'attraversamento (dal basso verso l'alto) dello strato filtrante, le componenti odorogene, vengono adsorbite sulla superficie del substrato e successivamente degradate dai batteri che lo ricoprono.

Periodiche irrigazioni della superficie dei biofiltri consentono di mantenere costante l'umidità del substrato, che deve essere mantenuta intorno al 95-100%. L'acqua necessaria viene prelevata dall'impianto di acqua industriale e distribuita sulla superficie dei biofiltri mediante tubazione provvista di ugelli diffusori. Il percolato del biofiltro, opportunamente filtrato, può inoltre essere ricircolato sui biofiltri stessi al fine di minimizzare il consumo di acqua industriale.

Conformemente all'autorizzazione Regione Lombardia ex Legge 615/66 e art. 6 d.p.r 203/88, il sistema di rimozione degli odori dovrebbe garantire i seguenti valori limite in emissione:

Qualità olfattiva	200 unità odorimetriche/Nm <sup>3</sup>
Ammoniaca	5 mg/Nm <sup>3</sup>
Acido solfidrico	5 mg/Nm <sup>3</sup>
Polveri	10 mg/Nm <sup>3</sup>

*Tabella 4: valori limite di emissione odori*

Il biofiltro è stato dimensionato per una portata totale di 120.000 Nm<sup>3</sup>/h, con un tempo di ritenzione di 45 secondi.

Assicurando un'altezza utile minima garantita dallo strato filtrante di 1,25 m la superficie minima necessaria per tanto è:

$$(120.000 \text{ Nm}^3/\text{h} : 3600 \text{ s/h}) * (45 \text{ s} : 1,25 \text{ m}) = 1200 \text{ m}^2$$

I tre biofiltri realizzati hanno dimensioni effettive interne di metri 20,1 x 20,3 cadauno. La superficie di ciascun biofiltro è pertanto di 408,03 m<sup>2</sup> (1224,1 m<sup>2</sup> totali). Lo spessore dello strato filtrante minimo garantito dovrebbe essere di 1,25 m. Il volume utile complessivo di strato attivo è di 1.530 m<sup>3</sup>, leggermente superiore al minimo richiesto (+2%).

Ogni biofiltro è singolarmente escludibile, in modo da permettere l'effettuazione di operazioni di manutenzione senza interrompere la depurazione dell'aria aspirata (assicurata al 67% in qualsiasi condizione di marcia).

#### **4.4 Reti fognarie e sistemi di raccolta percolati, condensati, acque di spurgo**

Il sistema di raccolta, allontanamento e smaltimento delle acque meteoriche e degli scarichi liquidi che interessano tutta l'area di impianto è stato realizzato in modo tale da assicurare il rispetto dei limiti stabiliti dalla normativa nazionale (D.lgs. 11 maggio 1999, n. 152) e regionale (Legge Regione Lombardia n. 62 del 27/05/1985) sugli scarichi.

Ai fini di ottimizzare il trattamento delle acque che si generano durante il processo di compostaggio o a seguito delle precipitazioni atmosferiche, è stata attuata una compartimentazione delle reti di drenaggio. Infatti è stato possibile individuare e segregare diversi flussi caratterizzati da significative differenze qualitative e quantitative.

Sono state costruite le seguenti vasche di raccolta:

- vasca raccolta percolati, rivestita e impermeabilizzata con lastre di polipropilene, che raccoglie i percolati provenienti dalle biocelle e dall'area dei cumuli in maturazione. Questi reflui, fortemente carichi di inquinanti organici, vengono allontanati mediante autobotte ed inviati ad impianti di smaltimento autorizzati.

- Vasca di rilancio acqua a fogna: divisa in due comparti indipendenti che raccolgono :
- comparto acque nere e di prima pioggia
  - le acque meteoriche di prima pioggia e di lavaggio da strade, piazzali e coperture,
  - le acque nere dei servizi igienici e degli spogliatoi, pretrattate in un impianto biologico,
  - le acque di scarico dei raffreddatori dell'aria delle biocelle,
  - le acque di scarico del sistema di umidificazione biofiltri
  - le acque di spurgo degli scrubber.
- Comparto acque di seconda pioggia:
  - le acque meteoriche di seconda pioggia da strade, piazzali e coperture.
- Vasca di raccolta spurghi: di 40 m<sup>3</sup> di capacità, che funge da bacino di contenimento di serbatoio in vetroresina da 25 m<sup>3</sup> adibito alla raccolta delle acque di spurgo delle torri di lavaggio, qualora questi reflui fossero carichi di inquinanti organici e non fosse ammissibile il loro scarico in fognatura. I reflui raccolti nel serbatoio in vetroresina vengono allontanati mediante autobotte ed inviati a impianti di smaltimento autorizzati.
- Vasche di raccolta percolati: di 40 m<sup>3</sup> di capacità, che funge da bacino di contenimento di serbatoio in vetroresina da 25 m<sup>3</sup> adibito alla raccolta dei percolati dalla zona di ricezione rifiuti organici. questi percolati vengono allontanati mediante autobotte ed inviati a impianti di smaltimento autorizzati.
- Vasca raccolta acque di irrigazione biofiltri: rivestita e impermeabilizzata con lastre di polipropilene, che raccoglie i percolati provenienti dai biofiltri. Questi reflui sono normalmente riciclati per l'irrigazione dei biofiltri al fine di mantenerne l'umidità. In caso di pioggia abbondante, il troppo pieno della vasca viene scaricato nella vasca di prima pioggia per essere conferito alla

fognatura comunale di Via Tintoretto.

La pavimentazione del fabbricato della zona di ricezione e triturazione è stata realizzata con calcestruzzo a base di cemento pozzolanico ad elevata resistenza ai solfati e particolarmente impermeabile. Opportune pendenze convogliano i liquami, verso i punti di raccolta rappresentati da pozzetti e canaline provviste di griglie carrabili in ghisa. I pozzetti non realizzati con cemento pozzolanico, sono stati impermeabilizzati mediante verniciatura con prodotti epossidici-bituminosi in modo da garantire l'assoluta tenuta dell'acqua.

Le fognature colleganti i punti di raccolta sono state eseguite con tubazioni in materiale plastico. L'intera rete fognaria dell'impianto funziona a gravità, grazie alla sua realizzazione con pendenze tali da consentire il regolare deflusso delle acque.

#### **4.5 Impianto di distribuzione acqua industriale e potabile**

L'acqua industriale viene approvvigionata ad una portata massima di 18 m<sup>3</sup>/h sollevandola a mezzo di pompa sommersa dal pozzo terebrato all'interno dell'area dell'impianto.

L'impianto di distribuzione è strutturato su un anello perimetrale all'area, interrato al fine di evitare il pericolo di gelo durante la stagione invernale. E' prevista una serie di stacchi con tubazioni interrate che vanno ad alimentare i punti di presa situati all'interno dei vari edifici. Per ciascuno stacco è prevista una valvola di intercettazione manuale per consentire eventuali operazioni di manutenzione. All'interno del fabbricato le tubazioni corrono invece in quota, staffate ai muri ai muri o ai pilastri.

Il sistema è costituito dai seguenti componenti:

- vasca di accumulo della capacità utile di 100 m<sup>3</sup>, condivisa con il sistema antincendio, che ne sfrutta ulteriori 150 m<sup>3</sup> di capacità.

- Pompe di alimentazione del circuito  $Q = 28 \text{ m}^3/\text{h}$  ,  $P = 5 \text{ bar}$ .
- Gruppo autoclave, costituito da serbatoio da 2000 litri e da compressore con serbatoio di accumulo aria.

L'acqua potabile viene approvvigionata tramite allacciamento al civico acquedotto del Comune di Cologno Monzese, gestito dal Consorzio Acque Potabili di Milano.

## **4.6 La pesa**

La pesa, di tipo a ponte, è in versione esterna, realizzata a raso del piazzale per evitare qualsiasi pericolo di impatto e incidente.

Il ponte è costituito da due pacchi di travi longitudinali elettrosaldate collegate tra loro da piastre bullonate. Il piano di copertura è realizzato da lamiere lobate di forte spessore saldate alla struttura portante.

Le celle di carico che equipaggiano la stadera a ponte sono del tipo a compressione in acciaio inox. Al fine di garantire alla cella la sola trasmissione della forza peso ed evitare qualsiasi dannosa azione trasversale, la trasmissione delle forze tra celle e ponte avviene attraverso appositi supporti oscillanti.



*Illustrazione 8: sistema di pesa*



## **Capitolo 5 - Criticità generali**

### **5.1 Gli odori molesti**

Con l'entrata a regime, l'impianto ha subito visto nascere e moltiplicarsi le segnalazioni di odori molesti nel territorio circostante, nonostante le prescrizioni autorizzative fossero sempre rispettate.

Nel tempo il biofiltro ha manifestato sempre maggiori difficoltà nel rispettare i limiti di emissione (200 U.O./m<sup>2</sup>), rendendo necessari continui interventi manutentivi non agevolati dal loro posizionamento sulla sommità dell'edificio.

Nell'estate del 2007 si è sostituita integralmente la matrice filtrante che però non ha portato i benefici sperati. La causa va ricercata nella scelta originaria di prediligere l'adozione di un materiale filtrante che garantisse una maggiore durata nel tempo (e che richiedesse pertanto manutenzioni limitate) dalle prestazioni alquanto modeste, piuttosto che alla ricerca di prestazioni di eccellenza richieste dal contesto (altamente urbanizzato).

Altre fonti di emissioni maleodoranti hanno caratterizzato la gestione, in particolare, l'ambiente interno dell'impianto fortemente compromesso a causa di diversi problemi gestionali accentuatisi col passare del tempo, produceva fuoriuscite di odori in concomitanza con l'apertura dei portoni di accesso all'impianto per il transito di pale e automezzi.

### **5.2 Qualità del compost prodotto**

Altra criticità è costituita dalla qualità del compost prodotto, inizialmente scarsa al punto di rendere necessario lo smaltimento massiccio del prodotto in discarica. Gli accorgimenti adottati con la nuova gestione subentrata dalla seconda metà del 2008 hanno portato a una notevole riduzione dello smaltimento del prodotto compost in

discarica anche se rimane elevata la quantità dei sovralli che non vengono riciccolati nel processo.

### **5.3 Rifiuti conferiti**

I rifiuti organici conferiti presso l'impianto, sebbene provenienti da circuiti di raccolta porta a porta, sono caratterizzati da livelli di contaminazione a volte decisamente elevati. La qualità merceologica del rifiuto trattato, incide tuttavia molto di più sul costo economico della lavorazione che sui problemi di impatto connessi alla putrescibilità del materiale, per la cui riduzione si è posta attenzione all'ottimizzazione del processo. A causa della qualità dei rifiuti conferiti lo scarto che l'impianto ha prodotto nel corso dell'anno 2009 è stato molto elevato, sono stati prodotti:

Sovvallo (Discarica D1) Cer 191212: 3.698,46 t pari al 12,93 % sulle entrate ;

Percolato (impianti di depurazione) Cer 190703: 4.149,41 t pari al 14,51 % sulle entrate.

## Capitolo 6 - Interventi realizzati

### 6.1 Monitoraggio degli odori

Come già detto a partire dalla seconda metà del 2008, con l'intervento di una nuova gestione è partito un programma di risanamento dell'impianto.

Essa ha ritenuto indispensabile, per avere il miglior riscontro sull'efficacia delle iniziative messe in atto, utilizzare il rapporto instaurato con gli enti locali e i rappresentanti della popolazione coinvolta nei lavori della commissione di controllo attraverso un protocollo segnalazione delle molestie avvertite che faceva capo agli uffici ambiente dei comuni interessati.

In parallelo, si è instaurata a cura dello staff dell'impianto una linea diretta con alcuni cittadini residenti nei quartieri più sensibili, allo scopo di ottenere un riscontro tempestivo e funzionale ad eventuali interventi correttivi.

Data segnalazione	nome e cognome	indirizzo	numero di telefono	data odore	orario	durata	intensità e grado odore	luogo avvertimento odore	note

*Tabella 5: Scheda per la segnalazione di molestie olfattive da parte degli abitanti residenti nelle vicinanze dell'impianto di compostaggio*

Il biofiltro è stato rivisto nella struttura del letto, intervenendo a più riprese sulla pezzatura del materiale e nella razionalizzazione delle bagnature in termini di turni e volumi d'acqua utilizzati. Ciò ha garantito l'aumento dell'attività microbica e, di conseguenza, dell'efficienza di degradazione dei composti odorigeni che lo attraversano. Ciò ha comportato un consumo del materiale filtrante sostanzialmente più rapido, che ha causato un intensificarsi degli interventi di manutenzione, costituiti fino ad oggi dal rimpinguamento del materiale consumato.

Come ulteriore intervento finalizzato alla compatibilità con l'area urbanizzata, sono stati adottati dispositivi tecnologici atti ad attenuare l'odore residuo caratterizzati dalla nebulizzazione di prodotti neutralizzanti prima e dopo l'uscita del biofiltro.

Unitamente agli interventi impiantistici è stato concordato con gli utilizzatori del prodotto finito una procedura di applicazione del compost sui terreni agricoli finalizzata prioritariamente alla riduzione degli impatti ambientali.

La valutazione delle prestazioni ambientali è principalmente affidata al monitoraggio delle prestazioni del biofiltro, attuato mediante indagini olfattometriche e chimiche con le metodologie previste dall'autorizzazione vigente e con frequenze intensificate rispetto agli obblighi autorizzativi a valle degli interventi condotti, nonché attraverso il coinvolgimento della popolazione circostante.

Le analisi olfattometriche, condotte nel periodo rappresentato in grafico 1 riflettono l'evoluzione delle prestazioni prima e dopo gli interventi. Come si può osservare, dopo un periodo in cui si è verificato un evidente calo di efficienza a fronte di una concomitante diminuzione dei carichi odorigeni in ingresso, con gli interventi realizzati si è giunti a risultati di estremo interesse. In particolare, ad un progressivo aumento del carico di odori rilevati all'ingresso dei biofiltri, frutto di una migliore intercettazione all'interno dell'impianto, le efficienze sono costantemente aumentate. Si è verificato in concomitanza con i cali prestazionali un marcato effetto di calo di spessore dovuto ad un vero e proprio consumo più che al solito assestamento che avviene nel giro di poche settimane. Ne consegue che si prevedono apporti semestrali di nuovo materiale.

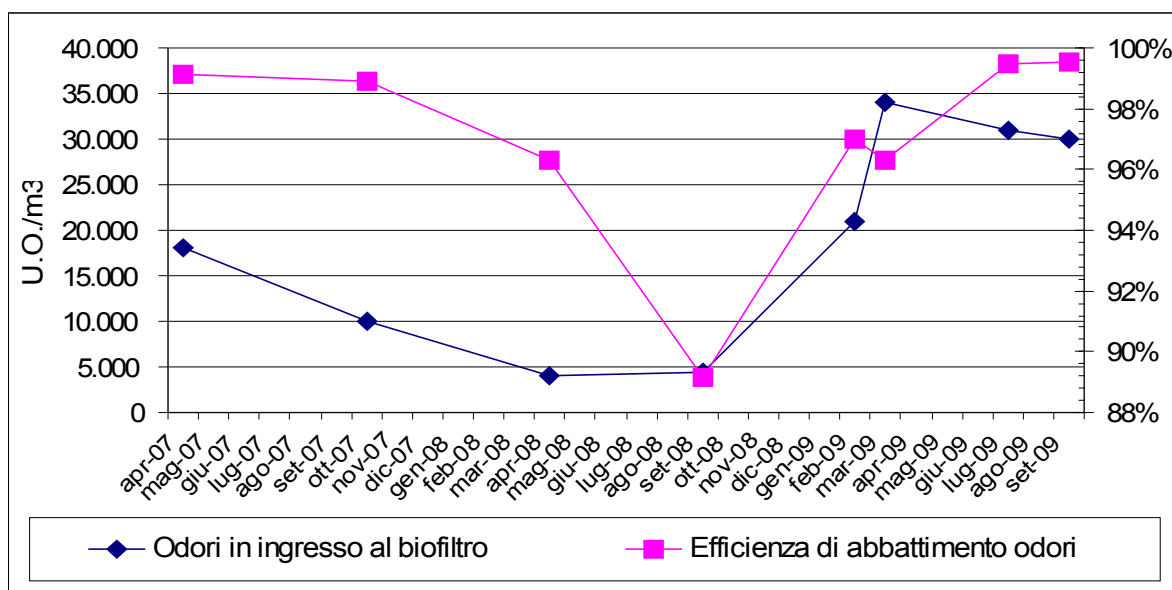


Grafico 1: odori in ingresso al biofiltro e efficienza di abbattimento

Relativamente alle segnalazioni dei cittadini, rimangono segnalazioni da parte di soggetti residenti in aree anche non attigue, la cui corretta interpretazione è resa ancor più difficile da altre sorgenti odorigene comunque presenti nel territorio e dall'andamento climatico favorevole al manifestarsi di disagi e insofferenze.

## **6.2 Modifiche di processo per il miglioramento del compost prodotto**

Per ovviare ai problemi derivanti dalla qualità del rifiuto in ingresso e dalle carenze impiantistiche la nuova gestione è intervenuta sul sistema di gestione delle arie di processo e delle operazioni di rivoltamento del materiale in maturazione in modo tale da impedire il ristagno, anche residuale, di percolati all'interno dell'impianto, aumentando così drasticamente la qualità dell'ambiente di lavoro e riducendo contestualmente le possibilità di rilascio di cattivi odori in seguito all'apertura dei portoni di accesso.

Il controllo della fase ACT in biocella è stato sostanzialmente modificato, riducendone il numero dei parametri acquisiti ma aumentando i punti di monitoraggio, e semplificando nel complesso il sistema di aerazione, in precedenza soggetto ad eccessive necessità manutentive per garantirne il funzionamento.

La gestione è intervenuta anche sulla preparazione del rifiuto avviato a processo con una diversa strutturazione della componente legnosa, ottenendone un minore contenuto nella miscela prodotta e favorendone il ricircolo.

E' stata quindi rivista anche la fase di maturazione, che avviene ora mantenendo la strutturazione del materiale fino al termine del processo, favorendone così l'aerazione, semplificando in fase di raffinazione la separazione degli scarti ora più essiccati e consentendo un maggior ricircolo di materiale strutturante ad elevato grado di pulizia.

La nuova gestione dei flussi d'aria e la riduzione complessiva delle movimentazioni ha permesso inoltre un notevole risparmio di energia e di recuperare spazi necessari

alla migliore gestione del rifiuto.

Le positive ricadute degli interventi attuati sono state in primo luogo offerte dalla constatazione di una serie di miglioramenti nell'ambiente di lavoro: scomparsa delle pozze di percolato, riduzione sensibile delle nebbie causate da vapori d'acqua, ammoniacca, e composti volatili all'interno dei capannoni di lavorazione.

L'ammendante compostato prodotto ha dimostrato un sensibile miglioramento qualitativo, in particolare per quanto riguarda l'omogeneità riscontrata su parametri quali umidità e stabilità biologica e, non da ultimo, nella riduzione di materiali indesiderati, in particolare delle plastiche. Anche rispetto ai marker di igienizzazione del prodotto, gli incoraggianti risultati delle analisi microbiologiche attestano le migliori prestazioni della fase termofila del processo di compostaggio ottenute in seguito agli interventi attuati.

### **6.3 Utilizzo dei prodotti**

Molta attenzione è stata rivolta alla gestione dell'ammendante compostato in ambito agricolo, le pratiche di spandimento sono state oggetto di un protocollo interno di utilizzo più articolato, le cui linee essenziali sono di seguito riassunte:

- sulle aree interessate è prevista una verifica preventiva e il controllo in fase di distribuzione da parte di un tecnico aziendale
- al comune dove è insediato l'impianto e al comune dove incidono le aree agricole interessate viene preventivamente comunicata la data dell'inizio degli spandimenti
- la distribuzione in campo avviene sempre a cura del produttore, garantendo in tal modo il controllo puntuale delle operazioni
- lo spandimento può anche essere sospeso quando, pur consentito dalle prescrizioni vigenti, può oggettivamente creare eccessivi problemi con la popolazione.

Più in generale, per alleggerire l'impatto sul territorio, la nuova gestione ha attuato una diversificazione degli utenti finali evitando distribuzioni ripetute in tempi ravvicinati sulle medesime aree, delocalizzando e ricercando impieghi diversi da quello esclusivamente agronomico di pieno campo, normalmente caratterizzato da massive campagne di distribuzione in periodi ristretti.

## Capitolo 7 - Gli odori

### **7.1 Premessa: gli odori**

Negli impianti di compostaggio il problema delle emissioni in atmosfera e in particolare di odori sgradevoli è fra le principali cause di contenziosi con la popolazione residente. Preme comunque sottolineare che le emissioni di odori sgradevoli da impianti di trattamento di scarti organici non è in generale associata a problemi di impatto tossicologico in quanto i materiali trattati sono di origine naturale e le molecole odorose prodotte sono dei metaboliti della degradazione microbica dei materiali in trasformazione. La presenza di odori sgradevoli viene però spesso associata a situazioni di non salubrità dell'ambiente, poco tollerata da un'opinione pubblica sempre più attenta alla qualità della vita.

Il problema delle molestie olfattive presenta una componente *oggettiva* e una *soggettiva*: la componente oggettiva è misurabile in *intensità, in durata e in frequenza*; la componente soggettiva è quella del *fastidio* (gli americani parlano del fattore HDO=frequency, intensity, duration, offensiveness).

Quanto un odore sia percepito come sgradevole è connesso alle preferenze e alle precedenti esperienze dei soggetti coinvolti.

### **7.2 Le fonti di emissione di odori**

La emissione di composti volatili potenzialmente maleodoranti è intrinseca in generale ai diversi processi di trattamento e trasformazione di scarti organici, compresi i processi di compostaggio. Negli impianti di compostaggio il problema è riconducibile sia alla emissione di composti maleodoranti dai materiali che vengono avviati al trattamento, sia, prevalentemente, dalla formazione di tali composti nel corso del processo. In generale la produzione di composti ad elevato impatto



olfattivo viene associata alla presenza di condizioni di anaerobiosi nel materiale in trattamento, condizioni che non dovrebbero verificarsi nel corso del compostaggio, che è una trasformazione di tipo aerobico. Tuttavia anche una buona condizione del processo, che mantenga ottimali condizioni di ossigenazione, riduce, ma non evita completamente la formazione di cattivi odori.

In particolare le più comuni cause di produzione di composti maleodoranti presso un impianto di compostaggio possono essere individuate nelle seguenti:

- prolungato *accumulo di materiali freschi e altamente fermentescibili* non ancora sottoposti a trattamento in aree scoperte;
- presenza di *zone anaerobiche* nei materiali sottoposti a trattamento per inadeguata ossigenazione;
- presenza di *percolati* non adeguatamente captati e raccolti;
- bassa efficienza dei *sistemi di captazione dell'aria*, nel caso di locali che dovrebbero essere tenuti in depressione, con conseguente fuoriuscita di arie odorose;
- assenza o scomparsa efficienza di *sistemi di abbattimento* delle arie esauste dai locali di trattamento (per insufficiente dimensionamento, insufficiente manutenzione, inadeguata gestione);
- messa in *maturazione*, in aree aperte, di materiali non ancora sufficientemente stabilizzati;
- accumulo, in aree non captate, di *sovralli fermentescibili*.

### **7.3 I composti osmogeni negli impianti di compostaggio**

I più significativi gruppi di composti odorosi sono identificati dai composti organici dello zolfo, ammoniaci e ammine, acidi grassi volatili, composti aromatici, terpeni, acetone, fenoli e toluene. In tabella 6 viene riportato un elenco dei principali

composti individuati presso gli impianti di compostaggio negli Stati Uniti e le relative soglie di odore.

Gli *acidi grassi volatili* derivano dalla idrolisi degli acidi grassi a catena lunga normalmente presenti in natura nei grassi, olii e cere. Fra essi si possono citare l'acido acetico, propionico, butirrico e valerianico, che vengono prodotti in condizioni di anaerobiosi e che vengono facilmente metabolizzati in condizione aerobiche. Sono composti potenzialmente fonte di cattivi odori, ma non vengono ritrovati con frequenza negli impianti di compostaggio.

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

L'*ammoniaca* è prodotta, sia in condizioni aerobiche che anaerobiche dalla degradazione delle proteine e degli aminoacidi. Se il substrato ha un basso rapporto C/N è maggiore la quota di azoto non riutilizzata nei cicli microbici e quindi la quantità di ammoniaca dispersa nei vapori. Si può ritrovare in concentrazioni abbastanza elevate in impianti di compostaggio che trattino fanghi di depurazione e residui zootecnici, nei quali può costituire uno dei composti maggiormente responsabili dei cattivi odori, nonostante la sua soglia di odore sia piuttosto alta.

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

I più comuni composti dello zolfo che contribuiscono agli odori includono composti organici e inorganici. Fra i solfuri inorganici l'*acido solfidrico* ( $H_2S$ ) è quello che più frequentemente viene associato a impianti di trattamento dei reflui. Ha un caratteristico odore di uova marce che è rilevabile già a bassissime concentrazioni; a concentrazioni elevate diventa invece inodore ed è altamente tossico. Nel processo di compostaggio può formarsi in zone anossiche di materiale troppo umido o compattato, tuttavia viene raramente riportata la presenza di tale

composto. I *composti organici dello zolfo* (mercaptani) sono maleodoranti già a concentrazioni bassissime, dell'ordine dei ppb. I mercaptani si formano sia in condizioni aerobiche che anaerobiche. I metilmercaptani, in condizioni aerobiche, si possono ossidare a dimetildisolfuri e dimetilsolfuri. I diversi solfuri possono quindi formarsi e distruggersi nel corso del processo a seconda delle condizioni locali del cumulo. La soglia di odore per il dimetilsolfuro e il dimetildisolfuro è nell'ordine dei ppb.

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

Composto	Formula	Massa Molecolare	Odore	Soglia di odore	
				Bassa $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Alta $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Composti dello zolfo</b>					
Idrogeno solforato	H <sub>2</sub> S	34	uova marce	0.7	14
solfo di carbonio	CS <sub>2</sub>	76	dolce, sgradevole	24.3	23000
dimetilsolfuro	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	62	cavolo marcio	25	50.8
dimetildisolfuro	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	94	zolfo	0.1	346
dimetiltrisolfuro	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	126	zolfo	6.2	6.2
metilmercaptano	CH <sub>3</sub> SH	48	zolfo, aglio, pungente	0.04	82
etilmercaptano	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> SH	62	zolfo, terra	0.032	92
<b>Ammoniaca e composti dell'azoto</b>					
ammoniaca	NH <sub>3</sub>	17	pungente	26.6	39600
metilamina	(CH <sub>3</sub> )NH <sub>2</sub>	31	pungente, pesce	25.2	12000
dimetilamina	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH	45	pesce, amina	84.6	84.6
trimetilamina	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	59	pungente, pesce	0.8	0.8
scatolo	C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> C(CH <sub>3</sub> )CHNH	131	fecale, nauseante	4.0 * 10 <sup>-5</sup>	268
<b>Acidi grassi volatili</b>					
acido formico	HCOOH	46	pungente, aspro	45	37800
acido acetico	CH <sub>3</sub> COOH	60	di aceto	2500	25000
acido propionico	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	74	rancido, pungente	84	64000
acido butirrico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COOH	88	rancido	1	9000
acido valerianico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> COOH	102	sgradevole	2.6	2.6
acido isovalerianico	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH(CH <sub>3</sub> )COOH	102	formaggio rancido	52.8	52.8
<b>Chetoni</b>					
chetoni	CH <sub>3</sub> COOH <sub>3</sub>	58	dolciastro, di menta	47500	161000
butanone	CH <sub>3</sub> COOH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	72	dolciastro, di acetone	737	147000
2-pentanone	CH <sub>3</sub> COOH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	86	dolciastro	28000	45000
<b>Altri composti</b>					
benzotiozolo	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> SCHN	135	penetrante	442	2210
acetaldeide	CH <sub>3</sub> CHO	44	dolciastro, di erba	0.2	4140
fenolo	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	94	medicinale	178	2240

Tabella 6: Composti odorosi identificati presso impianti di compostaggio negli Stati Uniti e le relative soglie di odore

## 7.4 Rischi tossicologi associati

I composti maleodoranti non sono necessariamente associati ad effetti tossici. I possibili effetti nocivi sono soprattutto connessi alle attività riflesse prodotte dal fastidio olfattivo a livello di disturbi gastrici, di mal di testa, di disturbi del sonno, di perdita di appetito.

Va ricordato poi che in molti casi la possibile tossicità dei composti osmogeni viene resa inoffensiva dalla bassa soglia olfattiva dei composti stessi che mettono in allarme i soggetti coinvolti e ne limitano l'esposizione. A tale proposito è interessante il confronto fra il parametro che viene utilizzato come indicatore di tossicità per gli ambienti di lavoro, il TLV (Threshold Limit Value) e la soglia di percezione olfattiva (OT). Il TLV indica la concentrazione del composto che non produce effetti nocivi in un lavoratore ad essa esposto durante la sua vita lavorativa (8 ore di lavoro al giorno, 5 giorni alla settimana, 50 settimane l'anno). Se il rapporto TLV-OT è superiore all'unità significa che l'odore sarà percepito prima che possa produrre effetti tossici.

Nella tabella 7 viene riportata questa comparazione per alcuni composti caratteristici, comunemente presenti presso gli impianti di compostaggio.

Composti	Sensazione odorosa	100% Odor Threshold ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	TLV ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
idrogeno solforato	uova marce	1,4	14000
dimetilsolfuro	legumi in decomposizione	258	-
dimetildisolfuro	putridume	16	-
metilmercaptano	cavolo marcio	70	1000
etilmercaptano	cipolla in decomposizione	5,2	1250
acido acetico	aceto	4980	25000
acido propionico	rancido, pungente	123	30000
acido butirrico	burro rancido	73	-
metilammina	pesce avariato	3867	12000
dimetilammina	pesce avariato	9800	24000
trimetilammina	pesce avariato	11226	9200
ammoniaca	pungente	38885	18000
formaldeide	paglia/fieno pungente	1247	370
acetaldeide		549	180000
acroleina	bruciato, pungente	46560	230

Tabella 7: soglie olfattive e TLV per una serie di composti identificativi presso un impianto di compostaggio: sono evidenziati i composti con soglia olfattiva superiore al TLV

## 7.5 La misura e la quantificazione degli odori

Nella politica di controllo degli odori è necessario disporre di sistemi di misura per quantificare il problema e stabilire l'efficacia delle tecniche di mitigazione applicate. Tuttavia la percezione degli odori è un fenomeno complesso e con una forte componente soggettiva. E' uno degli esempi della complessa relazione *dose-risposta*.

La dose corrisponde alla produzione di miscele odorose al di sopra della soglia di percezione.

La risposta (l'effetto) dipende innanzitutto dalla percezione dell'odore. Questa percezione può dar luogo a un fenomeno di fastidio olfattivo, individuale o collettivo. Purtroppo la relazione fra variazione della dose e variazione della risposta è estremamente complessa a causa dell'influenza di diversi parametri

fisiologici, psicologici e sociologici. Si può misurare la *dose* mediante tecniche di *analisi chimica*, si può misurare la *risposta* (percezione dell'odore) mediante tecniche *sensoriali*, si può quantificare il *fastidio* mediante analisi di tipo *sociologico*. E' però importante sottolineare che ciascuno di questi approcci applicati separatamente è in grado di coprire solo un aspetto parziale del problema della quantificazione degli odori.

L'olfatto umano è *strumento di percezione estremamente sensibile*, superiore, in molti casi, alla capacità di rilevazione delle più evolute strumentazioni di analisi fisico-chimiche. Infatti le *soglie di percezione* olfattiva (ossia la concentrazione minima alla quale un composto viene percepito olfattivamente) sono per molti composti *inferiori ai ppb* (ad esempio del caso di scatolo, mercaptani, dimetilsolfuri e dimetildisolfuri), ossia ben inferiori a quanto si è in grado di misurare con normali tecniche gascromatografiche.

Esiste quindi una difficoltà nella oggettivazione degli odori, soprattutto quando questi derivano da insiemi complessi di molecole come è nel caso dei processi di degradazione della sostanza organica.

L'effetto olfattivo poi non dipende solo dai composti presenti nella miscela odorosa, ma anche, come già ricordato, da come questa viene percepita dall'olfatto umano (componente soggettiva).

## **7.6 La determinazione di tipo analitico-chimico**

I *metodi analitici* (Gascromatografi a - Spettrometria di massa, GC-MS) permettono il *riconoscimento* dei composti presenti nella miscela odorosa, con una caratterizzazione quali-quantitativa.

Permettono la *compilazione di liste dei diversi composti* responsabili dell'effetto osmogeno e l'identificazione e quantificazione *dei composti a maggior impatto olfattivo*.

Per alcuni composti a bassissima soglia olfattiva (inferiore ai ppb), come mercaptani e solfuri, si presentano però dei problemi di soglia di sensibilità della strumentazione analitica, dal momento che le concentrazioni che provocano odori percettibili possono essere *inferiori ai limiti di rilevabilità analitica*. Questo risulta particolarmente vero quando le misure siano effettuate alle immissioni, dove le concentrazioni sono agli ordini di grandezza inferiori rispetto alle emissioni (a livello di ppb) e si presentano maggiori problemi di interferenze con altri composti. I metodi analitici sono particolarmente utili nel valutare *l'efficacia di impianti di abbattimento* perché permettono di individuare su quali composti ha avuto effetto l'impianto e quindi intervenire di conseguenza.

Si rivelano meglio applicabili nel caso di *impianti industriali* le cui emissioni siano dovute a *pochi specifici composti ad elevate concentrazioni*.

Le misure analitiche *non danno però informazioni circa l'effetto olfattivo della miscela in esame*, perché anche quando si conosca la soglia di percezione olfattiva dei singoli composti individuati non è possibile attribuire un effetto additivo alle miscele costituenti il campione odoroso. 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.

## **7.7 I metodi sensoriali**

L'analisi chimica ci consente la compilazione della lista dei composti presenti nella miscela odorosa e la quantificazione della loro concentrazione, ma non può indicare se ogni singolo costituente o soprattutto *l'intera miscela* produce un certo livello di sensazione olfattiva.

I metodi di misura considerati efficaci per valutare l'effetto sensoriale della miscela



odorosa sono quelli che si basano su una misura diretta dell'odore (analisi olfattometrica), utilizzando il naso quale sensore, presentando cioè i campioni odorosi a una commissione (panel) di persone che fungono da valutatori.

In centro e nord Europa questi metodi sono già largamente utilizzati da più di vent'anni. Solo recentemente anche nel nostro paese sta crescendo l'interesse verso questo tipo di determinazioni. La Regione Emilia Romagna ha, ad esempio, finanziato un progetto del CRPA nell'ambito del quale è stato reso operativo un laboratorio olfattometrico, per l'esecuzione di campagne di misura relative alle emissioni di odori dalle attività zootecniche. A livello nazionale l'ANPA ha avviato una ricerca con il Dipartimento di Chimica Industriale e Ingegneria Chimica del Politecnico di Milano per la valutazione dei metodi di misura degli odori attualmente in uso, comprendendo i metodi olfattometrici.

La valutazione sensoriale dell'odore può riferirsi a diversi aspetti: *concentrazione*, *intensità*, *accettabilità* (tono edonico).

## **7.8 Misura della concentrazione di odore**

La *concentrazione* viene valutata mediante la determinazione del fattore di diluizione alla *soglia di percezione*: si ricorre a progressive diluizioni del campione con aria esente da odore (aria neutra) fino a renderne l'odore non più percettibile dall'olfatto umano. La valutazione deve essere effettuata da un gruppo di persone considerate rappresentative della popolazione.

La soglia di percezione viene definita come la concentrazione di sostanza odorosa che porta la percezione dell'odore con una probabilità del 50%, ossia per la quale la commissione di valutazione 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 e viene espressa come Unità di Odore (O.U = Odor Unit). L'O.U. è la quantità di odorante che diluita in un

m<sup>3</sup> di aria esente da odore, corrisponde a uno stimolo appena percettibile per l'olfatto umano.

Lo strumento utilizzato è l'*olfattometro* che consente :



Illustrazione 9: olfattometro  
sento)

- la diluizione del campione, secondo rapporti definiti e a livelli che possono raggiungere diverse decine di migliaia di volte
- la presentazione alla commissione di valutazione
- le registrazione delle risposte (sento/non sento)
- la elaborazione statistica dei dati.

Il fattore di diluizione alla soglia di percezione viene espresso mediante alcuni parametri, sostanzialmente equivalenti:

- **TON** (Threshold Odour Number) = Numero di soglia di odore
- **Dose efficace al 50%** (**ED<sub>50</sub>** = Effective Dose at the 50%level)
- **Rapporto tra diluizione e soglia (D/T = Dilution to Threshold)**
- **Unità di Odore (U.O. = Odor Unit)**: questa grandezza nonostante sia adimensionale, viene convenzionalmente espressa in forma di concentrazione (OU/m<sup>3</sup> di aria) in modo da poterla trattare alla stessa stregua delle concentrazioni degli altri inquinanti in atmosfera e poter quantificare l'emissione di odore come prodotto di una concentrazione per una portata di aeriforme. Per definizione risulta così che la concentrazione di sostanze odorose a livello soglia risulta pari a 1 OU/m<sup>3</sup>. (Esempio: se la soglia di odore risulta pari a 2000 OU/m<sup>3</sup> significa che occorrerà diluire 2000 volte il campione di aria odorosa con aria pulita per renderlo non più percettibile dal

50% dei giudicatori).

Nella misura del fattore di diluizione alla soglia di percezione vengono utilizzati due metodi (ovvero due tipologie di olfattometri) per ottenere risposte dai membri della commissione giudicatrice: il *metodo si/no* e il *metodo della scelta forzata*.

- **Metodo si/no:** il giudice annusa l'aria da una sola mascherina e deve rispondere alla domanda "riesce a percepire un odore?". In genere un buon giudice è ben motivato e cerca di dare una risposta corretta, per cui risponde "si" solo se è certo di percepire davvero qualcosa. La presentazione dei campioni avviene a concentrazioni di odore progressivamente crescenti, intervallate da "bianchi", ossia campioni di aria neutra, per controllare l'attendibilità delle risposte dei rinoanalisti;
- **metodo della scelta forzata:** il giudice annusa l'aria da una sola maschera di annusamento e risponde "si" o "no" alla domanda "si sente odore?" La tecnica della scelta forzata è meno soggetta a errori che derivano da idee preconcepite. Secondo questa tecnica le risposte dei commissari devono essere corrette statisticamente per tenere conto che parte di esse sono state "indovinate".

La misura della concentrazione di odore viene eseguita secondo indicazioni metodologiche già normate in alcuni paesi: ASTM E679 per USA, VDI 3881 per Germania, NF X 43-101 per Francia, VN 2820 per Olanda.

Il metodo di olfattometria dinamica, così come descritto nella norma EN 13725:2003 recepita in Italia come UNI EN 13725:2004, è riconosciuto dalla Commissione Europea (Integrated Pollution Prevention and Control IPPC. reference document on the general principles of monitoring - annex 2.1) come il metodo ufficiale per la determinazione della concentrazione di odore in campioni gassosi.

Le prescrizioni in essa contenute relative alle misure olfattometriche riguardano:

- le modalità di selezione e di gestione del panel,
- le modalità di campionamento,
- i materiali per la costruzione dell'olfattometro e per i dispositivi di campionamento,
- i requisiti di qualità delle prestazioni dello strumento,
- le modalità di calibrazione,
- le modalità di presentazione dei campioni e di gestione delle sessioni di misurabile,
- le modalità di registrazione, elaborazione e presentazione dei risultati

## 7.9 Misura dell'intensità di odore

L'*intensità* dell'odore viene valutata sulla base di scale di giudizio (ad esempio con punteggi che vanno da 0 a 6, associando ad ogni punteggio un livello di valutazione (*tabella 8*). E' di norma valutata con riferimento a una equivalente sensazione odorosa di una sostanza a concentrazione nota (n-butanolo).

La relazione fra intensità e concentrazione di odore non è lineare. Questa funzione psicofisica può essere descritta da diverse approssimazioni matematiche, fra le quali le più usate sono: la legge di Weber-Fechner (logaritmica) e la legge di Stevens (potenza):

$$I = k_w \cdot \log(C - C_o) \quad (\text{legge di Weber-Fechner})$$

dove: I = intensità percepita

$k_w$  = costante di Weber-Fechner

C = concentrazione di odore

$C_o$  = concentrazione soglia

$$I = k_s \cdot (C - C_o)^n \quad (\text{legge di Stevens})$$

ovvero

$$\log I = n \log (C - C_0) + \log k_s$$

dove:  $n$  = coefficiente di Stevens, dipende dalle sostanze, compreso tra 0.1 e 1

$k_s$  = costante di Stevens

$C_0$  = concentrazione soglia

L'utilità della valutazione della relazione intensità-concentrazione nel controllo degli odori sta nella possibilità di stimare l'entità di riduzione dell'intensità di odore che si può ottenere con sistemi di abbattimento o in conseguenza della diluizione dovuta alla dispersione atmosferica. Miscele odorose che presentano una pendenza elevata della retta intensità-concentrazione (su grafico logaritmico) hanno un odore che diventa rapidamente intenso al crescere della concentrazione. Per contro odori con una bassa pendenza della retta sono meno suscettibili a sparire per diluizione. La pendenza della retta è una misura della pervasività dell'odore.

## 7.10 Misura dell'accettabilità dell'odore

Il **tono edonico** dell'odore (o sgradevolezza) è riferito alla sensazione piacevole o spiacevole che si ricava da un odore. E' quindi una misura dell'accettabilità. Viene valutato su scale di giudizio soggettivo (*tabella 8*) con punteggi da 0 a 6 cui vengono associate espressioni del tipo: 0 = nessun fastidio, 6 = fastidio intollerabilmente serio.

<b>Intensità di odore</b>	<b>punteggio</b>	<b>Tono edonico</b>
impercettibile	0	nessun fastidio
appena percettibile	1	fastidio molto leggero
debole	2	fastidio leggero
distinto	3	fastidio distinto
forte	4	fastidio serio
molto forte	5	fastidio molto serio
intollerabilmente forte	6	fastidio intollerabilmente serio

*Tabella 8: scale di giudizio per intensità di odore e tono edonico*

## **7.11 Altri indici di quantificazione dell'odore**

**Soglia di riconoscimento (TOC100):** a questa concentrazione l'odore può essere riconosciuto come rappresentativo del sistema analizzato. La soglia di riconoscimento è in genere superiore di 1.5-10 volte rispetto alla soglia di percezione.

**Indice di odore: OI = Odor Index** misura il potenziale di una sostanza odorigena di causare problemi di odore. E' dato dal rapporto fra tensione di vapore (ppm) della sostanza e sua soglia di riconoscimento (TOC100).

**Indice superficiale di emissione di odore (SOER = Surface Odour Emission Rate):** rappresenta il numero di Unità di Odore emesse per unità di tempo e di superficie. Ha interesse in particolare per le sorgenti di emissione diffusa da superfici estese (ad es. cumuli di materiale in compostaggio).

## **7.12 Come effettuare una misura olfattometrica presso un impianto di trattamento**

La effettuazione di una misura olfattometrica presso un impianto di compostaggio comporta le seguenti fasi:

- analisi della **linea di trattamento**;
- individuazione dei **punti critici** della linea di trattamento e degli eventuali *bersagli sensibili*, con la definizione dei punti di campionamento significativi;
- scelta delle **strategie di campionamento**. Si dovrà considerare la tipologia della sorgente emissiva: se si possono prevedere variazioni temporali e spaziali della emissione; se si tratta di una emissione canalizzata, superficiale, diffusa; in relazione a ciò potrà essere necessario predisporre adeguati dispositivi di campionamento, quali cappe, camere ventilate o altro; si dovrà valutare quali altri parametri è opportuno rilevare al momento del campionamento (temperature, umidità, pressione, portata, perdite di carico, ecc.); dovranno essere adottati provvedimenti per evitare le condensazioni all'interno delle tubazioni di prelievo e della sacca di campionamento;
- **prelievo dei campioni**. I campioni prelevati dovranno essere rappresentativi della situazione che si intende monitorare. Dovranno quindi essere prelevati in numero adeguato, in particolare per emissioni da superficie estese, quali quelle che caratterizzano i biofiltri. In alcune situazioni, dal momento che il numero massimo di campioni osmogeni che è possibile analizzare nel corso di una sessione olfattometrica è nell'ordine dei 10, potrà essere opportuno raccogliere, in un unico campione, campioni equivolume prelevati da più punti di campionamento, rappresentativi della medesima situazione. I dispositivi per il campionamento dovranno rispondere ai requisiti previsti dallo Standard Europeo prEN 13725, che prevede che l'aria campionata sia prelevata entrando in contatto solo con i materiali consentiti per l'olfattometria (acciaio inox, vetro, materie plastiche poco adsorbenti). Il campione di aria osmogena viene quindi prelevato in sacchetti di nalophan di circa 8 litri, utilizzando un apposito campionatore che aspira l'aria con un sistema "a vacuum", creando cioè una depressione fra la superficie esterna

del sacchetto e l'interno di un contenitore ermetico a pareti rigide in cui il sacchetto viene inserito; un tubicino mette in comunicazione il sacchetto con il punto di prelievo dell'aria da campionare, che, per effetto della depressione, entra nel sacchetto senza dover attraversare il corpo della pompa di aspirazione. Nel caso di prelievo da dispositivi le cui emissioni possono essere influenzate dalle condizioni anemometriche esterne (come nel caso del prelievo a valle dei biofiltri), o per le quali risulta opportuno (ai fini dei rilievi relativi alla velocità dell'aria) ricorrere a una moltiplicazione della velocità dell'aria nel punto di misura, si fa uso di cappe di convogliamento. La cappa utilizzata di norma da CRPA per i rilievi olfattometrici è di acciaio inox, di forma tronco-conica, con area di base pari a  $1 \text{ m}^2$  e diametro al camino di uscita pari a  $0.2 \text{ m}$ , il che significa un fattore moltiplicativo della velocità dell'aria di 30.25. Nel caso di prelievi alle immissioni (bersagli sensibili) dovrà anche essere possibilmente rilevata velocità e direzione del vento al momento del prelievo:

- **esecuzione della misura.** Il campione, trasportato al laboratorio olfattometrico, deve essere valutato entro 30 ore dal momento del suo prelievo. La misura olfattometrica viene effettuata in un apposito *laboratorio di olfattometria* che deve rispettare alcuni standard previsti dalla norma europea, volti a garantire un buon livello di qualità dell'aria ambiente e di comfort per gli operatori. In particolare vengono fornite prescrizioni per quanto riguarda il numero di ricambi di aria (minimo assoluto =  $4.4 \text{ m}^3/\text{h}$  per persona, consigliato per un buon livello di comfort =  $17 \text{ m}^3/\text{h}$  per persona), la qualità dell'aria di ricambio (esente da odori, quindi filtrata su carboni attivi), la variazione massima di temperatura accettabile durante la prova ( $+ 3^\circ\text{C}$ ), la temperatura massima ( $25^\circ\text{C}$ ) del locale, il livello di rumorosità. La misura viene effettuata utilizzando un olfattometro (lo strumento in dotazione di CRPA è l'olfattometro TO7 della ditta tedesca ECOMA) che consente la determinazione della concentrazione di odore, operando secondo le



prescrizioni dello Standard Europeo e della norma VDI 3881. L'**olfattometro TO7** viene comandato da un apposito software, che regola le diluizioni e la presentazione dei campioni ai rino-analisti. Consente diluizioni fino a 64000 volte e lavora con 4 panelist che eseguono il test contemporaneamente. Ogni test completo deve venire effettuato con 8 panelist e ripetuto 3 volte, per avere una sufficiente base statistica per la elaborazione dei risultati. Per ottenere risposte dai membri della commissione giudicatrice si utilizza il **metodo "si/no"**. 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. Il passo di diluizione fra una presentazione e quella successiva è pari a 2, nel senso che si passa, per esempio, dalla diluizione 640 a 320, ecc. Lo strumento prevede, nella serie di presentazioni, l'alternanza di aria odorosa e di aria neutra (che è aria pulita filtrata su carboni attivi, per renderla quanto più possibile inodore), per consentire ai valutatori di avere un confronto con un riferimento di aria pulita. Inoltre, nella sequenza di presentazioni, vengono inseriti in modo casuale, al posto dell'aria odorosa, dei "bianchi" (campioni di aria neutra), per testare la capacità valutativa dei rinoanalisti. Le risposte ottenute e gli errori sui bianchi vengono registrati dal software di gestione che, alla fine della prova, fornisce in output la concentrazione di odore(in OU/m<sup>3</sup>) per quel campione e per i 4 soggetti che hanno eseguito il test, con indicazione di alcuni parametri relativi all'elaborazione statistica delle risposte. Il test del primo gruppo di 4 rinoanalisti deve essere poi associato a quello del secondo gruppo, per una elaborazione statistica del complesso delle risposte di tutti e 8 i soggetti. Nella elaborazione dei risultati di ciascun test olfattometrico la norma europea prevede che vengano effettuati dei controlli sulla affidabilità delle risposte dei singoli rinoanalisti. Tali controlli devono verificare che, nell'ambito di una sequenza di misura, il singolo rinoanalista non commetta

più del 20% di errori sui “bianchi” e che il valore medio delle risposte del singolo rinoanalista non si discosti troppo ( $-5 \leq D \leq 5$ ) dal valor medio del gruppo (risposta anomala). In entrambi questi casi il soggetto deve essere escluso dalla elaborazione della misura. La misura olfattometrica viene ritenuta valida se, dopo questi controlli ed eventuali esclusioni, sono rimasti almeno 4 rinoanalisti affidabili sulle cui risposte effettuare la elaborazione dei dati per fornire la misura di concentrazione di odore. Per effettuare questi controlli il CRPA ha sviluppato un software che trasferisce automaticamente il file prodotto dal software dell'olfattometro in un foglio di lavoro Excel, effettua i citati controlli e la successiva elaborazione dei risultati, li archivia in un archivio storico in cui vengono progressivamente immagazzinati tutti i risultati dei test e i controlli sulla qualità delle risposte dei rinoanalisti.

### **7.13 Genesi e caratteristiche degli odori negli impianti di bioconversione**

Il problema delle emissioni odorose è strutturale negli impianti di compostaggio, come in tutti quelli che gestiscono e trasformano grandi masse di sostanze organica. I processi di decomposizione, o di semplice dispersione dei composti più volatili, sono per se potenzialmente vettori di stimoli olfattivi.

Tuttavia è possibile intervenire sulla *intensità* e sul *tono edonico* degli odori rilasciati. Le emissioni odorose sono infatti dovute essenzialmente alla presenza nelle arie esauste di cataboliti ridotti (composti non completamente ossidati dello zolfo, dell'azoto, del carbonio), e tale presenza si pone potenzialmente 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 o meno spiccatamente odorigeni (anidride carbonica, ossidi di azoto, anidride solforosa, ecc.); i motivi di fenomeni odorosi particolarmente intensi possono dunque essere ricondotti soprattutto alla presenza di

situazioni critiche processuali o impiantistiche come:

- Mancata canalizzazione e trattamento delle arie esauste odorose;
- Bassa efficienza dei sistemi di abbattimento;
- Mancata tenuta in depressione dei capannoni di bioconversione;
- Fuoriuscita di arie odorose da portali (es. fosse di scarico);
- Messa a parco in maturazione all'aperto di materiale ancora fortemente odorigeno;
- Stazionamento all'aperto di sovvalli ad elevata componente fermentescibile;
- Interruzione precoce dei processi aerobi a carico di biomasse non ancora mature;
- Presenza di estese pozze di percolato;
- scarso o intempestivo utilizzo dell'aerazione forzata della biomassa;
- presenza di sacche anaerobiche nei cumuli.

La prevenzione degli odori richiede dunque una buona attenzione ai connotati *progettuali* ma anche alle condizioni *gestionali* dell'impianto.

E' importante sottolineare che negli impianti di compostaggio e trattamento biologico le molestie olfattive più sgradevoli sono generalmente causate da sostanze presenti in minima quantità. Negli impianti di compostaggio di biomasse da raccolta differenziata, che sono costituite da materiale di origine naturale le emissioni odorose sono caratterizzate da intermedi volatili della degradazione microbica di questi substrati, ovvero molecole naturalmente presenti in natura, con scarso impatto sulla salute umana. E' vero tuttavia che negli impianti di trattamento biologico dei rifiuti indifferenziati tali sostanze osmogene possono essere accompagnate da altri composti volatili di origine antropica (solventi, idrocarburi aromatici, ecc.), che possono essere rilevanti sotto il profilo tossicologico o dell'inquinamento atmosferico. Queste sostanze, originariamente presenti nel rifiuto

indifferenziato, richiedono una specifica attenzione, anche in riferimento alla loro intercettazione nei flussi di raccolta. In tabella 9 vengono elencate alcune delle sostanze odorigene maggiormente responsabili degli odori avvertibili negli impianti di compostaggio con il confronto tra le soglie di percettibilità da parte del 100% di un gruppo di testatori e i livelli di ammissibilità di esposizione negli ambienti di lavoro.

<b>Sostanza</b>	<b>100% ORC</b>	<b>TLV</b>
idrogeno solforato	1,4	14000
metilmercaptano	70	1000
dirnetildisolfuro	16	-
trimetillainmina	9,8	24000
acido butirrico	73	-
acido esanoico	29	-
acetaldeide	549	180000

*Tabella 9: principali composti odorigeni riscontrabili in un impianto di compostaggio. Soglie di percettibilità olfattiva (100% ORC) e livelli ammissibili di esposizione negli ambienti di lavoro (TLV)*

Da tale confronto si evince come le soglie di percettibilità delle sostanze odorigene, ossia le concentrazioni a cui gli odori vengono percepiti negli impianti ed attorno ad essi, sono nella generalità dei casi ben inferiori alle concentrazioni alle quali possono ingenerarsi rischi sanitari.

Va segnalato che spesso, nel settore della bioconversione, operatori e strutture di controllo hanno amplificato l'importanza, pure effettiva, della efficienza funzionale dei sistemi di presidio; in tale modo si è stabilita una sorta di equivalenza concettuale tra presenza e buona gestione del sistema di trattamento delle arie e sicurezza olfattiva dell'impianto. Tale condizione tuttavia non è sempre sufficiente a prevenire l'insorgenza degli impatti olfattivi.

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

Tuttavia, nel caso di problemi di odori effettivamente rilevanti, un'accurata strategia di monitoraggio non dovrebbe prescindere dall'analisi complessiva dell'impianto dal punto di vista logistico-gestionale.

In tabella 10 vengono riportate alcune delle potenziali fonti di odore in un impianto di compostaggio, con i relativi contributi come rilevati in uno specifico impianto.

<b>Area operativa</b>	<b>U.O. (m<sup>3</sup>/h)</b>
ricezione	470
pretrattamento	142
superficie dei cumuli (prima fase di compostaggio)	2000 - 70000
superficie dei cumuli (maturazione)	100 - 10000
vagliatura	118
aria in uscita dal biofiltro	< 200 - 300

*Tabella 10: emissioni odorose in diverse zone di un impianto di compostaggio*

## Capitolo 8 - Strategie di prevenzione e mitigazione degli odori

### **8.1 Le strategie di gestione intese alla prevenzione degli odori**

Se è vero che gli odori da processi di bioconversione sono dovuti essenzialmente ad intermedi di degradazione non completamente ossidati (considerazione sulla quale ad esempio è basato il principio della biofiltrazione per l'ossidazione dei composti odorigeni) può essere pensabile intervenire alla fonte, minimizzando l'occorrenza di stati anaerobici all'interno della biomassa, la formazione di composti organici (inclusi quelli dello zolfo e dell'azoto) ridotti e con ciò stesso il potenziale odorigeno complessivo del sistema.

Vale la pena di sottolineare che l'ottimizzazione delle prestazioni del metabolismo aerobico nelle prime fasi (bioossidazione accelerata o ACT = Active Composting Time) consente non solo la minimizzazione puntuale della produzione di cataboliti odorigeni (promossa invece da condizioni anaerobiche generali o locali), ma anche una migliore stabilizzazione della sostanza organica (con metabolizzazione delle componenti maggiormente fermentescibili) e la sicura perdita di fitotossicità (importante in relazione agli utilizzi previsti); contestualmente, una minore fermentescibilità acquisita a parità di tempo di ritenzione nella fase ACT consente di accedere alla fase di maturazione finale in condizioni meno critiche; va sottolineato che le aree di maturazione spesso non vengono presidiate, né sono generalmente dotate di sistemi di aerazione forzata della biomassa; questo porta a fare affidamento essenzialmente sui *processi di tipo diffusivo e convettivo*, che devono essere da soli in grado di bilanciare il consumo di ossigeno determinato dalla fermentescibilità residua della biomassa. In estrema sintesi, l'ottimizzazione del processo nelle prime fasi di bioossidazione accelerata *pone anche le basi per una gestione efficace e coerente del processo nelle fasi di maturazione finale.*

Possiamo dunque individuare come obiettivo fondamentale della fase di

bioossidazione accelerata la *ottimizzazione dei processi di bioconversione aerobica, ossia la più estesa trasformazione delle componenti più fermentescibili ed odorigene* (in cataboliti ossidati oppure in anaboliti maggiormente stabili). Uscire dalla fase ACT con una biomassa già ben stabilizzata, ossia meno fermentescibile e che non è passata attraverso fasi di metabolismo putrefattivo, significa gestire in condizioni di sicurezza, processistica ed olfattiva, le successive fasi - soprattutto laddove non sono presidiate.

Possiamo dunque individuare i più importanti criteri di prevenzione di molestie olfattive negli impianti di trattamento biologico (compostaggio e biostabilizzazione). Alcuni di questi, riguardanti i cosiddetti processi unitari (es. ricezione, manutenzione dei piazzali, ecc.), possono essere applicati anche ad altre tipologie di insediamento impiantistico volte al trattamento dei rifiuti.

- **Mancato trattamento delle arie esauste odorose e bassa efficienza dei sistemi di presidio ambientali:** sono senz'altro alcuni dei difetti di impostazione operativa maggiormente evidente; quelli su cui comunque si concentra da subito l'attenzione. Il buon dimensionamento dei sistemi di abbattimento e il mantenimento del loro stato funzionale efficace sono evidentemente tra i più importanti metodi di prevenzione.
- **Mancata tenuta in depressione dei capannoni di bioconversione:** non consentendo l'intercettazione completa delle arie odorigene, ha spesso determinato situazioni critiche anche in impianti con buona dotazione di sistemi di abbattimento; il dimensionamento dei sistemi di estrazione e la disposizione degli estrattori delle arie esauste sono decisivi per assicurare la perfetta efficienza del sistema di canalizzazione delle arie esauste; alla stessa categoria di problemi si può riferire la **fuoriuscita di arie odorose dai portali**, problema da temere soprattutto nel caso della presenza di fosse di scarico che costringono a gestire le operazioni di scarico a portale aperto per un tempo relativamente lungo (i pavimenti di scarico o tipping floors

permettono invece la gestione delle operazioni di scarico all'interno, a portale chiuso). Un buona soluzione del problema è la predisposizione di precamere.

- **Presenza di estese pozze di percolato:** e dei relativi criteri di gestione.
- **Messa a parco in maturazione all'aperto di materiale ancora fortemente fermentescibile ed odorigeno:** è importante sfruttare al meglio le potenzialità della bioconversione nella prima fase di bioossidazione accelerata, curando progettualmente e operativamente il dimensionamento del sistema di aerazione forzata, la successione dei tempi di accensione/spegnimento, le necessità di ristoro periodico dell'umidità, allo scopo di promuovere la massima stabilizzazione della biomassa e renderla coerente con la successiva fase di maturazione, generalmente non presidiata ed impostata su sistemi di aerazione a diffusione passiva.
- **Interruzione precoce dei processi aerobi a carico di biomasse non ancora perfettamente mature:** può verificarsi ad esempio in molti insediamenti in cui si procede ad una raffinazione spinta (ossia a piccola granulometria) in una fase ancora precoce del processo.

## 8.2 Le strategie di gestione del problema

Atteso che la produzione di odori è una caratteristica strutturale dei processi di trasformazione della sostanza organica, le azioni di mitigazione (abbattimento, dispersione) devono fare sì che gli odori non vengano avvertiti ai potenziali "bersagli" ossia gli insediamenti antropici di qualunque genere presenti nel territorio circostante.

Da un punto di vista concettuale, il potenziale odorigeno di un insediamento per il compostaggio od il trattamento biologico del rifiuto nei confronti degli insediamenti vicini può essere descritto tramite una "equazione concettuale" che mette in relazione fra di loro le principali caratteristiche operative:



$$O = \Sigma (F \times M \times KP) / (KT \times L \times D)$$

“O” = odore al bersaglio

“F” = fermentescibilità della biomassa

“M” = massa di materiale trattato

“KP” = coefficiente di amplificazione degli effetti per il tipo di tecnologia di processo

“KT” = coefficiente di abbattimento degli odori tramite presidi tecnologici

“L” = distanza dai potenziali bersagli.

“D” = effetto diluente di eventuali interventi di dispersione

Sostanzialmente, al numeratore si riportano i fattori che possono aumentare il potenziale odorigeno, al denominatore quelli che lo mitigano.

Questa formulazione consente di apprezzare, sinteticamente, il ruolo dei vari fattori influenti sulle condizioni di avvertibilità degli odori in un determinato sito e di sintetizzare le diverse strategie e condizioni di gestione del problema.

### **8.3 Le strategie di mitigazione - la strategia della dispersione**

E' quella largamente diffusa ad esempio nei contesti nord americani, in cui la possibilità di localizzazioni sufficientemente defilate consente, con il concorso della dispersione atmosferica (promossa ad es. tramite l'applicazione di ventilatori/agitatori e/o camini di espulsione), il contenimento degli effetti olfattivi ai potenziali bersagli. Spesso la strategia della dispersione viene applicata in congiunzione con quella dell'abbattimento; questo tipo di "strategia combinata" ha registrato nei casi di applicazione anche in Europa, in siti fortemente critici nei quali il solo trattamento non si era dimostrato sufficiente a garantire gli standard di inodorousità reclamati negli insediamenti abitativi od industriali contigui.

Generalmente, e comprensibilmente, tale approccio richiede una valutazione degli

effetti tramite l'applicazione di modelli diffusivi adeguati.

## **8.4 Le strategie di mitigazione - la strategia di abbattimento**

E' quella largamente prevalente nei contesti europei, almeno in quelli in cui la strategia è più "matura", per gli insediamenti impiantistici che trattano biomasse ad elevata fermentescibilità (scarti alimentari da trasformazione agroindustriale, fanghi di depurazione, etc.) a capacità operative medio-elevate (indicativamente da 3000 - 5000 ton/anno in su). I concetti guida di tale strategia prevedono l'adozione di presidi per la canalizzazione e il trattamento delle arie odorigene nelle prime fasi di processo; ciò equivale a intervenire, in questa fase, sui sistemi di abbattimento, elevato il valore di "Kt; le fasi di maturazione -purché la biomassa abbia raggiunto un grado di fermentescibilità residua relativamente basso - presentano invece un indice di fermentescibilità "F" sensibilmente inferiore, e questo consente la disposizione di tale fase in aree non presidiate, a meno di una dimensione critica dei parametri "D" e/o "M".

E bene dunque che gli impianti che trattano grosse quantità di matrici fortemente fermentescibili (fanghi, scarti alimentari, etc. ) e/o siano collocati in vicinanza di insediamenti abitativi siano dotati di ulteriori presidi contro la potenziale diffusione di odori all'esterno; la "condizione di sicurezza" primaria (anche se non esclusiva) in tali situazioni si ottiene mediante:

- la chiusura delle aree operative destinate alle prime fasi di processo (quelle in cui la miscela è ancora potenzialmente odorigena);
- la canalizzazione delle arie esauste provenienti da tali aree verso una linea di trattamento degli odori;
- il dimensionamento adeguato dei biofiltri e/o degli scrubber e di qualunque altro sistema utilizzato per la deodorizzazione delle arie esauste;

- la corretta gestione dei sistemi di deodorizzazione (esempio, conservazione dello stato strumentale e delle condizioni di umidità ideali per la massima efficacia dei biofiltri).

L'applicazione di questa strategia ha conseguito indubbiamente risultati importanti.

## **Capitolo 9 - Tecnologie di abbattimento in uso nell'impianto trattato**

### **9.1 Gli scrubbers**

Gli scrubbers sono torri di lavaggio che si basano sul principio dell'assorbimento; esso comporta il trasferimento dalla fase gas alla fase liquida delle componenti inquinanti presenti in una miscela, mediante la loro dissoluzione in un opportuno solvente. Il liquido assorbente base è l'acqua. L'impiego di sola acqua, però, pone dei limiti all'efficienza dei sistemi perché diversi composti fonte di odore sono scarsamente idrosolubili.

Il lavaggio ad acqua può essere utilizzato quindi per composti quali ammoniaca, alcoli, acidi grassi volatili; altri composti sono scarsamente solubili in acqua come composti clorurati, ammine, acido solfidrico, chetoni e aldeidi. Composti solforati fortemente odorigeni come il dimetildisolfuro, oltre a terpeni e idrocarburi aromatici sono insolubili in acqua.

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

E' comunque consolidato il fatto che, qualora lo scrubber sia accoppiato ad un biofiltro posto a valle, il semplice lavaggio ad acqua è sufficiente ad abbattere il carico odorigeno in maniera sufficiente, consentendo una gestione impiantistica più semplice ed evitando il rischio di alterare le caratteristiche del letto biofiltrante (pH etc.) qualora i dosaggi delle soluzioni acide e basiche non siano ben bilanciati. Viene quindi lasciato al biofiltro il compito di completare la degradazione dei

composti insolubili in acqua.

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

Il principio di funzionamto si basa dunque sull'assorbimento. L'aria da

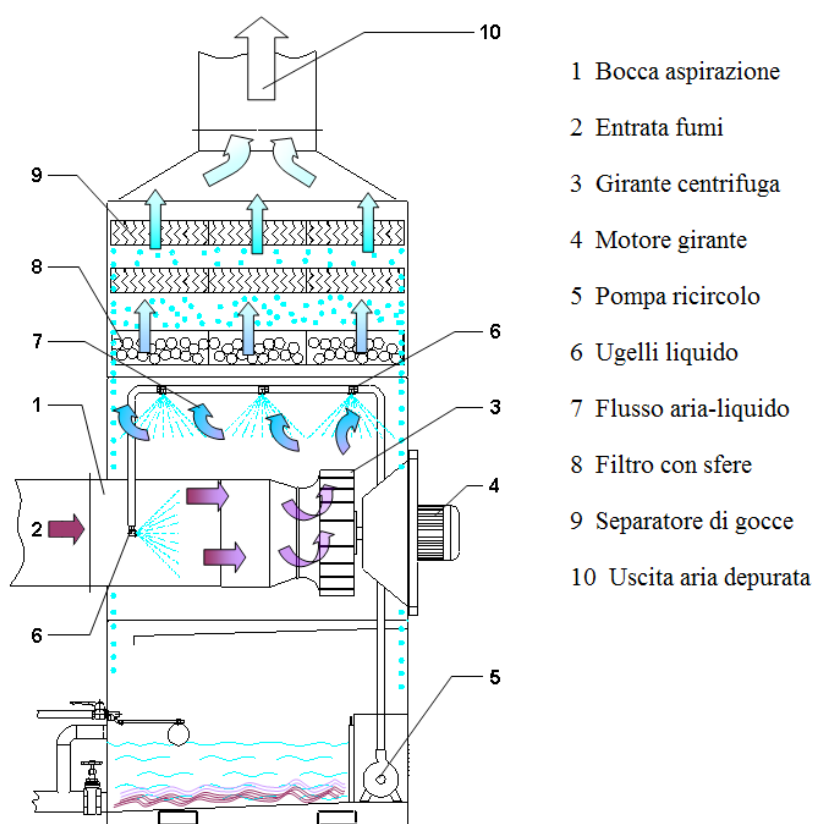


Illustrazione 10: funzionamento di uno scrubber

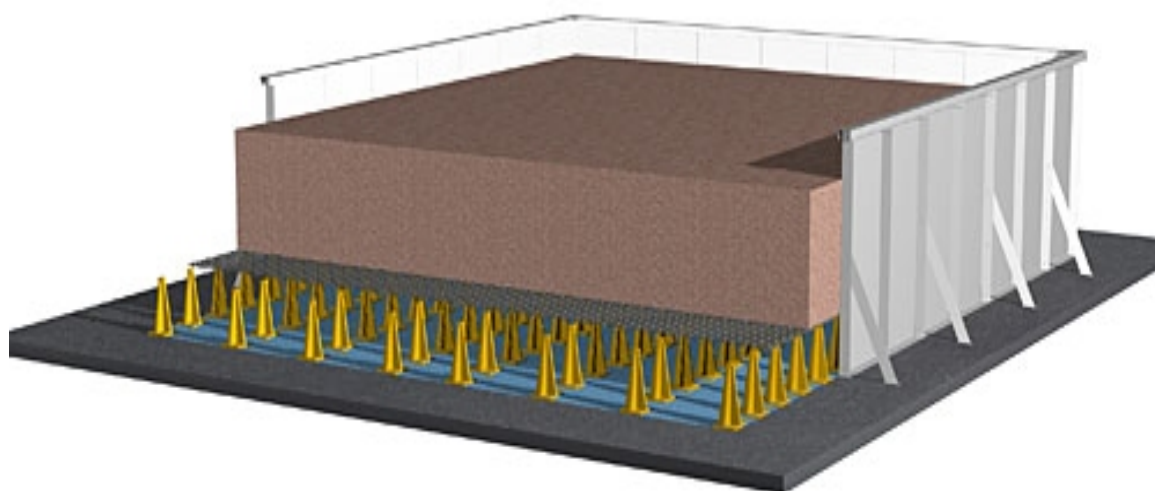
stessa a dei bruschi cambiamenti di direzione, accentuando l'effetto inerziale per la separazione delle polveri catturate dalle gocce d'acqua.

depolverizzare entra nella parte inferiore del cilindro di contenimento e viene investita, in controcorrente, da acqua polverizzata spruzzata da una o più rampe di ugelli. L'aria depolverizzata fuoriesce dalla parte superiore, mentre l'acqua che piove sul fondo deve venire drenata. Possono essere previsti una serie di setti per costringere l'aria

## 9.2 Il biofiltro

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.

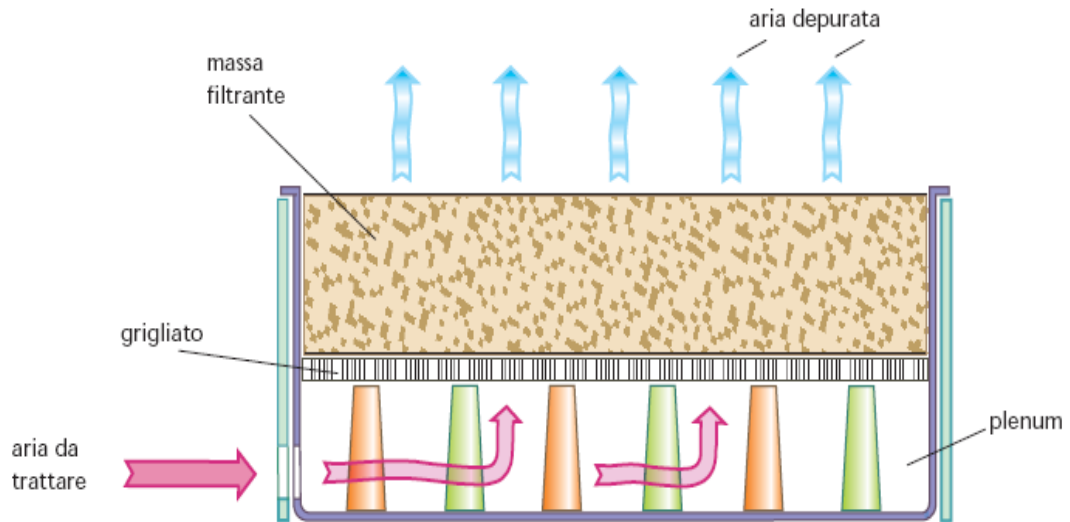
È importante sottolineare che la colonizzazione e le attività metaboliche avvengono all'interno del **biofilm** che, in questo caso, deve intendersi come la pellicola d'acqua che si crea attorno alle particelle della matrice solida di cui il biofiltro è costituito.



*Illustrazione 11: vista in prospettiva di un biofiltro*

Prima dell'uscita dal letto filtrante, la corrente emissiva si arricchisce di CO<sub>2</sub>, degli altri composti volatili prodotti e del calore generato dalle reazioni biochimiche. 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.



*Illustrazione 12: particolare del sistema di distribuzione dell'aria al di sotto del biofiltro*

	<b>Concentrazione (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) min-max</b>	<b>Efficienza (%) min-max</b>	<b>Concentrazione (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) min-max</b>	<b>Efficienza (%) min-max</b>	<b>Concentrazione (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) min-max</b>	<b>Efficienza (%) min-max</b>
<b>acetaldeide</b>	2100 - 2500	78 - 89	46 - 740	89 - 96	4900 - 6100	99
<b>n-butilacetato</b>	150 - 425	97 - 99	30 - 120	83 - 96	170 - 980	73 - 99
<b>etilbenzene</b>	250 - 310	12 - 42	60 - 190	27 - 61	250 - 740	16 - 43
<b>2 - etiltoluene</b>	180 - 220	33 - 41	25 - 105	14 - 89	80 - 270	25 - 55
<b>3,4 - etiltoluene</b>	480 - 640	23 - 45	70 - 260	38 - 96	1300 - 3700	30 - 63
<b>limonene</b>	1700 - 4300	29 - 40	810 - 2200	94 - 98	1300 - 3700	30 - 63
<b>toluene</b>	490 - 550	16 - 39	130 - 280		460 - 1000	7 - 36
<b>m/p - Xilene</b>	850 - 1400	9 - 42	280 - 620	30 - 71	720 - 2000	19 - 45
<b>n - xilene</b>	260 - 290	23 - 41	60 - 150	7 - 63	160 - 650	20 - 45
<b>acetone</b>	2450 - 2900	99-100	1200 - 2800	99 - 100	4700 - 8200	93 - 97
<b>2 - butanone</b>	960 - 2800	99 -100	80 - 770	94 - 99	370 - 11000	95 - 100
<b>etanolo</b>	5200 - 5300	100	88 - 750	94 - 99	14000 -18000	100
<b><math>\alpha</math> - pirene</b>	370 - 700	8 - 44	280 - 790	53 - 83	560 - 930	5 - 39
<b><math>\beta</math> - pirene</b>	330 - 800	12 - 44	120 - 300	53 - 81	560 - 930	38 - 49

*Tabella 11: Efficienza di abbattimento dei biofiltri per alcuni intervalli di concentrazione tipici degli impianti di trattamento meccanico biologico*

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.

Al fine di ottenere una buona efficienza del biofiltro le sostanze da rimuovere devono avere due caratteristiche fondamentali:

- facile biodegradabilità;
- non tossicità per i microrganismi.

### 9.2.1 Stadi del processo

Il processo di biofiltrazione consta di tre stadi:



1. l'inquinante, contenuto nel flusso gassoso da depurare, attraversa l'interfaccia fra il gas di trasporto e il biofilm acquoso che circonda il mezzo solido;
2. il composto si diffonde attraverso il biofilm in un consorzio di microrganismi acclimatati;
3. i microrganismi traggono energia dall'ossidazione del composto utilizzandolo come substrato primario, oppure lo metabolizzano attraverso vie enzimatiche alternative. Simultaneamente nel biofilm si verifica una diffusione e un consumo di nutrienti (come le forme prontamente disponibili del fosforo e dell'azoto) e di ossigeno.

Alcuni **sistemi di pretrattamento** si rivelano importanti per il corretto funzionamento di un biofiltro, tra questi possiamo annoverare:

1. **rimozione del particolato e/o eventuali aerosol grassi;**
2. **equalizzazione del carico:** le arie derivanti dai TMB possono avere concentrazioni di COV estremamente variabili in funzione della zona dell'impianto da cui provengono. In questi casi, al fine di consentire un funzionamento ottimale e omogeneo del biofiltro, è necessario operare un'equalizzazione del carico inquinante ovvero una miscelazione delle arie provenienti dalle aree a diversa attività biologica.
3. **Regolazione della temperatura:** potrebbe essere necessario per raggiungere il range ottimale dell'attività batterica (optimum dei batteri mesofili = 37°C). Come in tutti i sistemi biologici non occorre un controllo preciso della temperatura, in quanto il sistema, nel suo complesso, è versatile ed adattativo; il range ottimale di temperatura si ha comunque tra i **15 e i 40°C**;
4. **Umidificazione:** l'umidità è il parametro che in genere condiziona maggiormente l'efficienza di un biofiltro in quanto 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. E' buona norma, pertanto, installare in modo omogeneo sulla superficie del biofiltro degli irrigatori ad essa asserviti. Un biofiltro troppo umido provoca, al contrario, elevate contropressioni, problemi di trasferimento di ossigeno al biofilm, creazione di zone anaerobiche, lavaggio di nutrienti dal mezzo filtrante nonché formazione di percolato a basso pH ed alto carico inquinante che necessiterebbe di ulteriori adempimenti per il suo smaltimento. Il contenuto di umidità ottimale del mezzo filtrante è nell'ordine del **40-60%**.

5. **Distribuzione del flusso gassoso:** è importante assicurare, per uniformare l'alimentazione del carico inquinante al biofiltro, un'omogenea distribuzione del flusso attraverso:

- la predisposizione di un sistema di distribuzione efficace al di sotto del letto di biofiltrazione;
- la prevenzione del compattamento della biomassa filtrante per evitare una “cortocircuitazione” delle arie. A tal proposito, **indagini anemometriche** periodiche sulla superficie del biofiltro si rivelano **decisive** per controllare la uniforme distribuzione dell'alimentazione del biofiltro.

### 9.2.2 Componenti costruttivi

Costruttivamente nei biofiltri si individuano i seguenti componenti:

#### **1. Una struttura di contenimento**

Per la realizzazione delle strutture di contenimento sono utilizzati diversi materiali e soluzioni che vanno dal legno e calcestruzzo ai più moderni sistemi modulari prefabbricati in metallo o calcestruzzo.

## 2. Un sistema di diffusione dell'aria

Tutti i sistemi prevedono accorgimenti atti a contenere o eliminare le vie preferenziali di attraversamento da parte dell'effluente gassoso. Al fine di migliorare la diffusione e il drenaggio, la distribuzione dell'aria può essere realizzata mediante una rete di tubi forati posta al di sotto del letto filtrante e solitamente annegata in un bacino di materiale inerte.

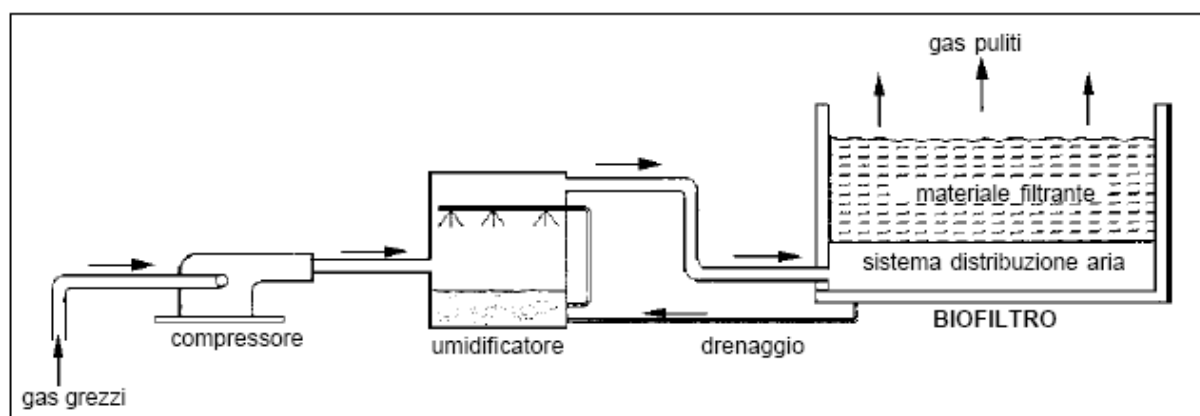


Illustrazione 13: percorso del gas da trattare in ingresso al biofiltro

## 3. Un letto filtrante

I letti filtranti possono essere grossolanamente suddivisi in funzione del tipo di materiale utilizzato per favorire la crescita e l'attività metabolica dei batteri. Si possono distinguere biofiltri con letto filtrante di origine naturale a base di torba e biofiltri costituiti da materiale inerte, molto meno diffusi dei precedenti perché di più recente applicazione. In questo ultimo caso i letti vengono bagnati di continuo per favorire il mantenimento di un'adeguata carica batterica. Le proprietà richieste ad una buona miscela filtrante sono:

- ambiente microbico ottimale;
- ampia area superficiale specifica
- integrità strutturale;

- elevata umidità;
- elevata porosità (80-90 %);
- bassa densità volumetrica;
- capacità di ritenzione idrica (umidità 40-60%).

Il compost, le torbe e le cortecce possiedono molte delle caratteristiche sopra menzionate. Qualora si utilizzi il compost esso deve essere di grossa pezzatura, privo di componente polverosa ed estremamente leggera: per tale motivo si utilizza normalmente compost ottenuto da potature triturate. Inoltre, tale materiale filtrante ha il vantaggio di fornire minori resistenze al passaggio del gas e quindi presenta perdite di carico inferiori. Tali proprietà influiscono sensibilmente sull'efficienza del biofiltro e sui costi di gestione, fornendo minori perdite di carico del sistema e quindi minori consumi energetici e un numero inferiore di interventi di manutenzione necessari a ripristinare le originarie condizioni di porosità.

#### **4. Un sistema per il mantenimento dell'umidità del letto.**

Come già precedentemente illustrato, ogni biofiltro deve essere dotato di un idoneo sistema per il mantenimento dell'umidità del letto in quanto fattore determinante per il suo funzionamento.

La quota d'acqua da apportare per ogni metro cubo di biofiltro si stima compresa fra i 40 e i 60 l/giorno (carico specifico  $100 \text{ Nm}^3/\text{m}^2\text{h}$ ; altezza del letto 1 m).

L'apporto di umidità può avvenire attraverso sistemi di distribuzione sulla superficie o in misura variabile attraverso la stessa aria da filtrare.

#### **9.2.3 Parametri di dimensionamento**

La tecnologia costruttiva di base risulta molto semplice e sono relativamente poco numerose le variabili progettuali e operative che ne condizionano il buon

funzionamento. Sotto il profilo del dimensionamento, assume importanza :

- **Carico specifico superficiale:** tale parametro esprime il flusso di gas che attraversa l'unità di superficie (sezione) del biofiltro, viene espresso in ( $\text{Nm}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ ), ed è generalmente inferiore ai  $200 \text{ Nm}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ .
- **Carico specifico volumetrico:** inteso come quantitativo di aria da trattare nell'unità di tempo e per unità di volume di biofiltro. Anche se sono stati riportati casi di buona efficienza di letti filtranti con carichi specifici fino a  $400 \text{ Nm}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ , i carichi specifici consigliati vanno da  $50$  a  $200 \text{ Nm}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ . Questo parametro è indirettamente collegato al tempo medio di residenza dell'aria all'interno del letto.
- **Tempo medio di residenza:** è il tempo di residenza del flusso gassoso nel biofiltro. Un valore adeguato del tempo di residenza è necessario per permettere il trasporto e la degradazione degli inquinanti. Tale tempo di residenza è calcolato mediante la seguente formula

$$\text{Tr(s)} = 3600/\text{Cs}$$

dove:

Tr = tempo di residenza

Cs = carico specifico volumetrico.

- **Carico volumetrico:** è definito come la massa di COV (composti organici volatili) che arriva al biofiltro, per unità di volume di mezzo filtrante, nell'unità di tempo ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ ). In impianti di compostaggio il carico viene espresso in U.O. (unità olfattometriche).
- **Capacità di rimozione:** è la misura della rimozione dei COV da parte di un determinato carico volumetrico ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ ), ovvero indica il quantitativo di COV(g), che può essere trattenuto nel mezzo filtrante ( $\text{m}^3$ ) nell'unità di tempo(h). La capacità di rimozione è funzione del carico volumetrico, del tempo di residenza medio, del tipo di mezzo, delle caratteristiche dei COV e

delle condizioni ambientali.

- **Altezza del letto:** le altezze del letto filtrante che più hanno trovato applicazioni sono comprese fra 1 e 2 m. Altezze superiori darebbero origine a incrementi di perdite di carico e maggiori difficoltà di distribuzione dell'umidità senza migliorarne significativamente l'efficienza, al contrario, altezze inferiori non assicurerebbero un tempo di residenza adeguato.

#### 9.2.4 Dotazioni impiantistiche minime e condizioni operative ottimali

Le dotazioni impiantistiche minime e le condizioni di funzionamento ottimali sono:

1. Rimozione del particolato e grassi dalla corrente gassosa da trattare
2. Sistema di umidificazione del biofiltro tale da garantire che l'umidità relativa del mezzo filtrante sia in un range del 40-60%.
3. Equalizzazione delle arie inviate al sistema di filtrazione al fine di assicurare un funzionamento ottimale della massa filtrante.
4. Omogenea distribuzione del flusso attraverso un adeguato sistema di distribuzione del flusso.
5. Adeguata capacità tampone del mezzo filtrante in modo da prevenire fenomeni di acidificazione.
6. Adeguata umidità relativa dell'aria in ingresso al biofiltro (il valore ottimale è circa 95%).
7. Efficienza di abbattimento minima del 99%, in modo tale da assicurare un valore in uscita dal biofiltro inferiore o uguale a 300 U.O.
8. Predisposizione del letto di biofiltrazione atto ad evitare fenomeni di canalizzazione dell'aria dovuti ad effetto bordo.
9. Costruzione di ogni singola unità di biofiltrazione con almeno **3 moduli**, singolarmente disattivabili in sede di manutenzione straordinaria, con particolare riferimento al cambiamento del mezzo filtrante.

**10.** Tempo di contatto degli effluenti (tempo di residenza) non inferiore a 36 secondi (tempo ottimale 45 sec).

**11.** Altezza del letto di biofiltrazione compresa fra 100 e 200 cm.

**12.** Adeguato dimensionamento della portata oraria specifica in modo da garantire l'abbattimento del carico odorigeno delle aree da trattare. Il valore di riferimento per la portata specifica riportato nella norma regionale è  $80-100 \text{ Nm}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-3}$ , dai dati reperiti in letteratura **80** è indicato quale **valore ottimale**.

**13.** Dimensionamento del sistema di convogliamento degli effluenti aeriformi che tenga conto delle perdite di carico dovute all'eventuale impaccamento delle torri ad umido e/o della porosità del mezzo filtrante.

**14.** L'eventuale copertura-chiusura fissa o mobile può essere prevista in funzione delle seguenti condizioni:

- vicinanza di un centro urbano ancorché l'impianto sia dislocato in zona industriale
- vicinanza di un centro urbano anche se l'impianto è dislocato in zona agricola
- dislocazione in località ad elevata piovosità media (acqua meteorica  $>2000$  mm/anno).

# Capitolo 10 - Analisi dei dati sperimentali del biofiltro

## 10.1 Premessa

Come già detto nei capitoli precedenti la localizzazione dell'impianto, nella pianura Padana in un contesto periurbano a poche centinaia di metri dai quartieri abitati di tre diversi comuni, si pone sicuramente tra quelle maggiormente antropizzate a livello europeo. Questo ha causato già con l'entrata a regime dell'impianto la nascita e l'incremento delle segnalazioni di odori molesti nel territorio circostante. Con l'ultimo cambio di gestione, passata a ECONORD Spa, il biofiltro è stato profondamente rivisto nella struttura del letto, si è intervenuto a più riprese sulla pezzatura del materiale e nella razionalizzazione delle bagnature in termini di turni e di volume d'acqua utilizzati.

Dato il contesto, la valutazione delle prestazioni ambientali è principalmente affidata al monitoraggio delle prestazioni del biofiltro, attuato mediante indagini olfattometriche e chimiche con le metodiche previste dall'autorizzazione vigente e con frequenze intensificate rispetto agli obblighi autorizzativi a valle degli interventi condotti, nonché attraverso il coinvolgimento diretto della popolazione circostante. Relativamente alle segnalazioni dei cittadini, complessivamente per il periodo di massima criticità si passa da un numero medio di segnalazioni per gli anni 2007 - 2008 superiore ai 100 ad un numero di 63 segnalazioni per l'analogo periodo dell'anno 2009. Relativamente a questo ultimo periodo i risultati attestano, dopo gli interventi, una netta riduzione nel numero di segnalazioni e nella durata dei fenomeni percepiti durante i periodi di tipica maggiore criticità (mesi da aprile a settembre). Rimangono tuttavia segnalazioni da parte di soggetti residenti anche in aree non attigue, la cui corretta interpretazione è resa ancor più difficile da altre sorgenti odorigene comunque presenti nel territorio e dall'andamento climatico favorevole al manifestarsi di disagi e insofferenze.



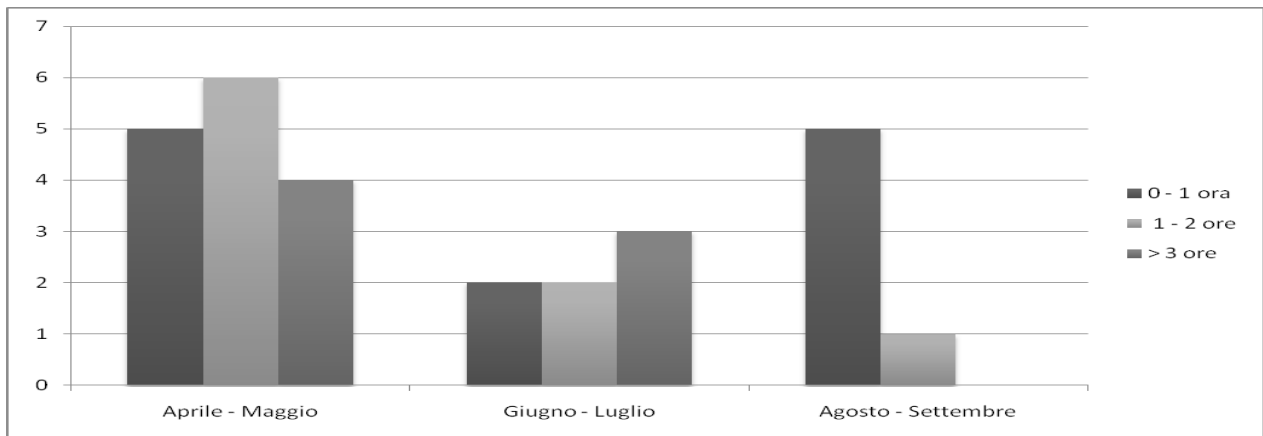


Grafico 2: numero di segnalazioni di odori molesti nei periodi di maggiore criticità per l'anno 2009

Questo studio si pone l'obiettivo di verificare se le responsabilità siano imputabili ad altre fonti, ad eccessiva sensibilità o a una reale molestia originata dall'impianto. Essendo il biofiltro il principale responsabile degli odori molesti è necessario quindi verificarne il corretto funzionamento.

Allo scopo di effettuare una più efficace analisi sul funzionamento del biofiltro sono stati ridotti i parametri osservati essenzialmente a tre, *temperatura, umidità e perdite di carico*. Questi tre parametri infatti sono sufficienti per valutare la salute del biofiltro, in particolare è sufficiente analizzare l'andamento delle perdite di carico misurate in questo caso con cadenza bisettimanale.

## 10.2 Parametri di controllo del biofiltro, perdite di carico

La misura dell'andamento della pressione dell'aria all'interno del biofiltro viene effettuata tramite il tubo di Pitot. Questa tipologia di misurazione è molto semplice ma anche molto indicativa.



*Illustrazione 14: tubo di Pitot*

Basse differenze di pressione tra il punto di ingresso dell'aria al di sotto del letto filtrante e la fuoriuscita di questa in atmosfera denotano una scarsa resistenza del mezzo filtrante all'aria, che passa attraverso questo troppo facilmente, raggiungendo velocità troppo elevate e tempi di permanenza troppo brevi per essere

filtrata adeguatamente.

Alte differenze di pressione tra il punto di ingresso dell'aria al di sotto del letto filtrante e la fuoriuscita di questa in atmosfera indicano con tutta probabilità un impaccamento del biofiltro. Questa situazione risulta essere abbastanza critica poiché l'aria tenderà a trovare vie preferenziali di fuoriuscita dal biofiltro incontrando una resistenza molto elevata in questo. Questo non permette una corretta filtrazione dell'aria che per avvenire necessiterebbe di un adeguato tempo di passaggio all'interno del biofiltro e una adeguata velocità di filtrazione. La formazione di vie preferenziali inoltre è di per se una situazione instabile che tende ad aggravarsi fino a portare alla formazione di veri e propri buchi nel substrato dove l'aria passa a velocità molto elevate.

Un valore ottimale per la pressione rilevata col tubo di Pitot si attesta attorno ai 40 - 50 mmH<sub>2</sub>O. Questo valore indica un corretto passaggio dell'aria attraverso il biofiltro, con un'adeguata velocità e tempo di permanenza all'interno di questo in modo tale da permettere la degradazione da parte dei batteri delle sostanze odorigene.

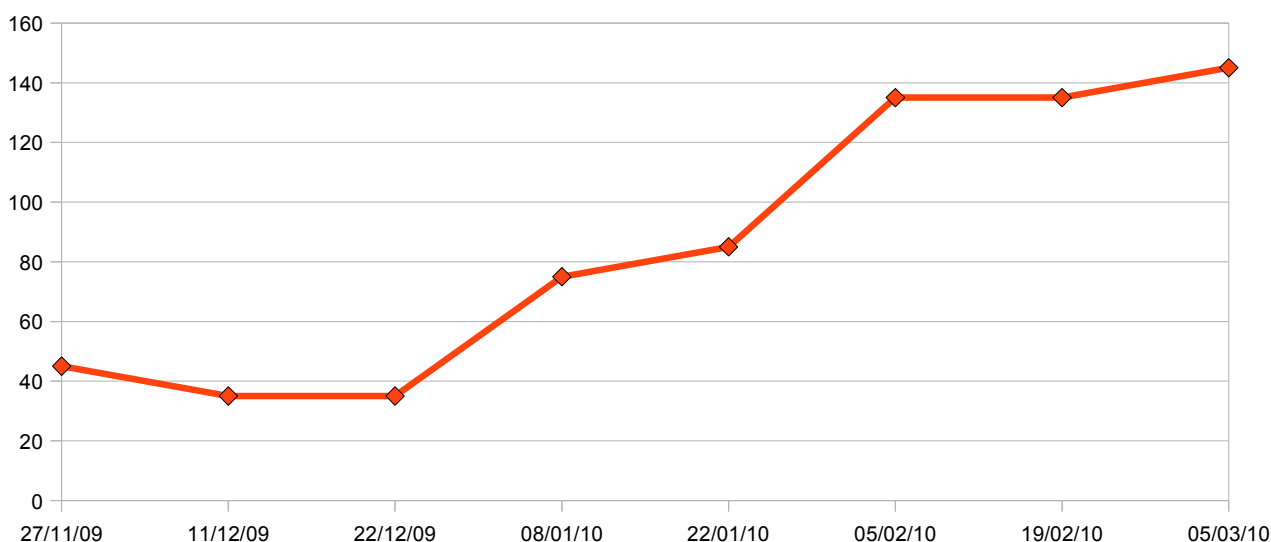
Di seguito vengono riportati i valori delle misurazioni e la data in cui queste sono state effettuate.

<b>Data di misurazione</b>	<b>Valore medio in mmH<sub>2</sub>O</b>
6 Novembre 2009	40 - 50
27 Novembre 2009	40 - 50
11 Dicembre 2009	20 - 30
22 Dicembre 2009	20 - 30
8 Gennaio 2010	70 - 80
22 Gennaio 2010	80 - 90
5 Febbraio 2010	130 - 140
19 Febbraio 2010	130 - 140
5 Marzo 2010	140 - 150

*Tabella 12: perdite di carico del biofiltro tra il 6 Novembre 2009 e il 5 Marzo 2010*

Sono evidenziati i dati che si discostano dal valore ottimale, in verde i valori minori dell'ottimo di funzionamento, in giallo quelli maggiori.

Di seguito si mette in evidenza tramite grafico l'andamento dei valori medi delle perdite di carico misurate:



*Grafico 3: andamento valori medi delle perdite di carico nel biofiltro*

Dal grafico si evince che le perdite di carico all'inizio contenute in un intervallo

ottimale hanno subito un calo seppur lieve nel mese di Dicembre e sono aumentate notevolmente dal mese di Gennaio fino ad oggi.

Analisi precedenti evidenziano come dopo gli interventi effettuati tra il 6 e il 12 Maggio 2009 si abbia avuto un incremento dell'efficienza del biofiltro. Questi dati sono riportati nella tabella seguente:

<b>Data</b>	<b>Ingresso biofiltro in U.O</b>	<b>Uscita Biofiltro in U.O medi</b>	<b>Efficienza</b>
27 Aprile 2007	18.000	158,33	99,12 %
16 Aprile 2008	4.100	151,67	96,30 %
19 Settembre 2008	4.400	478,33	89,13 %
17 Ottobre 2008	13.000	68,67	99,47 %
12 Febbraio 2009	21.000	653,00	96,98 %
25 Febbraio 2009	34.000	1250,00	96,32 %
6 Maggio 2009	19.000	856,67	95,49 %
12 Maggio 2009	11.000	92,17	99,16 %
24 Luglio 2009	31.000	162,67	99,48 %
1 Ottobre 2009	30.000	139,67	99,53 %
27 Ottobre 2009	13.000	140,67	98,92 %

*Tabella 13: analisi biofiltro Cologno Monzese*

Il limite delle emissioni in U.O. per legge è di 200 U.O./m<sup>3</sup>. In giallo sono evidenziati i valori che superano questo limite. Il valore misurato al 17 Ottobre 2008 risulta anomalo soprattutto se confrontato con i valori misurati prima e dopo questa data. Dopo gli interventi di manutenzione e reintegro del materiale avvenuti appunto tra il 6 e il 12 di Maggio 2009 risulta chiaro il miglioramento delle prestazioni del biofiltro e il rientro nei limiti di legge delle emissioni in atmosfera. Il merito di questo risultato va sicuramente alla gestione dell'Econord Spa subentrata nella seconda metà del 2008.

Unendo i risultati delle analisi olfattometriche e delle perdite di carico si nota come i problemi di malfunzionamento siano iniziati attorno al mese di Dicembre 2009.

Infatti prima di questa data tutte le misurazioni rientrano nei valori ottimali previsti dalla legge.

### **10.3 Analisi dei risultati ottenuti dalla misurazione delle perdite di carico del biofiltro**

Nel mese di Dicembre si è verificato un calo del valore delle perdite di carico; questo comportamento è indice che l'aria non incontra sufficiente resistenza all'interno del mezzo filtrante. Le cause sono principalmente dovute a una insufficiente quantità del materiale filtrante o alla formazione di vie di fuga preferenziali dell'aria. Poiché il biofiltro è stato rimpinguato di 30 cm di materiale relativamente fine raggiungendo così un'altezza più che ottimale dello strato filtrante la prima ipotesi è quasi sicuramente da scartare. Un'ispezione visiva poi ha riscontrato evidenti segnali della presenza di vie di fuga preferenziali dell'aria. Quando queste si formano il biofiltro appare maculato, con zone scure e chiare dovute alla diversa umidità del materiale, con presenza di flussi di vapore evidenti. Alle volte si ha vero è proprio spostamento di materiale sospinto dall'aria.



*Illustrazione 15: aspetto maculato del biofiltro dell'impianto di compostaggio di Cologno Monzese*



*Illustrazione 16: fuoriuscita di vapore da una via di fuga preferenziale*

Successivamente al mese di Dicembre i valori delle perdite di carico sono aumentati notevolmente. Questo comportamento indica un malessere del biofiltro all'interno della sua stessa struttura, poiché l'aria riscontra grandi difficoltà a passare attraverso il mezzo. Questo lascia quindi ipotizzare che la porosità del materiale che in condizioni normali dovrebbe essere piuttosto elevata (sull'ordine dell'80 - 90 %) sia calata drasticamente nell'arco dei mesi di Gennaio, Febbraio e Marzo. Le cause di questo calo di porosità possono essere svariate, probabilmente in questo caso il motivo può essere imputato alla infiltrazione di acqua sporca di materiale fine proveniente dalla disgregazione per effetto di muffe e batteri della parte più fine del biofiltro e dalle arie esauste cariche anch'esse di particelle fini residue anche dopo il passaggio di questa negli scrubbers.

## **10.4 Parametri di controllo del biofiltro, temperatura e umidità, analisi dei dati**

L'umidità è il parametro che in genere condiziona maggiormente l'efficienza di un biofiltro in quanto 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, al contrario, elevate contropressioni, problemi di trasferimento di ossigeno al biofilm, creazione di zone anaerobiche, lavaggio di nutrienti dal mezzo filtrante nonché formazione di percolato a basso pH ed alto carico inquinante che necessiterebbe di ulteriori adempimenti per il suo smaltimento. Il contenuto di umidità ottimale del mezzo filtrante è nell'ordine del **40-60%**.

La temperatura ottimale dell'attività batterica si aggira attorno ai 37 °C per i batteri mesofili. Come in tutti i sistemi biologici non occorre un controllo preciso della temperatura, in quanto il sistema, nel suo complesso, è versatile ed adattativo; il range ottimale di temperatura si ha comunque tra i **15 e i 40°C**.

Nel biofiltro, oltre alle perdite di carico, sono state misurate anche temperatura e umidità a partire dal 2010 per avere un'analisi più accurata della sua salute. Di seguito sono riportati i valori misurati.



Data	ambiente		scrubber		biofiltro	
	temperatura (°C)	umidità %	temperatura (°C)	umidità %	temperatura (°C)	umidità %
07 Gennaio 2010	8,6	54,4	20,1	75,8	15,1	92,3
13 Gennaio 2010	3,9	95,0	20,6	75,5	13,0	95,0
21 Gennaio 2010	1,9	73,4	19,8	75,2	12,6	97,0
28 Gennaio 2010	3,4	71,2	19,8	74,9	14,9	91,4
03 Febbraio 2010	6,4	52,0	18,4	83,7	17,4	99,9
12 Febbraio 2010	3,2	67,20	16,7	84,5	15,3	99,9
18 Febbraio 2010	4,8	68,90	17,3	86,7	16,6	99,9
24 Febbraio 2010	7,9	38,40	19,5	82,4	18,4	99,9

*Tabella 14: valori di temperatura e umidità dell'ambiente, degli scrubbers e del biofiltro per l'anno 2010*

In giallo sono evidenziati i valori di temperatura fuori dal range ottimale e precisamente più bassi della temperatura minima utile affinché i batteri lavorino adeguatamente. Dato l'inverno particolarmente freddo è abbastanza logico che il biofiltro abbia risentito delle basse temperature, come è probabile che queste siano state causa di una peggior digestione dei composti volatili, avvenuta nel periodo in cui le perdite di carico hanno subito un forte incremento. Non è quindi da escludere che questa particolare situazione abbia contribuito al già evidente deterioramento delle condizioni del biofiltro in atto.

In verde sono evidenziati i valori di umidità fuori dal range ottimale, praticamente si verificano valori troppo elevati durante tutto il periodo di osservazione. Va precisato però che l'impianto è dotato di un buon sistema di irrigazione e che la scelta di tenere un valore elevato di umidità è stata attuata dalla gestione ed è derivata dall'osservazione negli anni precedenti del comportamento del biofiltro. Infatti per valori di umidità minori si erano riscontrate difficoltà nell'adeguato funzionamento. Tuttavia non è da escludere che il tasso di umidità elevata abbia favorito l'infiltrazione di acqua all'interno del biofiltro generando nel tempo zone anaerobiche, alte contropressioni e impaccamento dovuto al trasporto delle

particelle più fini. Queste situazioni non ottimali quindi potrebbero aver contribuito al peggioramento delle condizioni del biofiltro.

La misura della temperatura e dell'umidità avviene tramite uno strumento dotato di un sensore che si introduce direttamente nel materiale filtrante.



*Illustrazione 17: strumento di misurazione temperatura e umidità*

## **10.5 Possibili soluzioni e verifiche di queste**

Osservando i dati misurati sui parametri di temperatura, umidità e perdite di carico si riscontra un effettivo malfunzionamento del mezzo filtrante iniziato nel mese di dicembre e peggiorato drasticamente e piuttosto velocemente nei mesi successivi. L'ipotesi più probabile risulta essere che al di sotto del primo strato di biofiltro, piuttosto nuovo, il materiale abbia subito un qualche tipo di impaccamento; non è da escludere anche che sia occorso un danno strutturale alla base del letto filtrante. Poiché i reintegri di materiale non sembrano essere stati risolutivi per la situazione,

se non per brevi periodi subito dopo l'operazione, si suggerisce di cambiare totalmente il materiale del letto filtrante prediligendo un materiale con migliori prestazioni di abbattimento delle sostanze odorigene rispetto a quello attuale, visto il contesto fortemente urbanizzato di localizzazione dell'impianto e quindi altamente critico. Si ricordano le proprietà richieste ad una buona miscela filtrante:

- ambiente microbico ottimale;
- ampia area superficiale specifica
- integrità strutturale;
- elevata umidità;
- elevata porosità (80-90 %);
- bassa densità volumetrica;
- capacità di ritenzione idrica (umidità 40-60%).

Si suggerisce di procedere alla sostituzione del materiale cella per cella. Le celle in cui è diviso il biofiltro verrebbero così chiuse, impedendo il passaggio delle arie esauste, per poi essere svuotate e riempite nuovamente con materiale nuovo. L'operazione verrebbe ripetuta per ogni cella restante dopo aver completato le operazioni su quella precedente. Questa procedura permette di avere sempre due celle su tre funzionanti e un rendimento minimo di abbattimento del 66,6 % delle arie esauste evitando situazioni di immissione di sostanze odorigene in atmosfera eccessivamente critiche. In ogni caso, poiché la sostituzione del biofiltro è una spesa elevata, si suggerisce, prima di procedere, di effettuare carotaggi del materiale per verificare le reali condizioni del letto e per poter avere una chiara dinamica dello stato del biofiltro.

*Dopo questi suggerimenti, vista l'analisi dei dati misurati, sono stati effettuati carotaggi che hanno confermato le ipotesi sopra citate e l'amministrazione ha deciso di procedere con la sostituzione del letto filtrante che avverrà all'incirca nel*

*mese di Aprile.*

## ***Bibliografia***

- Impianto di Trattamento e Compostaggio Rifiuti, Comune Cologno Monzese (MI), Progetto "As Built" Relazione Tecnica Generale, Rev. 5-15 maggio 2003, ECOSESTO gruppo Falck.
- Repubblica italiana, regione Lombardia, Bollettino Ufficiale Milano, martedì, 13 Maggio 2003, 1° supplemento straordinario, deliberazione giunta regionale 16 Aprile 2003 - n. 7/12764.
- Articolo: Intervento di riqualificazione di un impianto di compostaggio in ambiente altamente urbanizzato: criticità, soluzioni innovative e verifica dei risultati conseguiti, Enrico Calcaterra, Daniele Milani, Econord Spa, Varese.
- Articolo: l'utilizzo degli scrubber come soluzione ottimale per abbattere le emissioni, Antonello Dimiccoli, Laura Saviano, consulenti ambientali studio chimico Kemis.
- 99e catalogo tecnico 2009, sistemi industriali per la depurazione dell'aria, GGE Group srl.
- Gli odori negli impianti di compostaggio: come si producono e come determinarli, Laura Valli, Sergio Piccinini.
- Gli odori negli impianti di compostaggio: la prevenzione e la gestione del problema, Enzo Favoino.
- Le tecnologie per l'abbattimento degli odori prodotti da impianti di compostaggio, Enrico Calcaterra, Alberto Confalonieri.
- Articolo: La biofiltrazione: tecnologia Entsorga, Entsorga sistemi per l'ambiente, Entsorga Italia S.r.l. .
- sito web:  
[http://venetoagricoltura.regione.veneto.it/archive/00003627/01/IF\\_06\\_12\\_P26-27\\_Sequi.pdf](http://venetoagricoltura.regione.veneto.it/archive/00003627/01/IF_06_12_P26-27_Sequi.pdf)
- sito web: <http://compost.venetoagricoltura.org/larga366.html>
- sito web: <http://www.parlamento.it/parlam/leggi/deleghe/08004dl.htm>
- sito web: <http://www.ecosportello.org/ssezione.php?sid=13&ssid=20>
- sito web: [http://www.olfattometria.com/download/A0023\\_Monitoraggi-olfattometrici.pdf](http://www.olfattometria.com/download/A0023_Monitoraggi-olfattometrici.pdf)
- sito web: <http://www.chimica-cannizzaro.it/files/valli.pdf>
- sito web: [http://www.compost.it/biblio/2001\\_bo\\_enea/rapporto%20finale%20attivita%20A.pdf](http://www.compost.it/biblio/2001_bo_enea/rapporto%20finale%20attivita%20A.pdf), tecnologie emergenti e gestione odori nel compostaggio, agosto 2001, ENEA.
- sito web:  
[http://www.crupa.it/media/documents/crupa\\_www/Settori/Ambiente/Laboratori1/presentazione.pdf](http://www.crupa.it/media/documents/crupa_www/Settori/Ambiente/Laboratori1/presentazione.pdf)
- sito web:

[http://www.artaabruzzo.it/download/pubblicazioni/monitoraggio\\_biofiltro.pdf](http://www.artaabruzzo.it/download/pubblicazioni/monitoraggio_biofiltro.pdf)

## ***Ringraziamenti***

Forse questa pagina è la più importante di tutte, è quella che dovrebbe riassumere la grande esperienza di vita che ho potuto assaporare in questi 5 anni grazie alle persone che ho incontrato, quelle con cui mi sono fermata più a lungo e quelle che hanno attraversato per poco la mia strada e con le quali si è condiviso un pezzetto di sentiero. Beh, credo sia impossibile rendere una così vasta esperienza e così tante emozioni in così poco spazio ma un tentativo vale la pena di farlo.

Un ringraziamento non solo doveroso ma anche molto, molto sentito va alle persone che mi hanno permesso di vivere l'esperienza della tesi, a partire da Aldo che mi ha dato la dritta su dove cercare e mi ha presentata per continuare con il Dott. Calcaterra che mi ha accettata permettendomi di lavorare anche se per poco con il grande gruppo della Econord Spa. Ho imparato molto. Un ringraziamento particolare va al Dott. Milano, o meglio Daniele, è stato una guida e un sostegno sempre presente, senza il suo aiuto, i suoi consigli non ce l'avrei mai fatta, il tuo aiuto va anche oltre, infatti mi hai saputo consigliare anche oltre il semplice lavoro di tesi, cercando di trasmettermi le tue esperienze nel mondo del lavoro e della vita al di fuori di questo, ho ascoltato molto attentamente. Grazie. Un ringraziamento poi va a tutti i membri dell'impianto di compostaggio di Cologno Monzese, sono stati sempre tutti gentili e disponibili, pronti a fare una battuta per rallegrare l'ambiente e al contempo a chiarire tutti i miei dubbi, siete una bella famiglia!

E ora arrivano gli amici. La parte assolutamente più importante di questo sentiero, le persone che bene o male mi sono state affianco e che ricorderò per sempre. Sono tante, ma anche se non citate le ringrazio tutte, una per una, perché credo che sappiano quanto siano stati importanti per me, magari anche per poco tempo, ma lo sono state...

Un ringraziamento va alle persone che definisco le mie "donne", perdonatemi il termine. Sono Dalila, Laura P., Erminia a cui voglio un bene dell'anima e con le quali ho condiviso molti momenti e forse un po' troppo

poco alcool. Grazie ragazze, e difficile trovare le parole per dirvi quanto vi voglio bene.

Un ringraziamento e un bacio va alle mie compagne di danza, che hanno reso i miei mercoledì magnifici grazie alla loro presenza e ai loro sorrisi, Fede (torna da noi!!!), Chiara, Sonia, Marty, Vale, vi voglio bene.

Se ci sono le mie donne non possono mancare anche i miei "uomini", non vi spaventate! Ringrazio dal cuore Anfo, Luchino F. a cui mi sono affezionata in modo particolare con la loro tenerezza e il loro modo di vedere la vita. Ringrazio Elisa e Ada, siete due ragazze meravigliose. Ringrazio anche Alessandro F., Elena V., Mauro, Verino, Giovanni, Giuseppe, Vince, Silvia B., Valentina C., Giada F., Marta e tutti quanti i miei compagni di facoltà per aver condiviso con me l'esperienza dell'università, qualche festa, tanta voglia di divertirsi, consigli sullo studio e molto altro. Un bacio a parte va a mamma Alma e ad Andrea il mio musicista d'eccezione, siete troppo pieni di vita.

E poi...loro, i mitici, il gruppo dell'Argentina, già a dirlo è troppo figo... ragazzi, siete mitici, vi voglio bene! Luca S., Luca, Annalisa, Marcolino, Salvatore e tutti gli altri...mitici!

Un ringraziamento ora alle persone con cui ho condiviso tanto tempo, tante emozioni e la casa, quelle persone che sono diventate un po' la mia famiglia, quelle che quando le guardo mi sento a casa...Silvia, tenera e dolce anche quando impreca in spagnolo senza accorgersene, Maddy, estroversa e imprevedibile, Anto, sempre gentile e premurosa con uno splendido sorriso, Ale, semplicemente mi fai morire, sveglia e intelligente con una punta di incredulità...poi Laura S., eh si...anche con te mi sento a casa...e come potrebbe essere diverso!

Un bacio e un ringraziamento al gruppo Vela...oddio mi mancate! Capo quando partiamo per una nuova avventura? Siete troppo belle donne! Non solo siete incredibili, ma mi avete regalato anche dei momenti da favola...semplicemente unici e magici. Ho ancora davanti agli occhi il



tramonto dell'Elba...meglio non iniziare però a divagare qui...

Un abbraccio ai ragazzi di Teatro e ad Oscar, siete stati una grande parte della mia vita a Bologna, importante, pensarvi mi lascia una sensazione di benessere diffuso. Un bacio a Banana, Bigaz, Marta, Francesca e naturalmente a Fabrizio.

Un ringraziamento tutto speciale ai miei tre tesori, Mary, Mirco e Dani, mi siete stati sempre vicini in tutti questi anni e anche prima, con voi ho condiviso la vita, le esperienze, le emozioni, fate parte di quei pochi amici veri e unici, di quelli che sai che sarà per sempre...magari non spesso, ma per sempre...vi voglio bene.

Patrizio...tu sai bene cosa penso, sai quanto ti sono grata per tutto quello che mi hai dato, per quello che mi hai trasmesso, per come ti sei aperto con me, per come mi hai permesso di entrare a far parte della tua vita...adesso, nel qui e nel presente, ci sei tu e io sono felice.

Ed eccoci a "loro", coloro che ho fatto impazzire per almeno almeno questi ultimi 5 anni... probabilmente per più tempo...la MIA famiglia, mio fratello, mia mamma, mio babbo, Matteo, i nonni naturali e quelli acquisiti, gli zii e le zie naturali e acquisiti, un ringraziamento per aver sopportato i miei periodi difficili e per aver condiviso quelli belli, per aver portato pazienza, per avermi sostenuta, consigliata e anche un po' viziata nei periodi duri e non. Se questo percorso è stato possibile il merito va sicuramente a voi.

Infine un ringraziamento a tutti quelli che non sono stati citati direttamente perché siete ancora tanti e lo spazio è ristretto, sappiate che non vi ho dimenticato e vi porto con me.

Un bacio.

Giulia