

# **IL DIMENSIONAMENTO DEI PRESIDI AMBIENTALI CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AI BIOFILTRI**

*Enrico Calcaterra, Alberto Confalonieri*

## **1. INTRODUZIONE**

Le analisi delle emissioni caratteristiche di impianti di compostaggio consentono oggi affermare che i pericoli di natura igienico-sanitaria ad esse associate sono piuttosto scarsi. Tuttavia, tali emissioni rappresentano una forma di inquinamento atmosferico di notevole rilevanza sociale, in quanto composte da una miscela di sostanze maleodoranti, e che pertanto costituiscono il fattore di maggiore influenza nella definizione degli impatti sull'ambiente circostante.

La sempre maggiore prossimità tra insediamenti civili ed impianti produttivi ha determinato, in anni recenti, l'insorgere di controversie con la popolazione sempre meno disposta a tollerare la convivenza con attività che possono essere fonte di molestia olfattiva; come diretta conseguenza, si è assistito ad una crescente attenzione da parte del legislatore e degli organi di controllo nella definizione di precisi vincoli costruttivi e gestionali tesi al contenimento degli odori provenienti dagli impianti; l'industria d'altra da parte è sempre più rivolta alla ricerca delle migliori soluzioni tecnologiche volte a limitare la produzione di odori e alla captazione e all'abbattimento del carico odorigeno presente nei reflui gassosi prima del rilascio in atmosfera.

Nella presente relazione si è voluto dare un quadro generale sintetico di tutte le tecnologie di abbattimento disponibili, con particolare attenzione a quelle che nel settore del compostaggio trovano una reale applicazione, lasciando ad altri il compito di approfondire gli interventi atti alla prevenzione della produzione di odori.

Le soluzioni per l'abbattimento delle emissioni odorose applicabili al compostaggio possono essere diverse; tra esse occorre individuare, come richiesto dalla normativa, la migliore tecnologia disponibile, senza esimersi da una valutazione economica al fine di garantirne una reale applicabilità ad un settore e strategico nella attuazione dei piani di gestione dei rifiuti urbani.

## **2. LE TECNOLOGIE DI ABBATTIMENTO**

Sulla scorta dei principi adottati nella depurazione degli inquinanti contenuti nelle emissioni gassose di impianti industriali, si individuano tecnologie per l'abbattimento degli odori di tipo:

- fisico (combustione, adsorbimento);
- chimico (ossidazione, assorbimento);
- biologico (biofiltrazione).

### **Metodi fisici**

La *combustione*, termica o catalitica, può rappresentare il sistema più efficace per l'abbattimento di sostanze odorose di natura organica.

Diversi sono i metodi di ossidazione sviluppati nel corso degli anni in campo industriale, per far fronte alle esigenze di diverse attività produttive. Nella combustione termica l'ossidazione delle molecole organiche avviene ad alte temperature (750-1250°C), che si riducono generalmente (200-400°C) nei processi catalitici. Quali siano le metodologie, sono sempre caratterizzate da una notevole dotazione di apparati per il controllo e regolazione della combustione, e di sistemi di sicurezza che elevano i costi di investimento e le complessità di gestione.

Le più recenti tecnologie garantiscono elevati livelli di sicurezza e il raggiungimento dell'ossidazione completa a costi sempre più competitivi, grazie alla dotazione di apparati recuperativi o rigenerativi per la conservazione del calore prodotto dall'attività ossidativa.

Tuttavia, per applicazioni su grandi volumi gassosi a bassa concentrazione di sostanze inquinanti ad alto potere calorico, tipiche degli effluenti da impianti di compostaggio, risultano essere ancora troppo onerose se confrontate con altri sistemi in grado offrire efficienze di abbattimento analoghe.

I processi di *adsorbimento*, su carbone attivo o su altre matrici di recente adozione (zeoliti, silicagel, ecc.), se ottimamente dimensionati possono dare anch'essi rendimenti di abbattimento di sostanze odorose molto elevati (> 95%). In questo processo il reflu gassoso attraversa uno strato di granuli di sostanze porose ad alta superficie per unità di peso che trattengono, tra l'altro, diversi composti chimici odorigeni. Il materiale ha una capacità limitata di adsorbimento, all'esaurimento della quale deve essere smaltito o rigenerato. La rigenerazione si basa sul desorbimento termico, che avviene a distanza in opportuni impianti e prevede lo smaltimento previa neutralizzazione degli inquinanti deadsorbiti. Ciò non è adatto a flussi di gas elevati o ad elevate concentrazioni, perché richiederebbe una quantità notevole di adsorbente o il recupero/rigenerazione frequenti, con ovvie complicazioni impiantistiche. Nell'uso pratico il sistema risulta conveniente solo in casi particolari di emissioni con ridotta portata o in casi dove risulta importante e conveniente il recupero del prodotto, entrambe condizioni che non si presentano in impianti di compostaggio.

Applicazioni più interessanti sono offerte dall'uso di supporti a base di zeoliti idrofobe e simili materiali, che consentono il desorbimento direttamente in loco senza necessità di sostituzione della matrice adsorbente con successiva combustione degli inquinanti concentrati, con indubbi vantaggi in termini di costi di gestione.

## **Metodi chimici**

*Ossidazione chimica e assorbimento in soluzioni chimiche* sono accomunate dall'apparato tecnologico che più diffusamente ne consente l'applicazione, detto torre di lavaggio o scrubber.

Il principio di funzionamento di questi abbattitori si basa su leggi aerodinamiche e più precisamente sul raggiungimento di un intimo contatto e miscelazione tra la corrente di aria inquinata e un liquido in controcorrente. I vari tipi di scrubber a liquido si differenziano per il sistema adottato per creare l'intensa turbolenza che determina la miscelazione della fase liquida con quella solida.

Il trattamento mediante ossidazione chimica prevede che nella torre venga fatta circolare una soluzione acquosa di un ossidante chimico; tra i più utilizzati sono i composti del cloro, l'ozono e l'acqua ossigenata.

Nei casi in cui la concentrazione dell'inquinante da abbattere sia molto elevata, la sola ossidazione chimica richiederebbe una notevole quantità di ossidante, elevando in tal modo il costo di gestione. In questo caso è necessario un lavaggio per assorbire e quindi trasferire alcuni componenti dalla fase gassosa a quella liquida. L'assorbimento può essere puramente fisico, se si è in presenza di una semplice dissoluzione nell'assorbente, o chimico se il soluto reagisce con l'assorbente o con reagenti in esso disciolti.

Nel caso degli odori generalmente la natura e la complessità delle molecole richiedono impianti di abbattimento multi-stadio, con diverse soluzioni di lavaggio.

I risultati possono essere soddisfacenti, tuttavia l'abbattimento ottenuto con questo metodo presenta una serie di necessità tecnologiche per il corretto funzionamento che portano ad elevare il costo d'investimento e di gestione fino a livelli non competitivi con altri metodi. A corredo di tali sistemi infatti è necessario disporre di serbatoi contenenti i vari reagenti, di dosatori dei prodotti, di pompe di ricircolo con propri circuiti completi di tubazioni e di tutti gli strumenti di controllo delle varie reazioni. Va ricordato inoltre che le acque di lavaggio sature sono generalmente smaltite con difficoltà e a costi elevati.

## **Metodi biologici**

L'applicazione dell'*ossidazione biologica* per l'abbattimento delle emissioni gassose nell'ultimo decennio ha trovato ampia diffusione nel settore del trattamento dei rifiuti contenenti materia organica.

Le condizioni di miglior funzionamento dei sistemi biologici si hanno ad una concentrazione medio bassa di sostanze organiche nell'effluente da depurare. Tali condizioni sono tipiche degli effluenti originati da processi di trattamento biologico di rifiuti, tra cui il compostaggio.

Dato il crescente interesse e i risvolti pratici che le tecnologie di trattamento biologico degli odori, rappresentate principalmente dai biofiltri e i bioscrubber, trovano nell'attività di compostaggio, se ne svolge di seguito una approfondita trattazione.

## Costi

A titolo indicativo si riporta nella *tabella 1* una valutazione, condotta da EPA, dei costi di investimento e gestione delle diverse tecnologie di abbattimento che utilizza come riferimento un flusso di aria da trattare di 17.000 m<sup>3</sup>/h con una concentrazione di H<sub>2</sub>S in ingresso di 20 ppm ed una concentrazione in uscita < 1 ppm. Per ricavare il costo di investimento iniziale si sono tenuti in considerazione la preparazione del sito, la costruzione e tutto quanto necessario all'ottenimento di una unità operativa. I costi di manutenzione ordinaria e straordinaria per le varie alternative sono desunti da diverse fonti costituite da costruttori e gestori di impianti. In questa analisi si evidenziano costi di investimento confrontabili per le diverse tecnologie, ma con un netto vantaggio per i biofiltri in termini di costi di gestione.

Più recente, anche se non include tutte le tecnologie descritte, è il confronto economico tra alcuni impianti di abbattimento odori riportato nella *tabella 2*, basato sull'elaborazione degli ultimi dati pubblicati (Italiano, 2001), riferiti al trattamento di un refluo con portata di 20.000 Nm<sup>3</sup>/h con una concentrazione media di COV in ingresso di 400 mg/Nm<sup>3</sup>.

Si può osservare che, a parità di prestazioni garantite, sia i costi di investimento che i costi di gestione evidenziano vantaggi a carico dei sistemi di trattamento biologico, qui rappresentati dalla tecnologia di biofiltrazione.

**Tabella 1** – Confronto economico fra sistemi di abbattimento odori.

<b>Trattamento</b>	<b>Costo di investimento</b>	<b>Costo di gestione annuale</b>	<b>Costo complessivo annualizzato</b>
Biofiltro	\$ 97.300	\$ 7.870	\$ 25.750
Scrubber	\$ 84.180	\$ 25.530	\$ 45.850
Combustore catalitico	\$ 76.860	\$ 31.280	\$ 51.900
Combustore termico	\$ 79.370	\$ 45.100	\$ 69.720
Adsorbimento su carboni attivi	\$ 139.940	\$ 59.480	\$ 97.690

- Note:
1. Tutti i costi sono in US \$ 1988
  2. I costi di manutenzione sono stati incrementati del 6% annuo
  3. La vita degli impianti è stata fissata in 10 anni
  4. Il tasso di interesse assunto è stato del 10% annuo

**Tabella 2** – Costi di investimento e gestione minimi (in migliaia di Euro) dei più recenti sistemi di abbattimento di COV.

<b>Portata = 20.000 m<sup>3</sup>/h COV = 400 mg/m<sup>3</sup> Funzionamento = 24 h/die</b>	<b>Combustione catalitica</b>	<b>Adsorb. su carboni attivi</b>	<b>Adsorb./desorb. su materiali attivi</b>	<b>Biofiltrazione</b>
Investimento	210-260	270-290	270-290	60-80
Gestione (costo annuo)	100-220	60-75	20-25	12-18

### 3. BIOFILTRI

#### **Principi di funzionamento**

I processi biologici di filtrazione prevedono l'impiego di un ampio spettro di microrganismi ubiquitari (batteri, funghi, lieviti), in grado di metabolizzare la maggior parte dei composti naturali, organici ed inorganici, attraverso reazioni biologiche di ossidazioni, riduzioni, idrolisi.

Il principio su cui si basa il funzionamento del biofiltro è principalmente legato alla possibilità di creare per i microrganismi in esso residenti un ambiente adatto alla loro sopravvivenza in termini di disponibilità di ossigeno, temperatura, acidità, disponibilità di micronutrienti e di substrato organico quale fonte di carbonio e di energia. Nel biofiltro le sostanze da depurare vengono assorbite sul materiale soffice e poroso che costituisce il letto filtrante (torba, cippato di legno, compost vegetale, miscele), si diffondono nel film acquoso che bagna e/o umidifica il materiale, e si rendono così disponibili ai microrganismi presenti nella matrice di cui è costituito il letto filtrante. I meccanismi biochimici e le vie metaboliche utilizzate sono quelle naturalmente codificate nel genoma dei microrganismi, e sono il risultato della continua selezione operata dall'ambiente sui microrganismi, in particolare in termini di substrati biodegradabili biodisponibili.

Nel genoma dei microrganismi presenti nel suolo agricolo è presente una grande quantità di geni non espressi e potenzialmente inducibili; questa caratteristica, insieme alla loro trasmissibilità, rende molto efficace la naturale competizione e selezione tra le diverse specie, favorendo in breve il sopravvento di quelle più capaci di utilizzare i diversi substrati come fonte di nutrimento ed energia. E' stato rilevato nei biofiltri un periodo di adattamento al substrato, la cui durata è risultata variabile in relazione alla natura chimica dell'inquinante presente nel refluo trattato.

Salvo casi particolari, riconducibili ad inquinanti particolarmente refrattari alla biodegradazione, la tendenza attuale è quella di utilizzare ceppi microbici "selvatici", ovvero già naturalmente presenti nel materiale che costituisce il letto del biofiltro, eventualmente isolati ed arricchiti da terreno agricolo ricco di humus.

Va sottolineato che la biodegradazione delle sostanze chimiche non avviene ad opera di una singola specie di microrganismi, ma di un consorzio di specie diverse tra loro metabolicamente e numericamente in equilibrio.

#### **Parametri costruttivi**

Nei biofiltri, piuttosto semplici nell'esecuzione base, si individuano i seguenti componenti:

- una struttura di contenimento;
- un sistema di diffusione dell'aria;
- un letto filtrante;
- un sistema per il mantenimento dell'umidità nel letto.

Per la realizzazione delle *strutture di contenimento* sono utilizzati diversi materiali e soluzioni che vanno dal legno e calcestruzzo in opera ai più moderni sistemi modulari prefabbricati in metallo o calcestruzzo. La necessaria impermeabilizzazione è garantita dal materiale stesso e dall'esecuzione della struttura, o può ottenersi tramite l'accoppiamento di quest'ultima con vasche preformate realizzate in teli plastici. Tutti i sistemi prevedono accorgimenti atti a contenere o eliminare le vie preferenziali di attraversamento da parte dell'effluente gassoso che potrebbero generarsi lungo le pareti.

La *diffusione dell'aria* può avvenire mediante una rete di tubi forati posta al di sotto del letto filtrante, solitamente annegata in un letto di materiale inerte al fine di migliorare la diffusione e il drenaggio. Di recente, e sempre più diffusamente, ai sistemi di diffusione ascrivibili al precedente schema impiantistico vengono preferiti quelli che prevedono il posizionamento del letto filtrante su un grigliato al di sotto del quale viene creato uno spazio che viene utilizzato per l'immissione dell'aria da trattare e la raccolta dei percolati. Il grigliato assicura una diffusione più omogenea e perdite di carico sensibilmente inferiori.

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 così distinguere biofiltri con letto filtrante di origine naturale a base di torba, compost o altri materiali di origine vegetale, singolarmente o in miscela fra loro, e biofiltri con letto filtrante in materiale inerte, molto meno diffusi dei precedenti perché di più recente applicazione, generalmente a base di granuli di argilla espansa o plastica e altri materiali variamente conformati (anelli, palline ecc.). In questo ultimo caso, data la limitata capacità dei materiali di trattenere l'acqua e mantenersi costantemente umidi, i letti vengono bagnati di continuo ricircolando i percolati per favorire il mantenimento di una ottimale carica batterica.

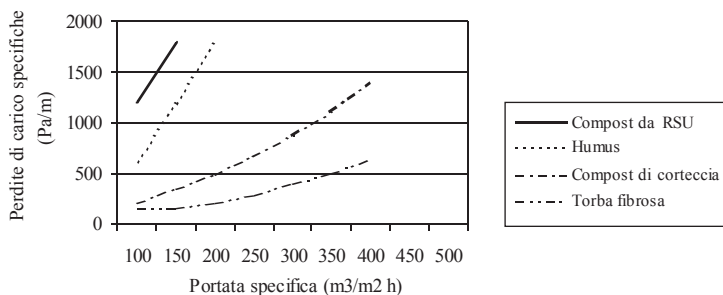
Secondo diversi autori i letti filtranti migliori per durata ed efficacia originano da miscele di materiali ligneo-cellulosici.

Le proprietà richieste ad una ottimale miscela filtrante riguardano la *porosità*, che deve mantenersi a valori elevati (80-90%), la *capacità di ritenzione idrica*, che deve garantire le condizioni idriche ottimali per la vita microbica (40-70% di umidità) e la *capacità di mantenere il più a lungo nel tempo le caratteristiche originarie*.

Tali proprietà influiscono favorevolmente, oltre che sull'efficienza del biofiltro, sui costi di gestione, garantendo minori perdite di carico del sistema e quindi minori consumi energetici, e un numero inferiore di interventi di manutenzione necessaria a ripristinare le originarie condizioni di porosità.

Nella *figura 1* si riportano i risultati delle prove condotte da Zeisig da cui si evidenzia la notevole diversità di perdite di carico che possono determinare alcuni materiali utilizzabili nella realizzazione di letti filtranti.

Nella gestione degli impianti di compostaggio trova un diffuso impiego come letto filtrante il sovrullo, che se di sola origine vegetale è in grado di garantire un ottimale rapporto costi/prestazioni.



**Figura 1** – Perdite di carico attraverso biofiltri caratterizzati da differenti materiali di riempimento (Zeisig, 1988).

Al disopra del letto filtrante può essere prevista una struttura di copertura o chiusura dei biofiltri, principalmente finalizzata a mantenere le prestazioni di tali dispositivi anche in condizioni meteorologiche avverse (intense precipitazioni, neve, ecc.). Tali precauzioni appaiono tuttavia, nella stragrande maggioranza dei casi, superflue date le caratteristiche operative dei biofiltri; infatti l'attività biologica esotermica impedisce di regola alla neve di permanere sulla superficie del materiale filtrante, e la massa filtrante nel suo complesso è in grado di gestire le precipitazioni tipiche del nostro Paese. I costi di investimento, piuttosto elevati, e complicazioni gestionali addizionali (ad esempio la necessità di gestire le acque di condensa raccolte al disotto delle coperture) rendono ulteriormente onerosa l'adozione di suddette coperture.

E' altresì da rilevare un vantaggio legato al monitoraggio delle emissioni provenienti da biofiltri coperti: la necessità di convogliare l'aria depurata attraverso camini opportunamente realizzati consente infatti di procedere alle operazioni di campionamento dell'aria in accordo a protocolli ben definiti e normati. Al contrario, i biofiltri aperti offrono una estesa superficie di emissione, ponendo il problema di individuare porzioni di superficie filtrante rappresentative. Questa carenza ha portato gli organi normatori a indicare procedure *ad hoc* per la determinazione dei punti rappresentativi su cui condurre i campionamenti che, all'atto pratico, si sono rivelate complicate e laboriose (si vedano ad esempio le Linee Guida sulla costruzione di impianti di compostaggio emanate dalla Regione Lombardia).

Ogni biofiltro deve essere dotato di un idoneo *sistema per il mantenimento dell'umidità nel letto* in quanto fattore determinante per il suo buon funzionamento. La quota d'acqua da apportare si stima tra i 40 e i 60 litri giorno per metro cubo di biofiltro, dedicato a un tradizionale processo di compostaggio e dimensionato secondo i valori più ricorrenti ( $100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ; altezza del letto 1m). L'apporto può avvenire attraverso sistemi di distribuzione sulla superficie e in misura variabile attraverso l'aria da filtrare stessa che giunge al biofiltro, più o meno ricca di acqua in funzione della provenienza (aria prelevata direttamente dai cumuli o dall'ambiente in cui si svolge il processo), della presenza di eventuali sistemi specifici di umidificazione o di eventuali sistemi di pretrattamento a umido (scrubber).

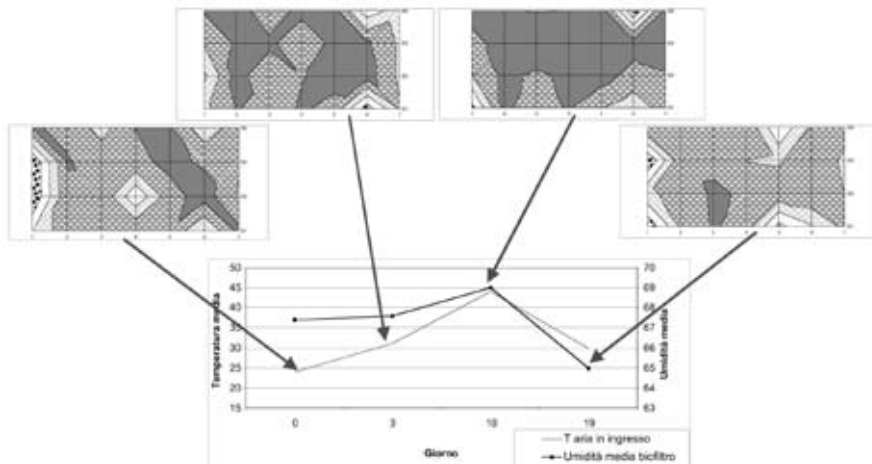
Nel caso di aria proveniente per aspirazione dai cumuli o da sistemi di umidificazione atti a saturare l'aria, l'apporto di acqua al letto segue prevalentemente questa via (80-90 % dell'apporto richiesto).

In figura 2 si evidenzia l'importante ruolo dell'acqua somministrata direttamente attraverso l'effluente da depurare. In questo caso, l'aeriforme, caratterizzato da una umidità relativa prossima a saturazione ma da temperature variabili nel tempo determinava modifiche dell'umidità del letto filtrante direttamente correlabili alle temperature (e quindi alle quantità di acqua veicolate in fase di vapore) dell'aeriforme stesso.

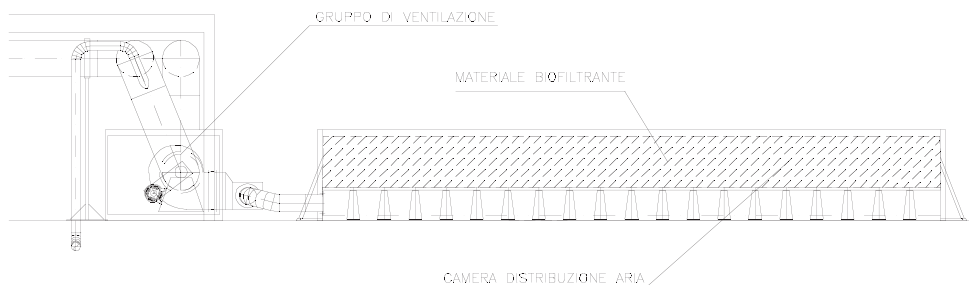
La distribuzione dell'umidità lungo il profilo del letto si mantiene sufficientemente omogenea e la richiesta d'acqua superficiale ha lo scopo prevalente di compensare l'evaporazione dovuta all'irraggiamento che interessa lo strato superficiale in misura diversa (da 5 a 15 cm) in funzione della stagione. Negli altri casi, compreso il pretrattamento con scrubber, essendo questo non dimensionato allo scopo, il contenuto di umidità dell'aria è ampiamente insufficiente al mantenimento di una umidità nel letto ottimale e la quota di provenienza superficiale prevale nettamente (70-90 % dell'apporto richiesto), con conseguente la necessità di un accurato studio per il dimensionamento del sistema e la distribuzione temporale del fabbisogno idrico quotidiano.

La tecnologia costruttiva di base risulta pertanto molto semplice, e relativamente poco numerose sono le variabili progettuali ed operative che ne condizionano il buon funzionamento; tra queste la velocità lineare del flusso gassoso ed il tempo di contatto effluente/materiale, insieme alle buone caratteristiche di permeabilità, umidificazione e temperatura risultano determinanti per un buon funzionamento.

La resa di abbattimento è funzione del dimensionamento del letto, dell'ottimale condizione di umidità e temperatura, della concentrazione e tipologia delle sostanze da rimuovere, nonché della portata dell'aria da trattare.



**Figura 2** – Umidità di un letto filtrante in funzione delle caratteristiche del refluo da trattare. Nei quattro grafici soprastanti, che rappresentano la distribuzione dell'umidità nel letto filtrante, a circa 70 cm di profondità, a tonalità di grigio più scure corrispondono umidità più elevate.



**Figura 3** – Schema impiantistico di un biofiltro.

I carichi superficiali normalmente utilizzati in sede progettuale vanno da  $50$  a  $200 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  di letto filtrante, ma questi valori possono crescere fino a  $400 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  nel caso di portate di aria con basse concentrazioni di inquinanti o in presenza di sostanze facilmente biodegradabili. Le altezze del letto filtrante che più hanno trovato applicazione sono comprese tra  $0,5$  e  $2$  metri. Altezze superiori darebbero origine a incrementi di perdite di carico e maggiori difficoltà di distribuzione dell'umidità nel letto, senza con ciò recare significativi miglioramenti d'efficienza. Tempi di contatto dell'effluente con il letto filtrante di  $25$ - $40$  secondi, i più comunemente utilizzati, sono in grado di garantire ottimali condizioni per lo svolgimento delle diverse reazioni biologiche. Anche le più recenti prescrizioni tecniche in materia di biofiltrazione indicano caratteristiche impiantistiche minime del tutto in sintonia con quanto sopra indicato.

### **Parametri gestionali**

Oltre a quanto già espresso per il contenuto di umidità, è opportuno segnalare che un limite al funzionamento del biofiltro è legato anche al progressivo consumo del materiale che costituisce il biofiltro stesso poiché, costituito in gran parte da sostanza organica biodegradabile, tende a consumarsi per ossidazione a  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , con gli stessi processi con cui viene depurato l'effluente filtrato.

Il consumo del letto porta alla progressiva perdita della sua originaria porosità e a un suo inevitabile intasamento, con aumento delle perdite di carico fino a valori così elevati che necessitano la sostituzione del letto filtrante. Il consumo del materiale filtrante, variabile in funzione della temperatura d'esercizio e delle caratteristiche del materiale stesso, può essere anche notevole (sono infatti segnalati casi di consumo compresi tra il  $10$  e il  $20\%$  in peso nell'arco di un anno di funzionamento). Poiché in normali condizioni il raffreddamento degli effluenti può essere troppo oneroso per un processo di compostaggio, diventa determinante per la durata del suo funzionamento la composizione del materiale filtrante.

Le verifiche e le manutenzioni periodiche degli impianti di biofiltrazione richiedono poche e semplici operazioni. Uno schema tipo delle procedure di controllo, valido per le diverse realtà applicative, può essere il seguente:

- controllo giornaliero dei parametri operativi quali temperatura ed umidità;
- controllo mensile delle perdite di carico;
- controllo semestrale della consistenza, altezza e consumo del letto filtrante;
- controllo semestrale del pH del letto filtrante ed eventuale sua correzione;
- analisi semestrale della efficacia di abbattimento degli inquinanti nel refluo trattato (misura differenziale a monte e a valle del letto filtrante);
- ripristino o sostituzione periodica (2-5 anni) del letto filtrante a seconda del grado di usura meccanica e/o impoverimento microbiologico del materiale.

### **Sicurezza di funzionamento**

Una delle preoccupazioni emerse nell'uso dei biofiltri, soprattutto nelle fasi iniziali della loro introduzione industriale, ha riguardato l'eventualità che dal letto filtrante potessero liberarsi dei microrganismi potenzialmente patogeni in quantità così rilevanti da rappresentare un pericolo per coloro che operano in prossimità del biofiltro, e più in generale per l'ambiente circostante.

La concentrazione di batteri, attinomiceti e spore fungine, misurate direttamente in prossimità della superficie esterna dei biofiltri, hanno raramente mostrato dei valori di carica microbica totale, misurata in condizioni standard, superiori alle 1000 Unità Formanti Colonie per metro cubo di aria effluente (UFC/m<sup>3</sup>).

Questi valori non sono dissimili da quelli che normalmente sono riscontrabili all'aria aperta, in ambiente rurale. Inoltre, la tipologia delle specie aerodisperse, quando originate da letti costituiti da foglie, legno triturato, compost e microrganismi naturalmente presenti nel suolo, non possono concorrere in alcun modo all'inquinamento ambientale, o rappresentare un pericolo per la salute degli operatori che lavorano in prossimità dei biofiltri stessi. Vengono invece segnalati fenomeni di elevata dispersione ambientale di microrganismi durante le operazioni di rimescolamento e/o sostituzione del letto filtrante, con valori di contaminazione ambientale superiori alle 10.000 UFC/m<sup>3</sup>. È da sottolineare che valori simili sono stati osservati in concomitanza con la movimentazione di altri materiali ricchi di spore fungine e miceti, quali il fieno negli allevamenti zootecnici e le lettiere per la coltivazione dei funghi.

Nello svolgimento di queste operazioni, le buone pratiche di Igiene del Lavoro, già da tempo, hanno suggerito la necessità, per il personale coinvolto, di adottare adeguati presidi personali per la protezione delle vie respiratorie.

## **4. BIOSCRUBBER**

### **Principi di funzionamento**

Ancora poco diffusi rispetto ai biofiltri, i bioscrubber sono costituiti generalmente da una struttura di lavaggio dotata di un letto di corpi di riempimento ad elevato rapporto superficie/volume, attraverso la quale passa l'effluente gassoso da trattare,

solitamente in controcorrente rispetto al flusso di acqua che viene fatta circolare, in modo da assicurare il massimo contatto fra fase gassosa e fase liquida. Sui corpi di riempimento, così come nell'acqua, si sviluppa un fango attivo (composto da biomassa microbica) che degrada e ossida sostanze odorose.

I bioscrubber sono preferiti ai biofiltri in presenza di concentrazioni medio-alte di composti inquinanti, in quanto presentano un più rapido adattamento a variazioni di composizione del gas inquinato e consentono inoltre un più agevole controllo del processo, dal momento che, attraverso l'emissione convogliata, è possibile un più semplice monitoraggio delle caratteristiche dell'aria trattata e l'aggiunta di correttivi (regolatori di pH) e nutrienti (N, P, K) alla soluzione di lavaggio. Non da ultimo, a parità di volumi d'aria trattati, le superfici occupate sono sensibilmente inferiori a quelle richieste dalla tradizionale biofiltrazione.

La gestione richiede una esperienza e professionalità maggiori di quelle previste per i più semplici sistemi di biofiltrazione; la tecnologia trova pertanto una scarsa applicabilità in impianti di compostaggio medio-piccoli.

### **Condizioni operative**

Analogamente ai biofiltri, anche per i bioscrubber è necessario mantenere un habitat ottimale per i microrganismi, soprattutto attraverso il controllo del pH e della temperatura, evitare di avviare al bioscrubber composti tossici, effettuare un corretto dimensionamento della torre di lavaggio e del sistema di irrorazione del materiale di riempimento, ridurre al minimo le perdite di carico, effettuare periodici controlli di processo per evitare malfunzionamenti.

Al fine di evitare il formarsi di zone asciutte e di intasamenti, particolarmente importante è l'uniformità di distribuzione della soluzione di lavaggio sui corpi di riempimento. Deve essere previsto un adeguato scarico della soluzione assorbente saturata e reintegro con acqua pulita per evitare la formazione di eccessi di sali e di depositi biologici, che possono portare a malfunzionamenti.

Analogamente alle torri di lavaggio chimico, il processo richiede un particolare impegno tecnico nella gestione; un ulteriore svantaggio è costituito dagli elevati volumi di acque di risulta, che possono di norma essere riciclate insieme alle acque di processo, ma in certe fasi dell'anno richiedono uno smaltimento in specifici impianti.

## **5. EFFICACIA ED APPLICAZIONI DEI SISTEMI BIOLOGICI**

Germania e Olanda sono stati i primi paesi europei ad adottare su larga scala questa tecnologia ai fini del controllo dell'inquinamento atmosferico delle emissioni e a considerarla "la migliore disponibile allo stato attuale delle conoscenze" in numerose applicazioni industriali. Attualmente viene stimato che nella sola Germania siano in funzione più di un migliaio di biofiltri in applicazioni industriali di una certa rilevanza.

Gli studi riportati fino ad ora nella letteratura tecnica e scientifica sull'impiego dei bio-filtri, assommano a più di un migliaio. I principali contributi sono stati forniti da autori tedeschi, olandesi e in minore misura anche da altri paesi quali la Svizzera, il Giappone e l'Austria. Nell'ultimo decennio sono comparse anche esperienze italiane.

Molte applicazioni hanno riguardato anche il controllo di singoli inquinanti o di miscele di composti presenti nelle emissioni di impianti chimici, fonderie, industrie alimentari, allevamenti zootecnici, impianti di trattamento delle acque reflue e dei rifiuti. Tutte queste attività emettono grandi quantità di reflui gassosi che contengono basse concentrazioni (tipicamente meno di 1000 ppm espresse come metano) di specifici inquinanti organici.

Dall'analisi della letteratura emerge che i composti degradabili tramite i processi di biofiltrazione possono essere schematicamente suddivisi in:

- a) composti inorganici, prevalentemente rappresentati da ammoniaca e idrogeno solforato;
- b) composti maleodoranti, costituiti da miscele in bassa concentrazione di composti dello zolfo (metil ed etilmercaptani), ammine (metil, etilammine), composti carbonilici (aldeidi, chetoni) ed acidi grassi a catena corta (propionico, butirrico, ecc.);
- c) composti organici di diversa natura chimica (idrocarburi alifatici, aromatici, eterociclici, ecc.);
- d) composti alifatici alogeno-sostituiti quali idrocarburi alifatici clorurati;

Secondo numerosi studi a livello internazionale, l'efficienza nell'abbattimento di questi inquinanti varia a seconda del carico totale di sostanza per unità di volume di letto filtrante ed in funzione del tempo di contatto dell'effluente con il materiale filtrante; in ogni caso i valori medi stimati possono essere compresi nell'intervallo 50-90%, con punte per alcune sostanze facilmente biodegradabili, quali alcoli, eteri, aldeidi, chetoni, esteri ed idrocarburi aromatici monociclici, intorno al 99% (*tabella 3*).

Lo studio di recenti applicazioni in campo industriale nel nostro Paese confermano quanto riportato dalla letteratura evidenziando le notevoli potenzialità applicative della biofiltrazione nell'ambito del risanamento ambientale (Andreoni et al. 1997).

È da sottolineare che, mentre la concentrazione di un composto chimico può essere adeguata per misurare l'entità della contaminazione di un reflu gassoso, questo approccio risulta poco efficace per le sostanze odorose, la cui estrema variabilità in termini di soglia olfattiva, rende non univoca la rispondenza tra concentrazioni degli inquinanti ed entità delle molestie olfattive che l'effluente può arrecare.

La presenza nell'aria di sostanze chimiche può essere percepita a concentrazioni tra loro differenti anche di un milione di volte. È questo ad esempio il caso del diclorometano (sostanza pressoché inodore, con soglia olfattiva di 700 mg/Nmc) e della trimetilammina (sostanza molto odorosa con soglia olfattiva di 0,0005 mg/Nmc), le cui differenze in termini di odorosità risultano estremamente accentuate. Il contributo dei singoli componenti alla odorosità di una miscela è proporzionale alla concentrazione di ogni singola specie chimica, ma risulta dipendere soprattutto dalla soglia di

**Tabella 3** – Efficienza di rimozione per diversi composti odorosi in un biofiltro (“*ODOR CONTROL-Completing The Compostitzg Process*”, *INTERNATIONAL PROCESS SYSTEMS, INC.*)

<b>Composto odoroso</b>	<b>Tasso di rimozione %</b>
Aldeidi	92-99,9
Ammine, ammidi	92-99,9
Ammoniaca	92-95
Benzene	>92
Limonene	96
Monossido di carbonio	90
Dimetilsulfide	91
Etanolo, diacetile, metilacetilcarbinolo	96
Acido solfidrico	98-100
Isobutano, n-butano	95-98
Mercaptani	92-95
Acidi organici	99,9
Solfuri e disolfuri organici	90-99,9
Idrocarburi poliaromatici	95-100
Propano	92-98
Diossido di zolfo	97-99
Terpeni	>98

odorosità delle diverse sostanze presenti, la cui influenza può essere di diversi ordini di grandezza più rilevante della concentrazione stessa.

Per le emissioni gassose originate da processi di stabilizzazione aerobica di composti organici, non comportando queste problematiche di tipo igienico-sanitario ma di molestia olfattiva, in alternativa alla determinazione qualitativa e quantitativa delle molecole organiche volatili (COV o SOV) poco rappresentative della molestia olfattiva, quale metodo di misura viene utilizzata una tecnica di valutazione olfattometrica, basata sulla oggettivazione della sensazione olfattiva nell'uomo.

Tale misura si basa sull'identificazione della cosiddetta “soglia di odore” da parte di un gruppo selezionato di soggetti utilizzati come annusatori. Per soglia di odore viene intesa la quantità di sostanze odorifere presenti in un campione di aria e percepita come odore da parte di almeno il 50% dei soggetti annusatori.

Per valutare questa soglia è necessario diluire il campione di aria odorosa con aria pulita secondo rapporti noti ed accurati in un intervallo di diluizione compreso tra 1:1 e 1:10.000.

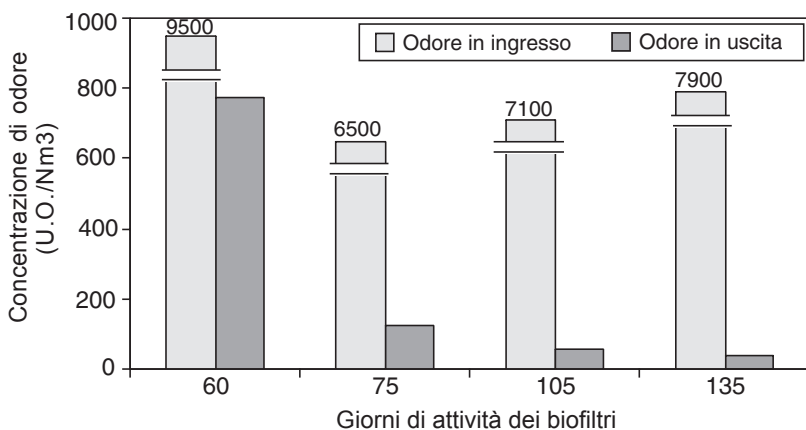
Il rapporto di diluizione necessario per percepire l'odore alla concentrazione di soglia viene per convenzione definito come indice nominale della concentrazione dell'odore in esame ed espresso in unità odorimetriche per metro cubo di gas analizzato (U.O./m<sup>3</sup>).

Data la soggettività delle misure e la variabilità interindividuale delle stesse, la stima delle U.O. viene formulata avvalendosi di tecniche di elaborazione statistica dei risultati. Questo metodo si avvale di una metodologia di esecuzione ed interpretazione dei risultati standardizzata, già in uso in Germania (VDI 3882 Blatt 1-4, 1986) e di prossima adozione a livello della Unione Europea (Comunità europea di Normalizzazione, Documento 064/e, Odour concentration measurement by dynamic olfactometry: CEN TC264/WG2 “Odours”).

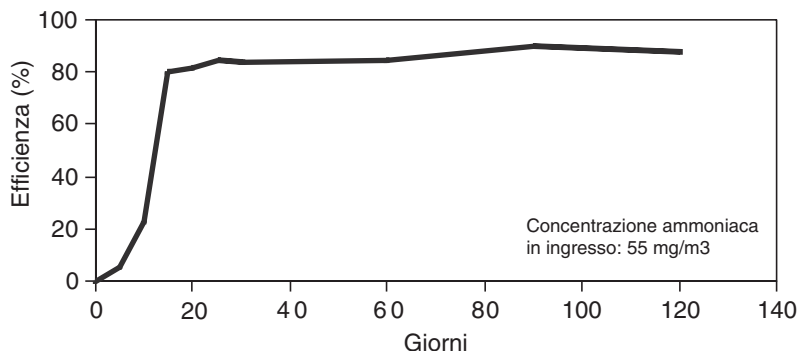
La valutazione dell’efficacia dei sistemi di abbattimento e/o contenimento delle emissioni odorose viene effettuata con il calcolo del rapporto percentuale della differenza delle Unità Odorimetriche prima e dopo il trattamento di biofiltrazione.

In *figura 4* si riportano i risultati preliminari di recenti indagini su l’efficienza di biofiltri a presidio di impianti di trattamento di stabilizzazione biologica di rifiuti urbani.

Si evidenzia una fase iniziale di acclimatazione piuttosto lunga se confrontata con altre esperienze (*figura 5*); su ciò può avere influito una scarsa disponibilità idrica nella fase di avviamento determinata da motivi contingenti. Nelle analisi successive si sono sempre evidenziate efficienze di abbattimento sempre superiori al 95%.



**Figura 4** – Analisi olfattometriche su biofiltri asserviti ad un impianto di trattamento RU.



**Figura 5** – Variazioni nell’efficienza dell’abbattimento di ammoniacca in un biofiltro in fase di avviamento.

## BIBLIOGRAFIA

- Andreoni V., Origgi G., Colombo M., Calcaterra E., & Colombi A. *Characterization of a biofilter treating toluene contaminated air*. Biodegradation Vol. 7, 397 - 404 (1997)
- Arnold M. Reittu A. Von Wright A. Martikainen PJ. Suihlko M-L. *Bacterial degradation of styrene in waste gases using a peat filter*. Source Applied Microbiology & Biotechnology. Vol . 48(6) (pp 738 -744),1997.
- Brennan BM. Donlon M. Bolton E. *Peat biofiltration as an odour control technology for sulphur-based odours*. Source Journal of the of Water & Environmental Management. Vol 10 (3) (pp 190 - 198), 1996
- Ergas SJ. Veir J. Kinney K. *Control of dichloromethane emissions using biofiltration*. Source Journal of Environmental Science & Health, Part A: Environmental Science & Engineering & Toxic & Hazardous Substance Control. Vol 31 (7) (pp 1741 -1754), 1996.
- Hwang S-J. Tang H-M. *Kinetic behavior of the toluene biofiltration process*. Source Journal of the Air & Waste Management Association. Vol 47 (6) (pp 644 - 673), 1997.
- Italiano P. (Costech international s.r.l.). *La combustione catalitica dei SOV: opzioni innovative anche per il legno*. Source Sovless 2001, Treviso, 11 aprile 2001.
- Kennes C. Cox HHJ. Doddema HJ. Harder W. *Design and performance of biofilters for the removal of alkylbenzene vapors*. Source Journal of Chemical Technology & Biotechnology. Vol 66 (3) (pp 300 - 304), 1966.
- Kim JO. *Gaseous TCE and PCE removal by an activated carbon biofilter*. Source Bioprocess Engineering. Vol 16(6) (pp 331- 337), 1997.
- *Linee guida per la costruzione e l'esercizio di impianti di produzione di compost*. Approvato nella seduta del Comitato tecnico, ex art. 17 l.r. 94/80 del 6/4/99 e nella seduta del CRIAL ai sensi dell'art. 1 l.r. 35/84 in data 12/5/99)
- Morgenroth E. Schroeder ED. chang DPY. Scow KM. *Nutrient limitation in a compost biofilter degrading hexane*. Source Journal of the Air & Waste Management Association. Vol 46 (4) (pp 300 -308), 1996.
- On Y-S. Bartha R. *Removal of nitrobenzene vapors by a trickling air biofilter*. Source Journal of the Industrial Microbiology & Biotechnology. Vol. 18(5) (pp 293 -296), 1997.
- Origgi G. Colombo M. De Palma F. Rivolta M. Rossi P. Andreoni V. *Bioventing of hydrocarbon-contaminated soil and biofiltration of the off-gas: Results of a field scale investigation*. Source Journal of Environmental Science & Health, Part A: Environmental Science & Engineering & Toxic & Hazardous Substance Control. Vol 32 (8) (pp 2289-2310), 1997.
- Rihn MJ. Zhu X. Suidan MT. Kim BJ. Kim BR. *The effect of nitrate on VOC removal in trickle-bed biofilters*. Source Water Research. Vol 31 (12) (pp 2997-3008), 1997.
- Rothenbuhler M. Heitz M. Beerli M. Marcos B. *Biofiltration of volatile organic emissions in reference to flexographic printing processes*. Source Water, Air & Pollution 83 (1-2). 1995, 37-50.
- Smet E. Van Langenhove H. Verstraete W. *Long-term stability of a biofilter treating dimethyl sulphide*. Source Applied Microbiology & Biotechnology. Vol. 46 (2) (pp 191-196), 1996.
- Smet E. Chasaya G. Van Langenhove H. Verstraete W. *The effect of inoculation and the type of carrier material used on the biofiltration of methyl sulphides*. Source Applied Microbiology & Biotechnology. Vol. 45 (1-2) (pp 293-298), 1996.
- Sukesan S. Watood ME. *Continuous vapor-phase trichloroethylene biofiltration using hydrocarbon-enriched compost as filtration matrix*. Source Applied Microbiology & Biotechnology. Vol. 48 (5) (pp 671-676), 1997.

- Tang H-M. Hwang S-J. Hwang S-C. *Waste gas treatment in biofilters*. Source Journal of the Air & Waste Management Association. Vol 46 (4) (pp 349 - 354), 1996.
- Yang Y. Allen ER. *Biofiltration control of hydrogen sulfide 1. Design and operational parameters*. Source Journal of the Air & Waste Management Association. Vol 44(7) (pp 863-868), 1994.
- VDI3477. *Biological waste air purification*. Biofilters. VDI: 20 pp, 1985.
- Zilli M. Fabiano B. Ferraiolo A. Converti A. *Macro-kinetic investigation oh phenol up-take from air by biofiltration: Influence of superficial gas flow rate and inlet pollutant concentration*. Source Biotechnology & Bioengineering. Vol. 49(4) (pp 391-398), 1996.
- Zhu X. Rihn MJ Suidan MT. Kim BJ. Kim BR. *The effect of nitrate on VOC removal in trickle-bed biofilters*. Source Water Science & Technology. Vol 34 (3-4) (pp 573- 581), 1996.
- Zeisig H.D. 1988. *Experience with the use of biofilters to remove odours from piggeries and hen houses*. In:V.C. Nielsen, J.H. Voorburg and P. L’Hermite. (Eds.). Volatile emissions from livestock farming and sewage operations. Elsevier Applied Science, London: 209-216.
- Wu G. Chabot JC. Caron JJ. Heitz M. *Biological elimination of volatile organic compounds from waste gases in a biofilter*. Source Water, Air,& Soil Pollution. Vol 101 (1-4) (pp 69-78), 1998.