

# OTTIMIZZAZIONE DELLA GESTIONE DI UN IMPIANTO DI COMPOSTAGGIO ATTRAVERSO L'OLFATTOMETRIA DINAMICA

S. Sironi, M. Il Grande, A. Carrera

La determinazione delle emissioni di odore da impianti di compostaggio viene attualmente effettuata mediante olfattometria dinamica. Il punto di emissione di odore così come la sua concentrazione e la sua intensità dipende sostanzialmente dalla correttezza delle diverse fasi operative del processo.

La determinazione della concentrazione di odore può aiutare nella verifica della corretta gestione dell'impianto. Vengono di seguito riportati i dati relativi a una decina di impianti monitorati in Italia nella stagione 2001- 2002.

## 1. INTRODUZIONE

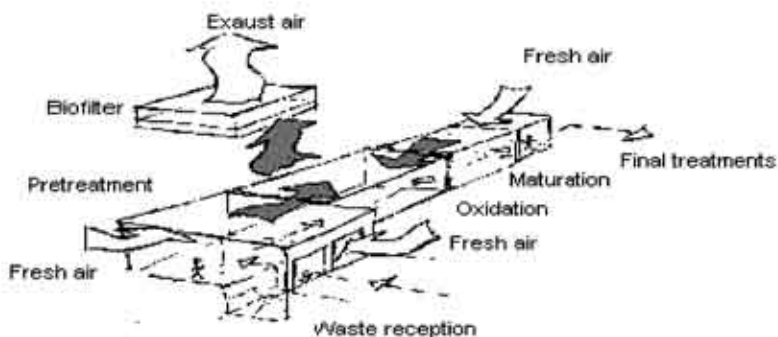
Il problema degli odori emessi dagli impianti di trattamento dei rifiuti ha richiamato, negli ultimi anni, sempre maggior attenzione (Il Grande *et al.* 2000) (Rafson, H.J. 1998) (Tolvanen, O.K. *et al.* 1998) (Van Langenhove, H. *et al.* 1999). In particolare gli impianti di selezione dei rifiuti solidi urbani e gli impianti di compostaggio si sono insediati in zone sempre più prossime alle grandi aree urbane tanto che questi impianti sono in molti casi responsabili dei disturbi causati da cattivi odori e trovano una sempre maggior resistenza da parte della popolazione residente nella loro installazione e gestione.

Per tali motivi gli Enti territoriali di controllo hanno emesso prescrizioni e norme che richiedono, oltre alla misura dei principali inquinanti ( $H_2S$  e  $NH_3$ ) e delle polveri dai sistemi di abbattimento dedicati al trattamento delle arie esauste forzatamente convogliate dagli attigui capannoni di lavorazione, anche quella delle concentrazioni di odori (Cortellini, L. 2000).

La misura della concentrazione di odore in diversi punti di un impianto di compostaggio può essere usata non solo per accertare e documentare il rispetto delle norme all'emissione ma anche come strumento di diagnosi del corretto funzionamento dell'impianto e quindi come elemento di gestione e verifica del processo.

In questo lavoro sono riportate le esperienze condotte su una serie di impianti di compostaggio di rifiuti provenienti da raccolta differenziata e indifferenziata.

Un impianto tipico di compostaggio (Epstein, E. 1997; Haug, R.T. 1993) può essere schematizzato come nella *figura 1*.



**Figura 1** – Flusso di aria in un impianto di compostaggio.

Si possono individuare alcuni stadi critici per la determinazione complessiva dell'emissione osmogena dall'impianto identificabili con:

- lo stadio di ricezione e stoccaggio dei rifiuti;
- lo stadio di bioossidazione accelerata;
- lo stadio di maturazione finale del compost;
- il trattamento dell'aria tramite diversi presidi atti ad abbattere le emissioni omogenee maleodoranti.

Le misure che normalmente vengono effettuate per il monitoraggio del processo (di compostaggio e di trattamento dell'aria maleodorante) sono:

- controllo della temperatura della biomassa, della sua attività e del livello di ossigeno durante il trattamento;
- controllo della velocità di flusso dell'aria di processo attraverso i cumuli in bioossidazione;
- controllo della velocità di flusso dell'aria, della sua temperatura e della sua umidità nei sistemi di abbattimento odore;
- controllo delle perdite di carico e del pH del liquido di uno scrubber;
- controllo delle perdite di carico e della temperatura e umidità di un biofiltro.

Inoltre vengono effettuate solitamente prove di indice respirometrico per verificare il grado di stabilità del prodotto finale.

Per quanto riguarda le analisi olfattometriche per la determinazione della concentrazione di odore dell'aria di processo, le norme richiedono la sola misura dell'emissione ma esse possono essere utilizzate anche come strumento di gestione e controllo della corretta funzionalità delle fasi sopra esposte di un impianto di compostaggio.

## **Materiali e metodi - Procedure di campionamento e analisi dell'odore**

### ***Procedura sperimentale dell'indagine olfattometrica***

*Il campionamento* ha previsto l'uso di sistemi di convogliamento e prelievo dell'aria osmogena per aspirazione diretta del campione di aria in un bag.

Tutti i campioni prelevati sono stati intrappolati in sacchetti di Nalophan® della capacità di circa 8 litri. Ad ogni sacchetto era collegato un tubo in Teflon® del diametro di 8 mm che ha permesso il prelievo e successivo collegamento all'apparecchio diluatore (olfattometro) per l'analisi.

L'aria osmogena campionata durante questa sperimentazione deriva da diverse zone dell'impianto e dunque la procedura di campionamento è diversa in funzione del tipo di sorgente emissiva:

*Campionamento di una sorgente puntiforme (camini e condotti).*

Il campione è stato prelevato inserendo il tubo di prelievo in Teflon® nelle apposite prese campione presenti nei condotti.

Esempi di punti di prelievo sono riportati in *figura 2*.



**Figura 2** – Campionamento puntuale.

*Campionamento di una sorgente non puntiforme senza flusso proprio (superfici e cumuli di compost).*

E' stata impiegata una cappa dinamica Labodori-Polimi DynChamber, progettata e costruita presso il Politecnico di Milano in accordo con le indicazioni di Eklund, B. (1992) di Bowker, P. E. *et al* (1994) e di Frechen, F. B. (1995).

La cappa dinamica in *figura 3* è costituita da una cupola emisferica in Plexiglass®, diametro 0.5 m appoggiata su un cilindro di acciaio inox con area di base 0,196 m<sup>2</sup>, dotata di ingresso per l'aria neutra, di sonda per la rilevazione della temperatura, di valvola di sfianto per le sovrappressioni e di un collegamento per la presa campione. L'aria neutra era fornita compressa in bombola (Aria SP Sapiomonza Italy).

La cappa dinamica è stata appoggiata su di una superficie non emissiva per la determinazione della sua concentrazione di odore (per esempio su un'area come quella di *figura 4*. All'interno della cappa è stata insufflata una portata nota di aria neutra (6,3 l/min pari a 0,378 m<sup>3</sup>/h).



**Figura 3** – Cappa dinamica.



**Figura 4** – Superfici non emissive.

In queste condizioni il tempo necessario per un ricambio dell'aria all'interno della cappa è di 10,32 min. I prelievi dei campioni venivano effettuati dopo che era trascorso il tempo necessario per almeno 3 ricambi (corrispondenti a circa 32 minuti di attesa). Operando in questo modo, a seguito della misura della concentrazione di odore ( $\text{OU}/\text{m}^3$ ), è anche possibile calcolare il flusso osmogeno ( $\text{OU}/\text{mq h}$ ), essendo nota la portata insufflata ( $0,378 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

*Campionamento di una sorgente estesa con flusso uscente proprio (biofiltri).*

E' stata impiegata una cappa statica a forma di tronco di piramide a base quadrata ( $1 \times 1$ ) con superficie di base pari a  $1 \text{ m}^2$ , pareti di alluminio tefflonato e camino di diametro 15 cm del tipo di quello riportato nella *figura 5*. Tutte le fasi di campionamento avvengono in accordo con i requisiti richiesti dalla CEN TC 264 e VDI 3881.

Durante la fase dei campionamenti sono state anche effettuate misure accessorie che sono servite per una miglior comprensione dei dati ottenuti (velocità, temperatura e umidità del flusso, temperatura del letto filtrante, perdite di carico del biofiltro). Tali misure vengono effettuate con un'opportuna strumentazione che prevede sonde termoigrometriche per la misura di temperatura e umidità del flusso, sonde corazzate per la misura della temperatura del letto filtrante, anemometro a ventola per la misura del flusso e manometro differenziale per la misura delle perdite di carico (Testo SpA Settimo Milanese Italy).

Il tempo che intercorre tra il campionamento e la successiva analisi, cioè il tempo di residenza dei campioni nei sacchetti, è stato minimizzato (minore di 24 ore), la temperatura di conservazione del campione è stata controllata e mantenuta intorno a quella ambiente ( $20 < T_a < 35^\circ\text{C}$ ), comunque superiore alla temperatura di rugiada per impedirne la condensazione del campione nel sacchetto. Infine è stata evitata la esposizione del campione alla luce, soprattutto solare, conservandolo in cardboard box per minimizzare le reazioni fotochimiche di degradazione.



**Figura 5** – Campionamento su biofiltro.

## **Analisi**

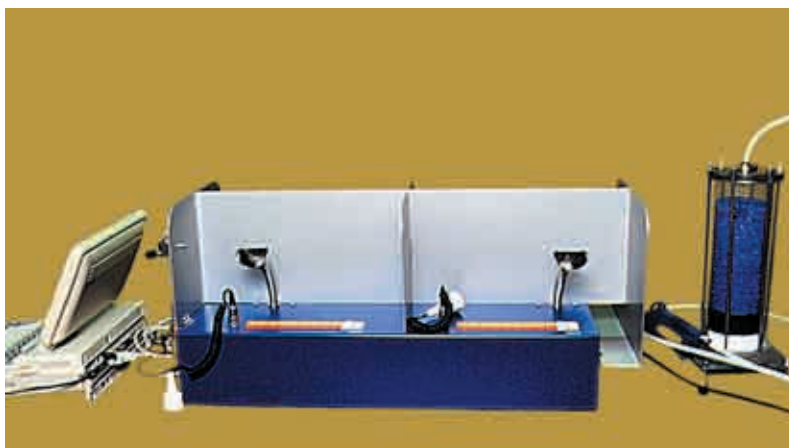
*L'analisi dei campioni* è stata condotta servendosi di un olfattometro Mannebeck Mod. TO7 e di un panel costituito da 8 persone adeguatamente testate e certificate secondo normativa europea (CEN TC 264). I campioni prelevati sono stati analizzati nel Laboratorio Olfattometrico del Dipartimento di Chimica dei Materiali e Ingegneria Chimica del Politecnico di Milano, in una camera termostatica appositamente attrezzata per lo scopo e che risponde ai requisiti richiesti dalle specifiche CEN TC 264 (olfcam Progress, Roma).

L'apparecchiatura utilizzata è un Olfattometro Mannebeck Mod. T07 munito di quattro postazioni di saggio contemporaneo degli odori. I test con l'olfattometro sono stati condotti operando con due panel di quattro persone ciascuno, selezionate mediante appositi test di sensibilità olfattiva secondo i criteri delle specifiche comunitarie richiamate.

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

L'olfattometro è lo strumento che permette di diluire il campione di aria odorosa con aria neutra, ossia aria priva di odore. Il numero di diluizioni necessarie a far giungere l'odore alla cosiddetta "soglia dell'odore" è preso come indice della concentrazione dell'odore ed espresso in unità odorimetriche per metro cubo (OU/m<sup>3</sup>).

Conclude l'indagine olfattometrica *l'elaborazione dei risultati* con cui si mediano tutti i valori di OU/m<sup>3</sup> per singolo panelist ottenendo un valor medio che rappresenta la concentrazione di odore del campione in esame in OU/m<sup>3</sup>.



**Figura 6** – Olfattometro Mannebeck Mod TO7.

## 2. RISULTATI E DISCUSSIONE

Nella *tabella 1* vengono mostrati i risultati di 10 campagne olfattometriche su dieci differenti impianti di compostaggio. I dati presentati sono valori medi di più misure ( $\geq 4$ ) condotte stagionalmente Impianto per Impianto. Oltre ai dati di concentrazione rilevati in tabella viene mostrata anche la capacità dell'impianto e la tipologia del rifiuto trattato. Vengono riportate tre zone per ogni impianto: l'area di ricezione e pretrattamento, l'area di bio-ossidazione e l'area di maturazione. In alcuni impianti alcuni step sono condotti nella medesima area.

**Tabella 1** – Dati olfattometrica per diversi impianti di compostaggio.

N.	Impianto			Concentrazione di odore (OU/m <sup>3</sup> )		
	Tipo di rifiuto	Capacità (t/d)	Stagione	Area di ricezione	Area di bio-ossidazione	Area di maturazione
1	Rifiuto Solido Urbano (R.S.U.)	250	Inverno		21000	
			Estate		28000	
2	R.S.U.	130	Inverno	1542 <sub>(a)</sub>	10992* <sub>(a)</sub>	1456 <sub>(a)</sub>
			Estate	3248 <sub>(a)</sub>	14560* <sub>(a)</sub>	3250 <sub>(a)</sub>
3	R.S.U.	160	Inverno	2850 <sub>(b)</sub>	9850* <sub>(b)</sub>	2150 <sub>(b)</sub>
			Estate	4980 <sub>(b)</sub>	18950* <sub>(b)</sub>	2680 <sub>(b)</sub>
4	R.S.U.	400	Inverno	nd	76109** <sub>(a)</sub>	nd
			Estate	nd	80150** <sub>(a)</sub>	nd
5	R.S.U.	180	Inverno	nd	22534 <sub>(a)</sub>	nd
			Estate	nd	29771 <sub>(a)</sub>	nd
6	Frazione Organica del Rifiuto Solido Urbano F.O.R.S.U.	120	Inverno	2800 <sub>(a)</sub>	9850* <sub>(a)</sub>	2550 <sub>(a)</sub>
			Estate	10679 <sub>(a)</sub>	13071* <sub>(a)</sub>	3775 <sub>(a)</sub>
7	F.O.R.S.U.	160	Inverno	4750 <sub>(a)</sub>	11150 <sub>(a)</sub>	4200 <sub>(a)</sub>
			Estate	14850 <sub>(a)</sub>	15840 <sub>(a)</sub>	5800 <sub>(a)</sub>
8	F.O.R.S.U.	200	Inverno	7150 <sub>(b)</sub>	14254** <sub>(b)</sub>	5993 <sub>(b)</sub>
			Estate	8980 <sub>(b)</sub>	17500** <sub>(b)</sub>	6980 <sub>(b)</sub>
9	Rifiuto verde	80	Inverno		339 <sub>(b)</sub>	
			Estate		580 <sub>(b)</sub>	
10	Rifiuto verde	100	Inverno		1150 <sub>(b)</sub>	
			Estate		2080 <sub>(b)</sub>	

(a) campionamento condotto connettendo il tubo di campionamento in Telfon nelle prese di campionamento

(b) campionamento con cappa dinamica su cumulo di biomassa

\* areazione forzata della biomassa (positiva or negativa)

\*\* cumulo di biomassa in movimentazione (rivoltamento)

## **Area di ricezione**

L'area di ricezione è un punto critico in termini di emissione di odori.

Spesso i capannoni di ricezione non sono in condizioni di depressione e l'arrivo dei camion con l'apertura di portoni causa la fuoriuscita di maleodorante. Processi di fermentazione anaerobica in questa fase sono principalmente causati dal tempo di stoccaggio tra il ricevimento del rifiuto e il suo trattamento.

A peggiorare lo stato di fermentazione del rifiuto in questa prima fase possono essere i rifiuti che arrivano all'impianto già in fase fermentativa (nel caso in cui passino alcuni giorni dalla locazione del rifiuto nel bidone domestico alla ricezione in impianto).

L'analisi olfattometrica ha evidenziato un legame tra l'emissione di odore in questa prima fase e la quantità, l'età e la tipologia del rifiuto. Si evidenzia in particolar modo l'importanza della minimizzazione del tempo di stoccaggio del rifiuto nell'area di ricezione.

I valori di concentrazione di odore per l'area di ricezione sono mostrati nella *tabella 1* e sono inclusi tra 1.542 e 14.850 OU/m<sup>3</sup>.

La varianza dei valori compresi tra i due intervalli trovati dipende non solo dalla tipologia del materiale trattato ma anche alla stagionalità del rifiuto e al grado di fermentazione. I valori estivi sono più elevati dei corrispondenti invernali. La crescita media dell'odore in estate rispetto all'inverno è stata riscontrata attorno a valori del 140%. Anche nelle altre fasi di lavorazione del rifiuto è stata riscontrata una crescita media della concentrazione di odore in estate ma con incrementi medi inferiori. (bio-ossidazione 37%, maturazione 50%). L'incremento dell'emissione osmogena non dipende infatti dal processo di compostaggio ma dalla storia del rifiuto dalla produzione al suo smaltimento.

Infine i cosiddetti "rifiuti verdi" costituiti da sfalci ligno-cellulosici, fronde ed erba generano emissioni odorigene più modeste dei rifiuti indifferenziati o organici differenziati.

## **Area bioossidativa**

L'area di bioossidazione è risultata, tra le fasi analizzate, quella a maggior concentrazione odorigena. I valori, mostrati nella *tabella 1*, variano tra 9.850 e 80.150 OU/m<sup>3</sup>.

La concentrazione e l'intensità dell'odore dipendono da:

- la quantità di rifiuto in bioossidazione;
- il contenuto di ossigeno nel cumulo e la tipologia di aereazione (insufflamento o aspirazione);
- la temperatura del processo;
- la tecnologia di processo.

I picchi di concentrazione di odore si riscontrano durante i rivoltamenti della biomassa, fase comunque assolutamente essenziale nel processo.

Per limitare il più possibile la molestia olfattiva nel capannone ove avviene la biossidazione la soluzione processistica migliore sembra quella di aspirare l'aria dalle canaline poste sotto il cumulo e imporre rivoltamenti (Illmer, P. *et al.* 1997) frequenti dello stesso in modo da ottenere una buona ossigenazione del materiale.

La cattiva ossigenazione del cumulo provoca innalzamenti o abbassamenti della temperatura dello stesso con conseguente innalzamento delle O.U./m<sup>3</sup> (Toffey, W.E. *et al.* 1995).

La mancanza di ossigeno porta la temperatura del cumulo ad un primo innalzamento per mancanza dell'effetto diluente dell'aria attraverso il cumulo e ad un successivo abbassamento per mancanza di attività microbica. I valori di O.U./m<sup>3</sup> correlate con la temperatura del cumulo stesso sono mostrate nella *figura 7* (Sironi, S. 1999).

### Area di maturazione

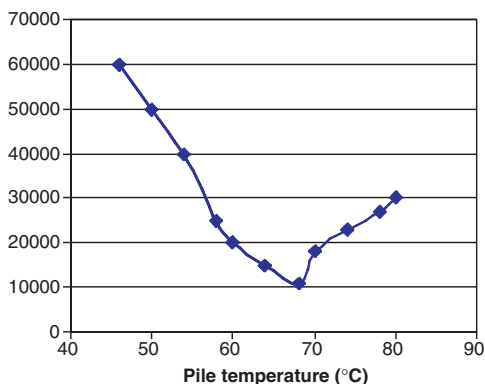
Nella *fase di maturazione* si trovano valori compresi tra 1.456 e 6.980 OU/m<sup>3</sup>.

I valori di O.U./m<sup>3</sup> decrescono nel tempo; più il prodotto invecchia maturando e più cala l'attività microbica poiché i batteri presenti nel cumulo hanno ormai mineralizzato completamente la sostanza organica. Vengono di seguito riportati nella *figura 8* i valori di O.U./m<sup>3</sup> correlati con il tempo di maturazione del cumulo stesso.

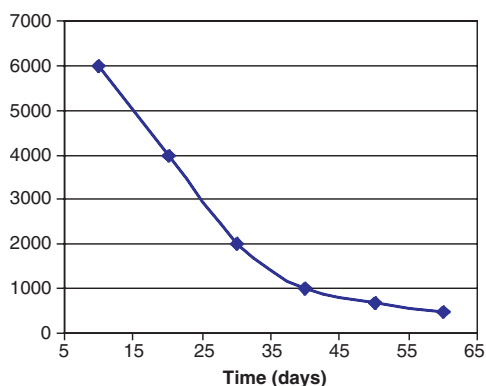
Correlata all'attività microbica nel cumulo in maturazione vi è ancora la temperatura per cui si riscontra una diminuzione dell'odore col diminuire della temperatura.

### I presidi atti alla deodorizzazione aria

Infine la misura olfattometrica può essere utile per determinare l'efficienza di scrubber e biofiltri. I valori in *tabella 2* mostrano efficienze di scrubber tra il 30 e il 75% ed efficienze di biofiltri tra il 60 e il 99%. Alcuni parametri fisici possono essere correlate alla concentrazione di odore, per esempio, uscente da un biofiltro.



**Figura 7** – Correlazione tra temperatura e concentrazione di odore.



**Figura 8** – Correlazione tra tempo e concentrazione di odore (misure effettuate con flux chamber).

**Tabella 2** – Dati olfattometrici dei presidi in differenti impianti di compostaggio.

N.	Impianto			Concentrazione di odore (OU/m <sup>3</sup> )			
	Tipo di rifiuto	Capacità (t/d)	Stagione	Scrubber IN OUT		Biofiltro IN OUT	
1	R.S.U	250	Inverno	21000	11200	9500	300
			Estate	28000	15400	14300	420
2	R.S.U	130	Inverno	9812	1731		
			Estate	12450	2580		
3	R.S.U	400	Inverno	11850	7540	5230	270
			Estate	16580	9850	6570	380
4	R.S.U	160	Inverno	70109	31089	24675	190
			Estate	73500	38540	27850	380
5	R.S.U	180	Inverno	21750	13454		
			Estate	28440	19027		
6	F.O.R.S.U.	120	Inverno			8450	190
			Estate			9500	250
7	F.O.R.S.U.	160	Inverno			10450	240
			Estate			17860	320
8	F.O.R.S.U.	200	Inverno			11450	380
			Estate			15460	540
9	Rifiuti verdi	80	Inverno			540	280
			Estate			660	310
10	Rifiuti verdi	100	Inverno			1590	180
			Estate			2440	220

Valori di temperatura del letto filtrante troppo elevati o troppo bassi non permettono una buona crescita microbica sul supporto filtrante e provocano una diminuzione dell'efficienza del biofiltro. Anche l'umidità del letto filtrante è un parametro da tenere assolutamente sotto controllo. I più bassi valori di O.U./m<sup>3</sup> in uscita dal biofiltro si sono ottenuti con flussi di aria satura d'acqua che attraversava il letto filtrante.

I microrganismi sul biofiltro metabolizzano la sostanza organica presente nel flusso d'aria che lo attraversa solo in presenza d'acqua.

Flussi poco umidi provocano un abbassamento dell'attività microbica ed un conseguente innalzamento delle O.U./m<sup>3</sup> in uscita dal presidio. Nella *figura 9* è plot-tata l'efficienza del biofiltro  $[(C_{in}-C_{out})/C_{in}]$  ottenuta dai dati relative a 4 impianti di compostaggio durante la stagione invernale in funzione della temperatura del letto e dell'umidità del flusso che lo attraversa.

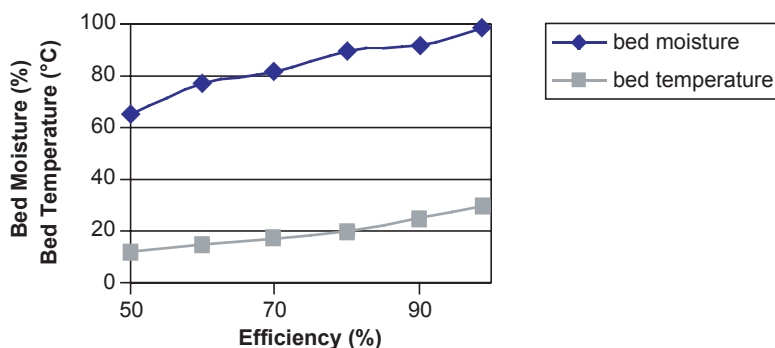


Figura 9 – Correlazione tra efficienza e temperature/umidità del biofiltro.

### 3. CONCLUSIONI

L'indagine olfattometrica, già nella prima fase del trattamento dei rifiuti, è molto utile per stabilire, con un buon grado di precisione, lo stato fermentativo e quindi l'età del rifiuto in ingresso. I valori trovati nella fase biossidativa possono fornire informazioni utili sul processo. I processi ben condotti, con un elevato tenore di ossigeno all'interno dei cumuli in biossidazione, hanno mostrato valori in termini di concentrazione di odore di un ordine di grandezza in meno rispetto a processi che tendono all'anaerobiosi con sacche ove vi è forte carenza di ossigeno.

Oltre i problemi derivanti dalla carenza di ossigeno nel cumulo, altri fattori che influenzano la concentrazione di odore sono la temperatura e l'umidità del materiale, oltre che ovviamente il tipo di rifiuto che costituisce la matrice di partenza.

Attualmente per misurare il grado di stabilità di un generico cumulo è utilizzato l'indice respirometrico (Iannotti, D. A. *et al.* 1994) che si definisce statico o dinamico a seconda se sia condotto in ambiente sigillato o con attraversamento di un flusso d'aria. Questo indice misura la quantità di ossigeno che il materiale oggetto di indagine è in grado di "respirare". Maggiore è la quantità di ossigeno consumato dai microrganismi presenti nel materiale meno maturo viene considerato il materiale in quanto ancora in piena attività microbica. L'indagine olfattometrica con tempi più rapidi ha indicato il grado di maturità del materiale misurando la concentrazione di odore nell'aria che ha attraversato il materiale con portata specifica nota fornita sotto la cappa di campionamento.

I dati a disposizione hanno evidenziato una rapida riduzione dell'odore con l'aumento del grado di maturità del materiale in accordo con lo studio sulla misura di stabilità di un compost da reflui da allevamenti sulla base delle sue emissioni odorogene (Sheen, S. Y. *et al.* 1994).

È importante considerare che, per quanto riguarda il compost, la misura dell'odore rilasciato è importante oltre che per verificare il suo grado di molestia durante lo spandimento anche per la conduzione degli impianti. Un compost inodore o quasi permette infatti uno stoccaggio all'aperto e dunque una riduzione dei problemi di

spazio, sia negli impianti di produzione che di stoccaggio intermedio. Pertanto la misura olfattometrica, al di là dei problemi che riguardano proprio la bontà agronomica del compost, fornisce una indicazione aggiuntiva di notevole rilevanza sociale ed economica nell'utilizzo del prodotto stesso.

Infine una importante applicazione dell'indagine olfattometrica, che si ricollega direttamente al controllo del limite di emissione al biofiltro di cui si è trattato all'inizio di questo lavoro, riguarda la verifica dell'efficienza dei presidi ambientali preposti all'abbattimento delle emissioni odorigene dagli impianti di compostaggio.

Attualmente per valutare l'efficienza di tali presidi ambientali vengono monitorati alcuni parametri quali il pH dei bagni di lavaggio e la loro conducibilità oltre che la perdita di carico negli scrubber; la temperatura e l'umidità del letto del biofiltro oltre che dell'aria in ingresso ed uscita dallo stesso.

La misura olfattometrica può rapidamente e sinteticamente fornire una indicazione su eventuali malfunzionamenti di tali presidi.

## BIBLIOGRAFIA

- Bowker, P. E. Mc Ginley, C. M. and Webster, N. A., *Proceedings of Water Environment Fed. Specialty Conf.*, 3.13-3.24 Jacksonville FL (24-27 april 1994).
- Cortellini, L. Giornata di studio: Odori-lo Stato dell'Arte in Italia *GSISR Reports*, **90**, 8-31 Milano (2000).
- Epstein, E. "The science of composting" Basel: Technomic Pub. AG (1997).
- Frechen, F.B. *Proceedings Sardinia 93- Fifth International Landfill Symposium* 815-828 S. Margherita di Pula CA Italy (2-6 october 1995).
- Haug, R.T., "Practical Handbook of Composting Engineering" Boca Raton: Lewis Pub. (1993).
- Il Grande, M. Sironi, S., Giornata di studio: Odori-lo stato dell'arte in Italia *GSISR Reports*, **90**, 152-167 Milano (2000).
- Iannotti, D. A. Pang, T. Toth, B. L. Elwell, D. L. Keener, H. M. and Hoitink, A. J., *Compost Sci. Util.* **1**(3), 52-56 (1993).
- Illmer, P. Schinner, F., *Bioresources Technology* **59** (2/3), 157-162 (1997)
- Tolvanen, O.K. Haenninen, K.I. Veijanen, A. and Vilberg, K., *Waste Manag. Res.* **16** (6), 525-540 (1998).
- Toffey, W.E., L.H. Henz, Jr., and M.Haibach, Control of odour and VOC emissions from the largest aerated static pile biosolid composting facility in U.S., WEFTEC, Water Environ.Fed., Miami Beach, FL (1995).
- Van Langenhove, H: De Bo, I: and Vyvey, D. in "Organic Recovery and Biological Treatment" (Bidlingmaier, W. Ed.) ORBIT-International Conference, pag. 637-644 Weimar: Rhombos (1999).
- Rafson, H. J. "Odor and VOC Control Handbook" New York: McGraw Hill (1998).
- Sheen, S. Y. Chiang, C. C. Hong, C. M. Wang, H. H. in "Toward Enhanced and Sustainable Agricultural Productivity in the 2000's" (Huang, S. C. Ed.) Special Publication-Taichung District Agricultural Improvement Station *issue* **35/3**, pag. 997 (1994).
- Sironi, S. unpublished data, Thesis Politecnico di Milano Italy (1999).
- CEN TC264 "Odour Concentration Measurement by Dynamic Olfactometry" (1995).
- VDI-guideline 3881 "Olfactometry - Odour Threshold Determination" VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Vol 1 (1986).