

IL PROBLEMA DEGLI ODORI NEGLI IMPIANTI DI COMPOSTAGGIO: DESCRIZIONE, GENESI, TECNICHE DI MISURA

Laura Valli, Sergio Piccinini

La collocazione degli impianti di compostaggio nel contesto territoriale risulta sempre una scelta difficile e contrastata: il problema delle emissioni in atmosfera, infatti, e in particolare di odori sgradevoli, è fra le principali cause di contenziosi con la popolazione residente.

Spesso gli impianti, per mancanza di siti idonei, si trovano ad essere collocati in prossimità di aree residenziali o artigiane, creando problemi di accettabilità sociale. Preme sottolineare, tuttavia, 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 una situazione di non salubrità dell'ambiente, poco tollerata da una 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 FIDO* = frequency, intensity, duration, offensiveness). Quanto un odore sia percepito come sgradevole è connesso alle preferenze e alle precedenti esperienze dei soggetti coinvolti. Si è osservato, ad esempio, che si verificano meno proteste contro gli odori da attività che sono tradizionalmente parte della comunità, piuttosto che contro odori generati da nuove attività che possono alterare la tradizionale struttura sociale.

1. LE FONTI DI EMISSIONE DI ODORI NEGLI IMPIANTI DI COMPOSTAGGIO

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 conduzione 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 scarsa 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 **sovalli** fermentescibili.

2. I COMPOSTI OSMOGENI NEGLI IMPIANTI DI COMPOSTAGGIO

I più significativi gruppi di composti odorosi identificati presso impianti di compostaggio includono composti organici e inorganici dello zolfo, ammoniaca e ammine, acidi grassi volatili, composti aromatici, terpeni, acetone, fenoli e toluene. Nella *tabella 1* viene riportato un elenco dei principali composti individuati presso impianti di compostaggio negli Stati Uniti e le relative soglie di odore (*Williams T.O. e Miller F.C., 1992*).

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 condizioni aerobiche. Sono composti potenzialmente fonte di cattivi odori, ma non vengono ritrovati con frequenza negli impianti di compostaggio (Wilber e Murray, 1990).

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 aerobia della lignina (indolo e scatolo).

Tabella 1 – Composti odorosi identificati presso impianti di compostaggio negli Stati Uniti e le relative soglie di odore¹ (Williams T.O. e Miller F.C., 1992).

Composto	Formula	Massa molecolare	Odore	Soglia di odore	
				bassa µg/m ³	alta µg/m ³
Composti dello zolfo					
Idrogeno solforato	H ₂ S	34	uova marce	0.7	14
Disolfuro di carbonio	CS ₂	76	dolce, sgradevole	24.3	23000
Dimetilsolfuro	(CH ₃) ₂ S	62	cavolo marcio	25	50.8
Dimetildisolfuro	(CH ₃) ₂ S ₂	94	zolfo	0.1	346
Dimetiltrisolfuro	(CH ₃) ₂ S ₃	126	zolfo	6.2	6.2
Metilmercaptano	CH ₃ SH	48	zolfo, aglio, pungente	0.04	82
Etilmercaptano	CH ₃ CH ₂ SH	62	zolfo, terra	0.032	92
Ammoniaca e composti dell'azoto					
Ammoniaca	NH ₃	17	pungente	26.6	39600
Metilamina	(CH ₃)NH ₂	31	pesce, pungente	25.2	12000
Dimetilamina	(CH ₃) ₂ NH	45	pesce, amina	84.6	84.6
Trimetilamina	(CH ₃) ₃ N	59	pesce, pungente	0.8	0.8
Scatolo	C ₆ H ₅ C(CH ₃)CHNH	131	fecale, nauseante	4.0*10 ⁻⁵	268
Acidi grassi volatili					
Acido formico	HCOOH	46	pungente, aspro	45	37800
Acido acetico	CH ₃ COOH	60	di aceto	2500	25000
Acido propionico	CH ₃ CH ₂ COOH	74	rancido, pungente	84	64000
Acido butirrico	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	88	rancido	1	9000
Acido valerianico	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	102	sgradevole	2.6	2.6
Acido isovalerianico	CH ₃ CH ₂ CH(CH ₃)COOH	102	formaggio rancido	52.8	52.8
Chetoni					
Acetone	CH ₃ COOH ₃	58	dolciastro, di menta	47500	161000
Butanone (MEK)	CH ₃ COOH ₂ CH ₃	72	dolciastro, di acetone	737	147000
2-Pentanone (MPK)	CH ₃ COOH ₂ CH ₂ CH ₃	86	dolciastro	28000	45000
Altri composti					
Benzotiozolo	C ₆ H ₄ SCHN	135	penetrante	442	2210
Acetaldeide	CH ₃ CHO	44	dolciastro, di erba	0.2	4140
Fenolo	C ₆ H ₅ OH	94	medicinale	178	2240

¹ La soglia di percettibilità dell'odore (OT₅₀=Odour Threshold) viene definita come la minima concentrazione di un composto odoroso che porta alla percezione dell'odore con una probabilità del 50% (soglia bassa). La soglia di riconoscimento al 100% (ORC₁₀₀ = Odour recognition concentration) è invece la concentrazione alla quale il composto viene identificato con una probabilità del 100% (soglia alta).

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. Viene tuttavia raramente riportata la presenza di tale composto presso impianti di compostaggio. I *composti organici dello zolfo* (mercaptani) sono maleodoranti già a concentrazioni bassissime, dell'ordine dei ppb (parti per bilione). 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, ecc.). La loro soglia di odore è di alcuni ppb. Sono composti molto stabili e difficili da rimuovere.

3. RISCHI TOSSICOLOGICI ASSOCIATI

I composti maleodoranti **non sono necessariamente associati a 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 2* viene riportata questa comparazione per alcuni composti caratteristici, comunemente presenti presso gli impianti di compostaggio.

Sono evidenziati quelli per cui le soglie di percettibilità olfattiva sono superiori alle concentrazioni che possono produrre effetti tossici, ossia quelli per cui l'olfatto non costituisce sufficiente allarme. Per molti altri composti, invece, le concentrazioni in grado di produrre sensazione olfattiva sono ordini di grandezza inferiori rispetto a quelle associabili a un rischio sanitario.

Tabella 2 – Soglie olfattive e TLV per una serie di composti identificati presso impianti di compostaggio: sono evidenziati i composti con soglia olfattiva superiore al TLV.

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

Fonte: G. Andrettola, V. Riganti (1997) – *Gli odori e le sostanze odorogene*. In: *Atti del Seminario “Il contenimento degli odori negli impianti di trattamento acque e rifiuti”*, Università di Pavia.

4. LA MISURA 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, mentre 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 **analitica 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.

5. DIFFICOLTÀ NELLA QUANTIFICAZIONE DEGLI ODORI

L'olfatto umano è uno **strumento di percezione estremamente sensibile**, superiore, in molti casi, alla capacità di rilevazione delle più evolute strumentazioni di analisi fisico-chimica. 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 nel 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**).

6. LE DETERMINAZIONI DI TIPO ANALITICO-CHIMICO

I **metodi analitici** (Gascromatografia - 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 (tipicamente per impianti di trattamento rifiuti nell'ordine delle decine) e l'identificazione e quantificazione **dei composti a maggior impatto olfattivo**.

In *tabella 3* vengono riportate, come esempio, le concentrazioni di una serie di composti osmogeni rilevati, presso un impianto di compostaggio che tratta sia scarti indifferenziati che scarti da raccolta selezionata, nel corso di una campagna di monitoraggio effettuata da CRPA nel 1999.

Per alcuni composti a bassissima soglia olfattiva (inferiore ai ppb), come mercaptani e solfuri, si presentano però dei problemi di soglia di sensibilità dello strumentazione analitica, dal momento che le concentrazioni che provocano odori percettibili possono essere **inferiori alla limiti di rilevabilità analitica**. Questo risulta particolarmente vero quando le misure siano effettuate alle immissioni, dove le concentrazioni sono di 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**.

Tabella 3 – Concentrazione di microinquinanti rilevati nell'area di un impianto di compostaggio (CRPA, 1999).

Concentrazioni di microinquinanti presso impianto di compostaggio								Mese: Agosto 1999	
Condizioni meteorologiche di riferimento									
Data inizio rilievo		31/08/99		Data fine rilievo		01/09/99			
Ora inizio rilievo		12.00		Ora fine rilievo		12.00			
Condizioni meteorologiche di riferimento									
	Temperatura	Umidità relativa	Pressione	Radiazione globale	Radiazione netta	Vel. Vento	Direzione vento risultante	Velocità media risultante	
	[°C]	[%]	[hPa]	[W/m ²]	[W/m ²]	[m/s]	[°]	[m/s]	
Media del periodo di rilievo	22.9	64.6	1005	262	105	1.9	205	S	
Media della ore lavorative	20.3	62.6	1002	0	-30	1.7	74	NE	
Media delle ore non lavorative	19.7	66.2	1002	0	-20	0.9	101	ENE	
Concentrazioni gas monitorati									
Pr.	Composto				Concentrazione rilevata con Campionatore Radiello [mg/m ³]				
					Zona depuratore	Confine Nord	Confine Est	Confine Sud	Confine Ovest
1	metililchetone				21	6	8.8	7.2	5.6
2	etile acetato				7.9	2.9	8.7	3.1	<0,1
3	2-butanolo				23	4.5	5.8	4.7	5
4	benzene				0.4	1.3	1.4	1.3	1.3
5	tricloroetilene				0.1	0.1	0.2	0.2	0.1
6	1,2-dicloropropano				0.7	0.3	1.1	0.2	0.2
7	dimetil solfuro				0.22	<0,01	0.03	<0,01	<0,01
8	acido propionico				320	16	10	22	24
9	toluene				15	7.4	11	7.6	6.3
10	isobutile acetato				<0,1	0.6	0.8	<0,1	<0,1
11	tetracloroetilene				6.4	1.1	6.2	1	0.9
12	n-butile acetato				5.8	1.7	1.7	0.7	0.8
13	acido butirrico				1200	15	25	5.9	43
14	xileni*				29	9.6	11	8.1	7.4
15	acido valerianico				290	25	53	35	55
16	acido capronico				260	60	140	88	230
17	terpeni**				1000	36	110	6.8	51
19	isopropil mercaptano				0.6	<0,1	<0,1	<0,1	0.7
20	n-butanolo				5.2	2.6	4.9	2.8	2.8
21	metilisobutilchetone				<0,1	0.6	0.8	0.4	0.2
23	diacetile				11	2	6.5	2.6	1.9
24	metilpropilchetone				8	2.3	3.9	1.9	1.3
25	propile acetato				2.4	0.4	0.5	0.1	0.3
26	etil propionato				0.9	0.1	0.2	<0,1	0.1
27	metil butirrato				2.1	0.4	0.4	0.1	0.2
28	metilbutilchetone				3.3	1.6	3.2	3.2	2.8
29	etil butirrato				7.7	1	1.1	<0,1	1
30	propil propionato				0.5	<0,1	0.1	<0,1	0.1
31	etilbutilchetone				<0,1	0.7	0.6	0.8	0.9
36	etil eptanoato				3.3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

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. Negli studi effettuati sulle modalità di quantificazione delle molestie olfattive sono stati effettuati diversi tentativi per correlare la proprietà “odore” alla concentrazione di qualche composto presente, che possa quindi fungere da indicatore chimico del livello di odore. Questa correlazione non è stata in generale verificata, come risulta, ad esempio, dalla *figura 1*, che riporta le misure effettuate da ricercatori statunitensi (*Hentz et al., 1996*) relativamente al rapporto fra concentrazione di odore e concentrazione di dimetildisolfuro rilevate presso l’impianto di compostaggio di scarti organici di Filadelfia.

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.

I metodi sensoriali vengono usati da più di 20 anni nei paesi del Centro-Nord Europa per valutare e quantificare le emissioni di odori sgradevoli dalle diverse attività ad alto impatto olfattivo (impianti di trattamento rifiuti, impianti di compostaggio, allevamenti zootecnici, impianti di rendering...).

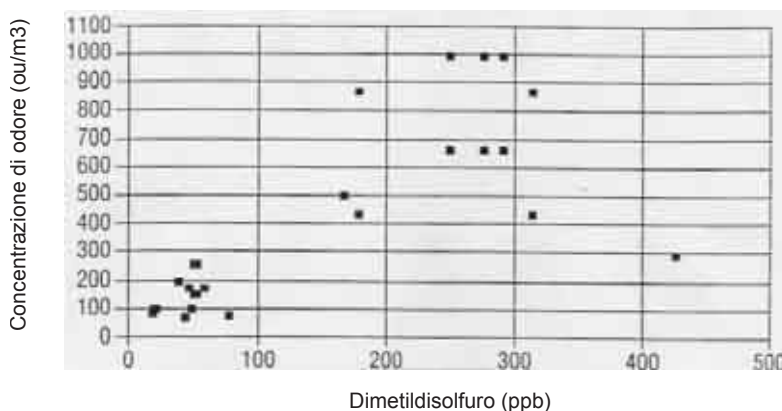


Figura 1 – Correlazione fra concentrazione di odore e concentrazione del composto (*Hentz et al., 1996*).

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 la esecuzione di campagne di misura relative alle emissioni di odori dalle attività zootecniche (Valli et al., 2000). 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).

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 sostanze odorose che porta alla 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). 1 O.U. è la quantità di odorante che, diluita in 1 m³ di aria esente da odore, corrisponde a uno stimolo appena percettibile per l'olfatto umano.

Lo strumento utilizzato è l'**olfattometro** (figura 2) che consente:

- 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;
- la registrazione delle risposte (sento/non sento);
- la elaborazione statistica dei risultati.

Soglia di percezione dell'odore

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%** (**ED₅₀** = Effective Dose at the 50% level);
- **Rapporto tra diluizione e soglia (D/T** = Dilution to Threshold);

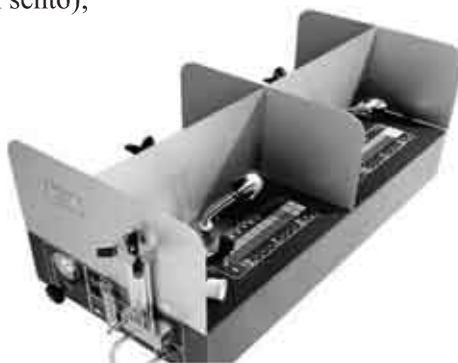


Figura 2 – L'olfattometro TO7 in dotazione del laboratorio olfattometrico del CRPA.

- **Unità di Odore (OU = Odor Unit):** questa grandezza, nonostante sia adimensionale, viene convenzionalmente espressa in forma di concentrazione (OU/m^3 di aria) in modo da poterla trattare alla stessa stregua delle concentrazioni degli altri inquinanti dell'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^3 .** Per fare un esempio se la soglia di odore risulta pari a 2000 OU/ m^3 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 maschera di annusamento e risponde “si” o “no” alla domanda “si sente 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 concentrazione di odore progressivamente crescenti, intervallate da “bianchi”, ossia campioni di aria neutra, per controllare l'attendibilità delle risposte dei ri-noanalisti;
- **metodo della scelta forzata:** il giudice annusa l'aria proveniente da più di una maschera, delle quali solo una contiene il campione odoroso diluito; il giudice deve comunque decidere quale contiene l'odore. La tecnica della scelta forzata è meno soggetta a errori che derivino 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, **NVN2820** per Olanda. A livello comunitario è attualmente in via di approvazione una norma CEN relativa alle caratteristiche costruttive di un olfattometro e alle procedure da mettere in atto nella effettuazione delle misure della concentrazione di odore: **prEN 13725** - Air quality - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry.

La possibilità di quantificare una emissione di odore in termini di concentrazione consente la applicazione di modelli matematici di ricaduta al suolo per prevedere a che distanza dall'emissione l'odore diventa non più percettibile o accettabile. Questo tipo di valutazione risulta essenziale nella definizione di criteri normativi, nella pianificazione di nuovi insediamenti, nella definizione di strategie di abbattimento.

8. LA NORMA EUROPEA SULLE MISURE OLFATTOMETRICHE

La norma europea **prEN 13725** è relativa alla determinazione della *concentrazione di odore mediante olfattometria dinamica*.

Le prescrizioni in essa contenute relative alle misure olfattometriche riguardano:

- **le modalità di selezione e di gestione del panel:** la selezione viene effettuata utilizzando un odorante di riferimento: il n-butanolo, del quale si conosce la concentrazione corrispondente alla soglia di percezione: 123 μg di n-butanolo evaporati in 1 m³ di aria in condizioni standard ($t=20^\circ\text{C}$; $p=101.3\text{ kPa}$) producono una concentrazione di 0.040 $\mu\text{mol/mol}$, che viene definita come **1 EROM = European Reference Odour Mass**, valore di riferimento adottato come Unità di Odore Europea = **OU_E**. Per essere selezionato come rino-analista il soggetto deve fornire risposte che cadono, in **media**, entro un certo intervallo di valori, quando viene loro presentata a una definita concentrazione del n-butanolo e le risposte devono scartare poco le une dalle altre (bassa **deviazione standard**). La selezione deve essere effettuata preventivamente all'inserimento del soggetto nella commissione e anche successivamente con regolarità, dopo un certo numero di test;
- **le modalità di campionamento:** il campione di aria odorosa viene raccolto in un sacchetto di capacità sufficiente allo svolgimento di un test. Il campionamento deve avvenire evitando che l'aria odorosa campionata entri in contatto con materiali diversi da quelli ammessi per l'olfattometria; questo si ottiene con un dispositivo di campionamento a "vacuum" (*figura 3*); il campione deve essere analizzato entro 30 ore dal prelievo;
- **i materiali** per la costruzione dell'olfattometro e per i dispositivi di campionamento, che devono essere inerti, in modo da evitare sia adsorbimento che desorbimento: sono ammessi acciaio inox, vetro, alcune materie plastiche (FEP, teflon, PVF, tedlar, PET, nalophan);
- **i requisiti di qualità** delle prestazioni dello strumento, che devono essere valutati controllando i risultati ottenuti, con il panel selezionato, in una serie di test effettuati su un odorante di riferimento, la cui concentrazione di odore sia nota. I test devono essere periodicamente ripetuti e i controlli di qualità devono essere effettuati relativamente alla **ripetibilità** e all'**accuratezza** delle misure, che devono essere valutate secondo precisi parametri;
- le modalità di **calibrazione**, che deve essere effettuata con adeguata frequenza utilizzando un gas di riferimento (CO);



Figura 3 – I campionatori “a vacuum” per il prelievo dei campioni di aria osmogena

- le modalità di **presentazione dei campioni e di gestione delle sessioni di misura**: vengono date indicazioni relativamente a tempi inter-stimolo, numero e ordine delle presentazioni, passo fra le successive diluizioni, numero di “bianchi”, numero di ripetizioni, ecc.;
- le modalità di registrazione, elaborazione e presentazione dei **risultati**: vengono date indicazioni relativamente ai parametri che è necessario registrare relativamente al prelievo del campione, alla effettuazione della misura, alla elaborazione dei risultati, alla loro presentazione e archiviazione. E’ previsto ad esempio che, nella elaborazione dei risultati dei singoli test olfattometrici, vengano effettuati dei controlli sulla affidabilità delle risposte dei singoli rinoanalisti, verificando 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 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.

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 4*). 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)

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

dove: I = intensità percepita

k_w = costante di Weber-Fechner

C = concentrazione di odore

C_o = concentrazione soglia

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

ovvero

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

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

k_s = costante di Stevens

C_o = concentrazione soglia

L’utilità della valutazione della relazione intensità-concentrazione nel controllo degli odori sta nella possibilità di stimare la 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 (figura 4).

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 4) con punteggi da 0 a 6 cui vengono associate espressioni del tipo: 0 = nessun fastidio, 6 = fastidio intollerabilmente serio.

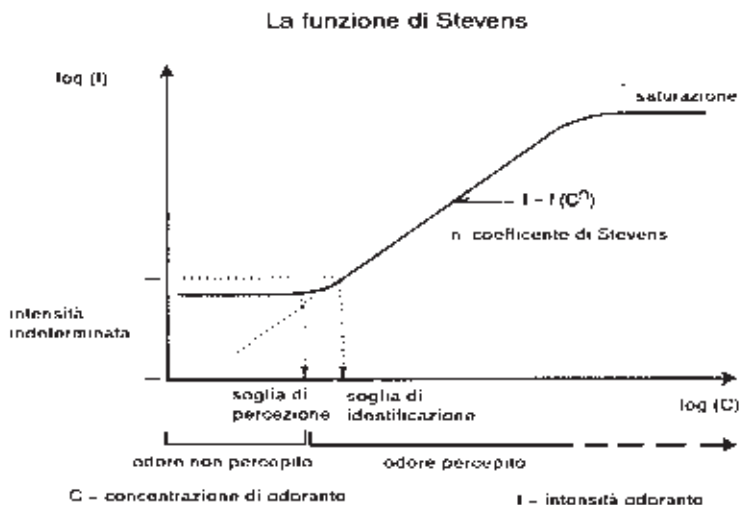


Figura 4 – Correlazione fra intensità e concentrazione di odore (legge di Stevens).

Tabella 4 – Scale di giudizio per intensità di odore e tono edonico.

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

Altri indici di quantificazione degli odori

Soglia di riconoscimento (TOC_{100}): 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 (TOC_{100}). Nella *tabella 5* viene riportata una lista di alcuni composti identificati presso un impianto di compostaggio, classificati secondo il loro indice di odore.

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).

Tabella 5 – Composti rilevati presso un impianto di compostaggio, catalogati secondo il loro indice di odore (*CRPA, 1999*).

Composto		INDICE DI ODORE		
		ALTO > 10 ⁶	MEDIO > 10 ⁴ e < 10 ⁶	BASSO < 10 ⁴
metiletilchetone	chetone	*		
2-butanolo	alcool			*
tricloroetilene	alchene	*		
tetracloroetilene	alchene	*		
1,2-dicloropropano	alcano			*
dimetilsolfuro	solfuro	*		
benzene	aromatico			*
toluene	aromatico			*
xileni	aromatico			*
isobutile acetato	acetato			*
n-butile acetato	acetato			*
etile acetato	acetato (estere dell'ac. acetico)			*
acido propionico	acido carbossilico		*	
acido butirrico	acido carbossilico		*	
acido valerianico	acido carbossilico		*	
acido capronico	acido carbossilico		*	
terpeni	scheletro formato da unità di isoprene	*		

Tabella 6 – Entità delle emissioni odorose in diverse sezioni di due impianti di compostaggio (Haug, 1993).

Sorgente di odore	Concentrazione di odore nelle arie esauste aspirate dai cumuli		Indice superficiale di emissione di odore SOER	
	OU/m ³		m ³ /min m ²	
	Hampton	Filadelphia	Hampton	Filadelphia
Cumuli biossidazione			4.4	2.5
Cumuli maturazione			2.5	1.4
Cumuli condizionamento				1.7
Area raffinazione			0.4	1.8
Stoccaggio compost raffinato			0.4	1.4
Stoccaggio ricircolo chips			0.8	
Stoccaggio nuovi chips			0.2	
Stoccaggio fanghi				1.9
Cumuli biossidazione				
1a settimana	1030	153		
2a settimana	795	108		
3a settimana	520			
Cumuli maturazione				
1a settimana	300	62		
2a settimana	232	50		
3a settimana	152	19		
4a settimana	76			

Nella *tabella 6* viene come esempio riportata una lista di composti identificati presso impianto di compostaggio degli Stati Uniti, con le relative concentrazioni e indici superficiali di emissione di odore. Un indice superficiale di emissione (SOER) di 20 m³/min m² significa, ad esempio, che per ogni m² di superficie emittente è necessario un flusso di 20 m³/min di aria neutra per ridurre il livello di odore al valore di soglia di percezione.

9. LE MISURE DI TIPO ELETTRONICO

La misura degli odori effettuata utilizzando la strumentazione denominata “*naso elettronico*”, si basa sull’utilizzo di matrici di **sensori di tipo elettrochimico** (polimeri, semiconduttori), che rispondono alla presenza di molecole volatili modificando la propria resistenza elettrica. I sensori presenti nella matrice sono selezionati in

modo che la maggior parte delle molecole, che ci si aspetta di ritrovare nella miscela odorosa da analizzare, siano in grado di provocare la massima risposta in almeno uno dei sensori della matrice.

Analogamente alle misure di tipo analitico, queste determinazioni non richiedono la presenza umana nel passaggio valutativo, e quindi comportano il vantaggio di ottenere un dato oggettivo. A differenza delle stesse consentono però una valutazione complessiva della miscela osmogena, non limitata al singolo composto.

Il trattamento della informazione olfattiva avviene grazie a dei reticoli a neuroni artificiali regolati da algoritmi che permettono di scegliere le informazioni ottenute a partire dai diversi sensori, di assimilare le differenti risposte e di conseguenza di educare il naso elettronico. Questa fase di apprendimento permette di far acquisire allo strumento una “memoria” che si rivelerà essenziale per effettuare l’insieme di confronti fra le differenti atmosfere da studiare. Nella valutazione degli odori sgradevoli l’associazione della informazione elettronica a quella sensoriale del fastidio non può che avvenire però sulla base di comparazioni fra la risposta dello strumento con quella dell’uomo. E’ quindi inevitabile una fase di “istruzione” dello strumento basata sul confronto con misure olfattometriche.

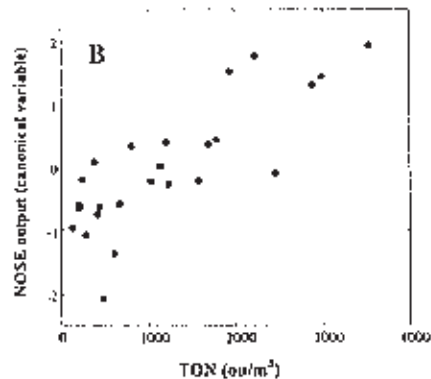
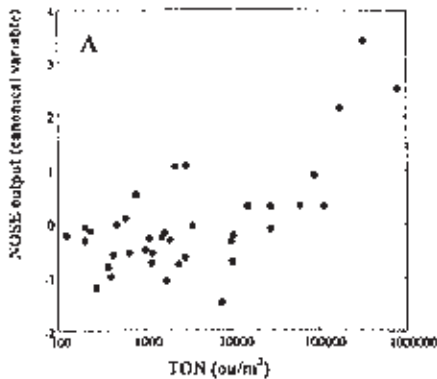
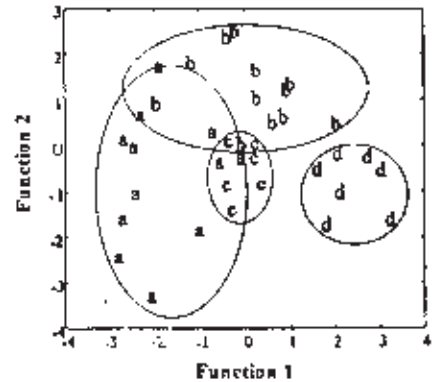
I sensori utilizzati nei nasi elettronici sono di tipo a semiconduttore o a polimeri conduttori. I sensori a ossidi metallici (semiconduttori) necessitano di essere riscaldati (300-350 °C) e sono in genere poco selettivi. I sensori a base di polimeri coprono un largo campo di selettività, ma sono meno sensibili e meno stabili degli ossidi metallici. Inoltre sono molto sensibili all’umidità dell’effluente gassoso. Sensibilità e selettività si oppongono a seconda del tipo di sensore ed è questo uno dei limiti maggiori per l’applicazione dei nasi elettronici agli odori provenienti da processi di degradazione della sostanza organica. Infatti per un effluente gassoso costituito da più di un centinaio di differenti composti chimici osmogeni che interagiscono uno con l’altro, il tutto in condizioni di polverosità e di umidità molto superiori alla media, la risposta dei nasi elettronici appare ancora insoddisfacente.

Questa tecnica di misura, essendo particolarmente adatta a una **caratterizzazione** e a una **discriminazione** degli odori più che a una loro quantificazione, si sta rapidamente sviluppando e diffondendo nel campo delle industrie alimentari (controllo di qualità dei prodotti) e degli aromi. Pare necessario invece ancora molto lavoro preliminare di ricerca applicata prima di avere commercialmente disponibile uno strumento che consenta una quantificazione di odori molesti.

Nella *figura 5* vengono riportati, come esempio, analisi di correlazione fra risposte ottenute con naso elettronico (NOSE) e misura olfattometrica (OU/m³), per campioni prelevati presso impianti di depurazione, i cui esiti si presentano non del tutto soddisfacenti.

Tuttavia alcune recenti esperienze di utilizzo di nasi elettronici nel settore del trattamento degli scarti organici hanno dato risultati che ne fanno prevedere positivi sviluppi (Sberveglieri et al. 2000).

Analisi delle discriminanti canoniche che mostrano la differenziazione di odori provenienti da 10 zone di impianti di depurazione (a) TON < 1000 OU/m³, (b) TON 1000-4000 OU/m³, (c) TON 4000-20000 OU/m³, (d) TON > 20000OU/m³ (Stuetz et al., 1999).



Analisi di correlazione canonica che mostra la relazione fra la risposta del NOSE e il TON (OU/m³). (A) campioni prelevati da 10 zone di un impianto di depurazione (scala log) e (B) campioni con TON < 4000 OU/m³ (Stuetz et al., 1999).

Figura 5 – Esempi di correlazione fra risposte ottenute con naso elettronico (NOSE) e misura olfattometrica (OU/m³).

10. 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 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, portate, 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 osmogenea 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 m^2 e diametro al camino di uscita pari a 0.2 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 ($\pm 3^\circ\text{C}$), la temperatura massima (25°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"**, ossia il giudice annusa l'aria da una sola maschera di annusamento e risponde "si" o "no" alla domanda "si sente odore?".

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 rino-analisti. 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/m³) 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.

In *figura 6* viene riportato un tabulato “tipo” di elaborazione dei risultati di una misura olfattometrica, in cui si vedono i controlli di affidabilità con le successive esclusioni, e i risultati del test che vengono espressi dal valore Z_{50} (concentrazione di odore = diluizione alla quale il 50% dei membri del panel ha fornito risposta positiva, espressa in ou/m^3), con i relativi parametri di variabilità statistica (Z_{16} e Z_{84} , che sono lo $Z_{50} + o -$ la deviazione standard, e i limiti inferiore e superiore dell’intervallo di confidenza al 95%, Z_{INF} e Z_{SUP}).

Laboratorio:			CRPA SpA			Note (Immettere il testo solo nella cella sottostante):								
Data della misura olfattometrica:			15/02/00											
Ora della misura olfattometrica:			14:59											
Nome della sessione di misura:			additivi 1											
Sorgente emissiva:			additivi											
Data del campionamento:			15/02/00											
Nome del campione:			neutrum 1											
Operatore all'olfattometro:			Marco											
Codice di archivio:			additivi - neutrum 1 - 15/2/2000											
Fattore di diluizione:			2											
Numero riga del record in archivio:			4											
Startstep	Risposta al test T07			Errori su aria di riferimento				Errori sul bianco						
	64000	64000	64000	Round			%	Round			% controllo			
Panelists	1	2	3	1	2	3	%	1	2	3	%	controllo		
frasil	64000	8000	8000	0	0	0	0%	0	0	0	0%	OK		
guiste	32000	16000	16000	0	0	0	0%	0	0	0	0%	OK		
bonlis	16000	8000	8000	0	0	0	0%	0	0	1	25%	escluso		
berdie	8000	8000	4000	0	0	0	0%	0	0	0	0%	OK		
iorrob	8000	8000	16000	0	0	0	0%	0	0	0	0%	OK		
artgio	8000	16000	8000	0	0	0	0%	0	0	0	0%	OK		
vallau	4000	16000	4000	0	0	1	3%	0	0	0	0%	OK		
mensil	16000	16000	8000	0	0	0	0%	0	0	0	0%	OK		
N° presentazioni reference air:				11	11	12								
- primo gruppo:														
- secondo gruppo:				11	10	12								
N° presentazioni bianco:								1	1	2				
- primo gruppo:								1	1	1				
- secondo gruppo:														
N° presentazioni odore:								7	7	8				
- primo gruppo:								7	6	8				
- secondo gruppo:														
Panelists	Primo screening			Z			Controllo -5 ≤ DZ ≤ 5	Secondo screening			Z			Controllo -5 ≤ DZ ≤ 5
	Soglia individuale = Z _{ITE}			Round				Soglia individuale = Z _{ITE}			Round			
Panelists	1	2	3	1	2	3		1	2	3	1	2	3	
frasil	90510	11314	11314	5.9	-1.3	-1.3	escluso							
guiste	45255	22627	22627	3.0	1.5	1.5	OK	45255	22627	22627	3.2	1.6	1.6	OK
bonlis														
berdie	11314	11314	5657	-1.3	-1.3	-2.7	OK	11314	11314	5657	-1.3	-1.3	-2.5	OK
iorrob	11314	11314	22627	-1.3	-1.3	1.5	OK	11314	11314	22627	-1.3	-1.3	1.6	OK
artgio	11314	22627	11314	-1.3	1.5	-1.3	OK	11314	22627	11314	-1.3	1.6	-1.3	OK
vallau	5657	22627	5657	-2.7	1.5	-2.7	OK	5657	22627	5657	-2.5	1.6	-2.5	OK
mensil	22627	22627	11314	1.5	1.5	-1.3	OK	22627	22627	11314	1.6	1.6	-1.3	OK
MEDIA Z _{ITE} = 15227							MEDIA Z _{ITE} = 14254							
Panelists	LogZ _{ITE}			Z			RISULTATI							
	Round			Round			Z							
Panelists	1	2	3	1	2	3	Z ₅₀	Z ₁₆	Z ₈₄					
frasil							14254	25519	7962					
guiste	4.7	4.4	4.4				Z ₅₀	Z ₁₆	Z ₈₄					
bonlis							41.5	2.5	2.5					
	4.1	4.1	3.8				DZ ₅₀	Z _{sup}	Z _{inf}					
iorrob	4.1	4.1	4.4				19134	10619						
artgio	4.1	4.4	4.1											
vallau	3.8	4.4	3.8											
	4.4	4.4	4.1											

Figura 6 – Tabulato tipo dei risultati di una misura olfattometrica.

11. RIFERIMENTI NORMATIVI SUGLI ODORI E LA LORO MISURA

Vengono riportati nel seguito alcuni brevi cenni ai principali riferimenti normativi relativi agli odori, con riferimento sia ai limiti di emissioni e di qualità dell'aria (immissioni), sia alla modalità di esecuzione delle misure olfattometriche.

Limiti alle emissioni e immissioni

Normativa nazionale

La normativa nazionale non prevede norme specifiche e valori limite in materia di emissioni o immissioni di odori.

Tuttavia indicazioni e criteri, finalizzati alla limitazione dell'impatto olfattivo di attività produttive, sono contenuti in alcune categorie di provvedimenti normativi, quali:

- norme relative all'**inquinamento atmosferico** e alla **qualità dell'aria** (DPR 203/88 e successivi provvedimenti applicativi). In particolare, per specifici agenti inquinanti, alcuni dei quali possono avere anche un impatto olfattivo, vengono riportati limiti alle emissioni (per impianti esistenti) nel DM 12 luglio 1990;
- **leggi sanitarie**: il R.D. 27 luglio 1934 n.1265, Capo III, art. 216 (**industrie insalubri**) e successivi decreti di attuazione e in particolare il D.M. 2 marzo 1987 (che contiene l'elenco aggiornato di tali industrie), riporta criteri finalizzati a limitare gli effetti delle molestie olfattive sulla popolazione attraverso prescrizioni relative alla localizzazione degli impianti;
- norme in materia di **rifiuti**: D.Lgs. 5 febbraio 1997 n. 22, DM 5 febbraio 1998 "Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del D.Lgs. 5 febbraio 1997, n. 22" contengono indicazioni sui requisiti degli impianti ai fini del contenimento delle emissioni in atmosfera, con esplicito riferimento agli odori;
- **linee guida regionali** e/o direttive tecniche, per il rilascio delle autorizzazioni. Tali atti normativi sono volti a identificare le tipologie e i requisiti minimi dei presidi ambientali e dei sistemi di trattamento dell'aria per limitare al minimo l'impatto delle emissioni. Nella *tabella 7* vengono riportate alcune delle indicazioni, contenute in linee guida regionali, relative ai parametri costruttivi e di funzionamento dei biofiltri. In un caso specifico, quello della Regione Lombardia, sono stati individuati valori limite alle emissioni di odori da determinarsi con metodo olfattometrico.

Recentemente anche in Italia, come già da maggior tempo in altri paesi europei, si registra una crescente attenzione da parte delle Istituzioni preposte, sia a livello locale (Regioni) che nazionale (ANPA), alla definizione di norme che tengano conto del rischio dei fastidi olfattivi, quantificandoli in termini oggettivi sulla base dell'effetto osmogeno prodotto.

La prima legittimazione in sede normativa dei metodi sensoriali di misura degli odori è della Regione Lombardia che, nell'ambito delle Linee guida per la costruzione

Tabella 7 – Raccomandazioni tecniche contenute in linee-guida di alcune Regioni circa i parametri strutturali e operativi dei biofiltri.

Parametri	Unità di misura	Lombardia	Veneto	Emilia-Romagna
Atto normativo		Linee guida sugli impianti di compostaggio, (Del. G.R. 03/08/99)	Linee guida sugli impianti di compostaggio, (Del. G.R. 10/03/00)	Linee guida per l'autorizzazione alle emissioni, approvate dal CRIAER nel 1991
portata specifica	(m ³ /m ² *h)			100-500
portata specifica	(m ³ /m ³ *h)	100	< 120	
tempo di contatto	(s)	≥ 35	≥ 30	
altezza strato filtrante	(m)	≥ 0,8 e ≤ 2	< 1,5	> 0,5 e < 1
pH			5-8,5	4,5-6,5
umidità materiale	(%)	45	50-70	25-50
temperatura esercizio	(°C)			< 40°
temperatura aria ingresso	(°C)		10°- 45°	
perdite di carico	(mmH2O)			10-1000
ulteriori prescrizioni		- limiti alle emissioni di odore < 200 OU/m ³ ; - copertura del biofiltro in particolari condizioni (elevata piovosità, localizzazione critica)	si richiede umidificazione, rimozione percolato, strumentazione di controllo umidità	

e l'esercizio degli impianti di compostaggio (Delibera della Giunta Regionale della Lombardia del 3 agosto 1999), stabilisce un valore-limite di 200 UO/m³ alle emissioni a valle dei biofiltri per il trattamento delle arie esauste, determinati con il metodo dell'olfattometria dinamica. Tali linee guida tuttavia sono al momento soggette a una revisione e completamento e ne è prevista a breve l'effettiva entrata in vigore.

Normative di altri paesi europei

L'unico paese europeo che ha introdotto a livello normativo limiti alle emissioni di odori è l'**Austria** che ha promulgato di recente una disposizione (*ONORM S2205-1, 1997*), sempre relativa a impianti di compostaggio, nella quale si fissano limiti alle emissioni, a valle degli impianti di abbattimento, pari a 300 UO/m³. Vengono inoltre fissati limiti di emissione di 5.000 U.O./s per gli impianti con portate fino a 60.000 m³/h. Per impianti con portate superiori a 60.000 m³/h i limiti alle emissioni di odore dovranno essere determinati caso per caso. La metodica indicata per la misura delle sostanze osmogene è quella dell'olfattometria dinamica (VDI 3881).

La **Germania** è il paese europeo che più di altri si è dotato di una organica normativa sugli odori, costituita da una legge quadro sulle emissioni (BundesImmissionschutzgesetz), cui si affiancano le TA Luft (linee tecniche per la prevenzione dell'inquinamento dell'aria) e la Direttiva sugli odori (approvata dal Comitato dei Laender 13 maggio 1998). Mentre le prime due normative contengono prescrizioni di carattere generale e metodologiche, in quest'ultima sono contenuti più specifici criteri e parametri per il rilascio delle autorizzazioni e per la valutazione della compatibilità delle

installazioni esistenti, includendo indicazioni relative alle modalità di valutazione dei fastidi olfattivi, valutati in termini di immissioni di odori.

Sino ad ora in questo quadro di riferimento le disposizioni tecniche sulle emissioni hanno tuttavia assunto connotati spiccatamente locali; le disposizioni tecniche attuative dei diversi Länder, pur nel quadro di riferimento generalmente condiviso della valutazione olfattometrica, hanno in effetti adottato diversi approcci per l'individuazione dei valori-limite ed metodi di elaborazione delle determinazioni olfattometriche stesse (con adozione ad es. del "flusso di odore", dato dal prodotto della concentrazione di odore per la portata in emissione nell'unità di tempo, e misurato in OU/sec); allo stato attuale è invece insediata una Commissione per l'individuazione di valori-limite univoci a livello nazionale; tale commissione ha già licenziato un *Gründruck* (bozza) contenente l'indicazione del valore-limite per la concentrazione di odore in uscita dai sistemi di presidio pari a 300 OU/m³.

I requisiti di qualità dell'aria sono espressi in termini di "massima frequenza di odore", intendendo con questa la frequenza relativa di ore nelle quali si verifica nell'ambiente un odore chiaramente percettibile. Questa non deve risultare superiore al 10% per le aree residenziali e al 15% per le aree industriali. Questo significa, ad esempio, che in un'area residenziale la qualità dell'aria ambiente deve essere tale che le ore in cui l'odore risulta chiaramente percepibile devono risultare inferiori al 10% del totale delle ore dell'anno: oltre tale valore il disturbo causato viene considerato rilevante.

Esecuzione delle misure olfattometriche

In Europa, Germania, Francia e Olanda hanno da tempo promulgato norme tecniche o linee guida per la esecuzione di misure olfattometriche secondo i principi dell'olfattometria dinamica, sia per quanto riguarda la misura della concentrazione di odore, che della intensità e accettabilità dell'odore (per **Germania**: Associazione Tedesca degli Ingegneri: **VDI 3881**, Olfattometria. Determinazione della soglia di odore; per **Francia**: (AFNOR) **NF X 43-101** (Dicembre 1986): Qualità dell'aria, metodi di misura degli odori di effluenti gassosi; **NF X43-104**, Luglio 1995. Qualità dell'aria, Metodi di prelievo (finalizzata alla misura degli odori); per **Olanda**: Ente olandese di normazione. NVN2820. Qualità dell'aria. Analisi sensoriale attraverso l'uso di olfattometro).

La imminente emanazione (prevista entro il 2002) della norma europea **prEN 13725** "Air quality - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry", precedentemente illustrata, renderà omogenee le modalità operative fra i diversi paesi, per quanto attiene alle determinazioni della concentrazione di odore.

BIBLIOGRAFIA

- Haugh R.T. (1993) - *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers, Boca Raton, USA.
- Hentz L.H., Toffey W.E. Schmidt C.E. (1996) – *Understanding the synergy between composting and air emissions*, Biocycle, March.
- Sberveglieri G., Pardo M., Nelli P., Niederjaufer G. (2000) – *Il Naso elettronico a film semiconduttori. Uno strumento per la valutazione degli odori emessi da impianti di trattamento dei rifiuti*, Atti della Conferenza ANPA “L’inquinamento olfattivo. Metodi di misura degli odori”, Roma, 11 settembre 2000.
- Stuetz R.M. Fenner R.A., Engin G. (1999) – *Assessment of odours from sewage treatment works by an electronic nose, H₂S analysis and olfactometry*, Wat Res. Vol33, No. 2. Pp 453-461.
- Valli L. Bonazzi G., Piccinini S. (2000) – *Misura delle emissioni di odori da attività produttive: il caso degli allevamenti zootecnici*, Atti della Conferenza ANPA “L’inquinamento olfattivo. Metodi di misura degli odori”, Roma, 11 settembre 2000.
- Wengenroth, K. (2000) - *New standards for exhaust air cleaning in mechanical-biological waste treatment plants*. HerHof Mailbox, Vol 5, n° 1, HerHof Umwelttechnik, Solms-Niederbiel, Germania, 2000.
- Wilber C. e Murray C. (1990) – *Odour source evaluation* – Biocycle, March.
- Williams T.O., Miller F.C. (1992) – *Odor control using biofilters* – Biocycle, October.