

## Capitolo 6

# STRUMENTI PER LA RISOLUZIONE DEI PROBLEMI DEGLI ODORI

### 6.1 – STRUMENTI DI RILEVAZIONE DEGLI ODORI: IL NASO ELETTRONICO

#### 6.1.1 – L'esigenza di superare i limiti delle misurazioni tradizionali

Come già detto nel par. 1.2 le metodologie di analisi degli odori fino ad ora utilizzate sono quelle olfattometriche e quelle analitiche.

Le analisi olfattometriche, e quindi il naso umano, restano lo strumento primario usato per la valutazione dell'odore. Esse si basano su sensazioni fisiologiche umane, danno come risultati sia un giudizio edonico sull'odore sia il riconoscimento del valore della soglia di percezione di una sostanza.

L'utilizzo del Panel Test (analisi olfattometriche) è però un metodo dispendioso dal punto di vista della laboriosità, del denaro e del tempo (gli esperti possono lavorare solo per periodi di tempo limitati, perché il sistema olfattivo va incontro ad assuefazione– cfr. Cap. 1 –).

Il limite maggiore delle analisi olfattometriche sta nel fatto che i risultati con esse ottenute non sono riproducibili e sono fortemente soggettivi.

I metodi analitici possono misurare le proprietà chimico-fisiche di un campione. Tecniche classiche sono quelle chemiometriche e la gas cromatografia, esse si basano sulla separazione della miscela nelle singole specie chimiche e sulla successiva identificazione di ciascuna di esse per confronto con un modello noto.

Essi forniscono dati precisi sulla composizione chimica dell'aria analizzata, sulle interrelazioni dei singoli costituenti in una miscela (che possono mascherare o esaltare l'odore) e sul loro grado di tossicità e conseguentemente sul grado di pericolosità dell'aria analizzata.

Essi però risentono dei limiti delle apparecchiature utilizzate che non sono di semplice e rapido utilizzo.

Il limite maggiore dei metodi analitici è che non riescono a dare un giudizio complessivo sulle caratteristiche e sulle proprietà dell'odore della miscela che analizzano, che è dovuto alle relazioni tra tutte le componenti che essi analizzano separatamente.

La crescente importanza che si accorda alla tematica degli odori ha spinto la tecnologia a creare strumenti particolari adatti all'analisi dell'odore, con i quali bypassare i problemi posti dai metodi classici.

Questi strumenti ricadono sotto il termine generico di “Naso elettronico”.

Lo sviluppo di queste tecnologie è stato promosso soprattutto dall'utilizzo che sempre più spesso se ne fa nell'industria agroalimentare, ma adesso anche in campo clinico ed in quello ambientale.

- Le industrie alimentari lo utilizzano per seguire e testare la qualità delle varie fasi di processo (si pensi ai lunghi processi di lavorazione di latte, caffè, olio, formaggi, vino ecc.).
- In campo medico le applicazioni sono innovative: il naso elettronico può diagnosticare un tumore ai polmoni semplicemente analizzando il respiro del paziente.
- Inoltre in campo ambientale lo si può utilizzare per la valutazione dell'impatto ambientale dovuto ad odori derivanti da impianti industriali, discariche e impianti di trattamento delle acque reflue.

### 6.1.2 – L'emulazione del sistema olfattivo: il naso elettronico

Il naso elettronico è uno strumento utilizzato per le analisi di sostanze gassose che emula la struttura e la fisiologia del sistema olfattivo umano. E' un congegno elettronico che, seppur con un certo grado di approssimazione rispetto agli organi olfattivi naturali, riesce a sentire e riconoscere gli odori che esamina.

Esso è costituito da:

- un sistema di flussaggio che emula l'azione meccanica del sistema respiratorio; esso è composto da una micropompa che crea un flusso di aspirazione costante ed una serie di microelettrovalvole che convogliano gli odori;
- una camera di misura, corrispondente alla cavità nasale, nella quale sono posizionati i sensori;
- un elemento sensibile a tecnologia diversificata (con relativo sistema di controllo) che è sensibile alle sostanze gassose e che traduce in un segnale elettrico la propria risposta all'interazione con le sostanze bio-chimiche. Un certo numero dello stesso elemento sensibile costituisce l'array (insieme) dei sensori che, nel naso elettronico, simulano i bulbi olfattivi.
- un sistema di controllo che gestisce e monitora tutto il processo di misurazione, l'acquisizione della frequenza di ogni sensore, la loro memorizzazione e tutto il sistema di comunicazione bidirezionale con il computer;
- un sistema di stabilizzazione termica che è un sistema a feedback negativo che controlla costantemente la temperatura nella camera di misura e la regola opportunamente;
- un sistema di controllo centrale rappresentato da un PC, collegato a tutta la strumentazione, che permette di impostare tutti i valori desiderati e di controllare lo svolgimento dell'intero processo;
- un sistema software di elaborazione dei dati che è un software che utilizza logiche ed algoritmi che correlano i segnali elettrici generati dagli elementi sensibili con due parametri dell'odore misurato: l'intensità e la tipologia (dando così una risposta quantitativa ed una qualitativa). Per fare ciò, oltre alle tradizionali tecniche statistiche di regressione, recentemente sono utilizzate anche tecniche basate su reti neurali;
- una banca dati che contiene tutti i modelli noti con cui fare il paragone durante l'elaborazione dei dati dei sensori. Essa memorizza informazioni sia sull'intensità dell'odore sia sulle caratteristiche dell'odore; è dall'analisi di questi due fattori che deriva il profilo caratteristico dell'odore di quella particolare sostanza analizzata. Naturalmente quanto più vasta sarà la banca dati tanto più il sistema sarà applicabile alle più svariate situazioni.

Il naso elettronico è uno strumento analitico che può descrivere un odore senza riferimento alla sua composizione chimica.

Esso garantisce la massima oggettività della risposta e risultati più riproducibili rispetto a quelli del panel test, risponde molto più tempestivamente ed è più facile da gestire.

Seppure in maniera limitata rispetto al naso umano, esso riesce fare generiche considerazioni qualitative sull'odore tramite confronto con odori noti, piacevoli e non.

E' in grado, inoltre, di analizzare campioni d'aria in cui la concentrazione dell'odore è estremamente bassa, e preventivamente programmato, inserendo un sistema di correlazione tra i dati dei sensori e le unità di odore, U.O., riesce a stimare la quantità di odore presente nell'aria che analizza.

Rispetto ai metodi analitici classici, inoltre, il naso elettronico è indubbiamente più veloce e di più facile applicazione.

Esso fornisce un responso generale sull'odore, con informazioni relative all'impatto sensoriale dovuto all'insieme dei composti.

Il naso elettronico è, infatti, capace di rilevare i principali elementi che determinano un odore, fornendo una conoscenza sia quantitativa sia qualitativa dei componenti aromatici che esalano dalla sostanza testata.

Il risultato delle analisi è un indicatore complessivo dell'odore analizzato, utile quando si esaminano odori di miscele complesse, come gli aromi degli alimenti o gli odori di processi industriali, soprattutto quando essi devono rappresentare un giudizio sulla qualità generale del sistema.

Allo stato attuale delle conoscenze, il naso elettronico è inoltre lo strumento migliore per la concreta valutazione dell'entità del disturbo provocato dall'odore, potendo essere utilizzato come valida integrazione ai metodi di analisi attualmente utilizzati.

### ***L'elemento sensibile***

È importante sottolineare che, così come le cellule recettrici naturali, i sensori utilizzati dal naso elettronico sono a-specifici, non riconoscono cioè un'unica sostanza, ma ognuno di essi è in grado di analizzare diverse caratteristiche dell'odore.

Essi sono costituiti da una membrana sintetica, corrispondente a quella lipidica presente nelle cellule recettrici naturali, la quale riesce a legarsi con le molecole odorose.

Esistono differenti membrane che possono legare differenti tipi di molecole ed è proprio questo elemento che caratterizza i diversi modelli di sensori disponibili sul mercato.

Per ottenere una panoramica di tutte le caratteristiche "odorose" del campione vengono adoperate differenti membrane, che consentono di abbracciare tutte le possibili emanazioni della sostanza, sfruttando la grande selettività delle diverse superfici di ogni sensore aspecifico, che riesce ad analizzare parecchie migliaia di specie chimiche.

Sono ormai disponibili sul mercato una gran quantità di sensori differenti suddivisibili in due grandi categorie: i sensori detti "freddi" e quelli detti "caldi".

Nelle tabb. 15 e 16 sono riportati alcuni dei sensori più comunemente utilizzati e le loro caratteristiche.

Sensori freddi		
TIPI DI SENSORI	COSTITUZIONE E MODALITA' D'AZIONE	COMMENTI
Sensori a polimeri organici di conduzione ( <b>CP</b> , Conducting Organic Polymers)	<p>Sono costituiti da un substrato in silicio, da un paio di elettrodi placcati d'oro e da un polimero organico conduttore (come polianilina, politiofene e polipirrolo).</p> <p>Imponendo un potenziale agli elettrodi, si fa passare una corrente elettrica attraverso il polimero conduttore. Il legame con un composto volatile ne altera la superficie con conseguente modificazione del flusso di corrente e quindi della resistenza del sensore.</p>	<p>La selettività è abbastanza elevata.</p> <p>Buona la riproducibilità delle analisi.</p> <p>Tempi brevi per il ritorno delle resistenze al punto di partenza.</p> <p>Sono molto influenzati dall'umidità e quindi inutilizzabili in campioni liquidi ed all'aria aperta.</p>
Sensori ad onde acustiche ( <b>BAW</b> , Bulk Acoustic Wave)	<p>Questi sensori utilizzano cristalli piezoelettrici. Applicando un potenziale elettrico alternato, il cristallo vibra con una caratteristica frequenza molto stabile, dipendente dalle sue proprietà fisiche. Quando la sua superficie esterna viene esposta ad un vapore, assorbe certe molecole che ne aumentano la massa e quindi ne diminuiscono la frequenza di risonanza. La frequenza di risonanza è costantemente monitorata ed il suo cambiamento rappresenta il segnale del sensore.</p>	<p>Può raggiungere una buona sensibilità.</p> <p>Problemi di riproducibilità nella produzione commerciale dei campioni.</p> <p>Per ottenere risultati significativi, hanno bisogno di alte concentrazioni della sostanza.</p> <p>Sono molto sensibili a cambiamenti di umidità e temperatura</p>

Tab. 15 – Alcuni sensori “freddi” con relative caratteristiche.

I sensori detti, invece, “caldi” hanno dimostrato maggiore versatilità per le misure in campo ambientale e su campioni ad alto contenuto d’acqua.

Sensori caldi		
TIPI DI SENSORI	COSTITUZIONE E MODALITA' D'AZIONE	COMMENTI
<b>MOSFET</b> Metal Oxide FET (transistor a effetto di campo ad ossido di metallo)	<p>Questi sensori si basano sul cambiamento del potenziale elettrostatico.</p> <p>Sono composti da tre costituenti: un semiconduttore in silicio, un isolante ad ossido di silicio ed un metallo catalitico (come platino o palladio).</p> <p>Operano come un transistor a cui viene applicato un potenziale che influisce sulla sua conduttività. Quando una molecola polare si lega al metallo, modifica il campo elettrico e quindi anche la corrente che fluisce attraverso il sensore. Il segnale del sensore è rappresentato dal cambiamento di voltaggio necessario per riportare la corrente al valore iniziale</p>	<p>Estremamente utili per applicazioni in campo ambientale, in campo alimentare e nel packaging.</p> <p>Non sono utilizzabili per realizzare strumenti portatili, perché estremamente delicati ed quindi inadatti al trasporto.</p>

<b>MOS</b> Metal Oxide Semiconductor (semiconduttori ad ossidi di metallo)	I sensori a semiconduttori si basano su cambi di conducibilità provocati da reazioni superficiali dovute all'adsorbimento del gas da analizzare. Attraverso i sensori passa una corrente elettrica che causa l'ossidazione delle molecole del gas(per trasferimento di elettroni dal gas all'ossido metallico) Questa reazione provoca un cambiamento nella resistenza, il quale viene registrato e relazionato alla quantità di composti adsorbiti.	Meno selettivo di altri tipi di sensori. Può essere soggetto ad avvelenamento. Il risultato può essere influenzato dalla presenza di solventi La possibilità di poterli riscaldare a diverse temperature permette ottenere segnali analitici detti "dedicati"
---	--	--

**Tab. 16** – Alcuni sensori "caldi" con relative caratteristiche.

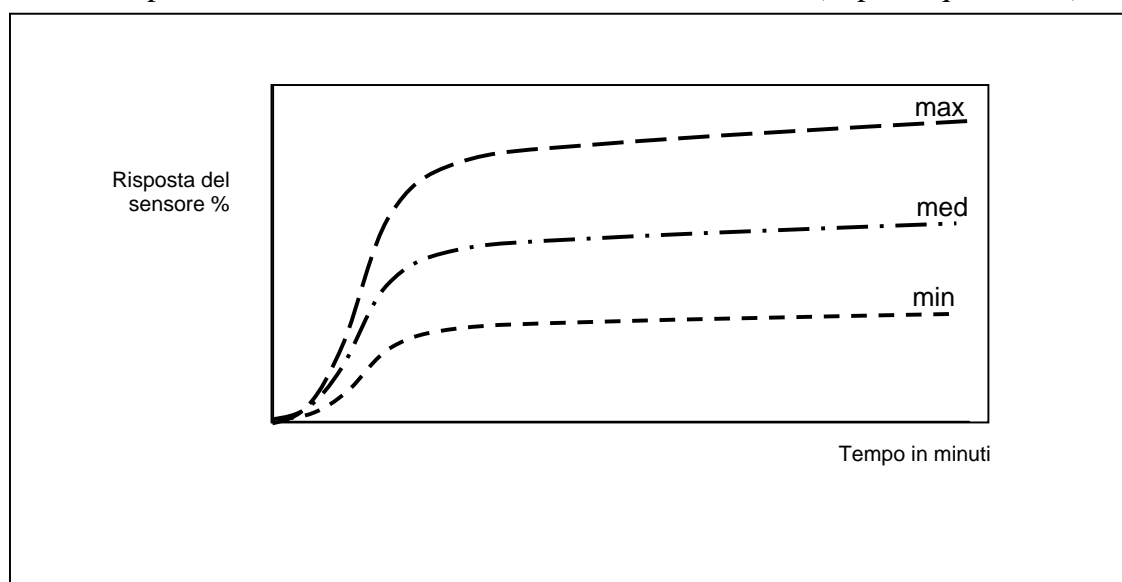
Combinati con quelli di tutti gli altri, i dati di ogni sensore consentono al software di elaborazione del naso elettronico di creare un profilo caratteristico di quell'odore, unico come un'impronta digitale, il quale è analogo alla sensazione di un odore che è memorizzata la prima volta dal cervello umano.

Semplificando, il software di elaborazione funziona effettuando analisi di correlazione tradizionali per trovare delle relazioni tra una serie di variabili dipendenti (il dato da misurare) ed una serie di variabili indipendenti (la risposta dei sensori).

Inizialmente esso riduce la dimensionalità della risposta dei sensori, attraverso analisi statistiche multivariate, in modo tale da poter osservare le relazioni trovate in una o due dimensioni.

I risultati delle analisi dei dati possono essere rappresentati usando diversi formati grafici che permettono di visualizzare in maniera immediatamente comprensibile i risultati delle misure, di confrontare più campioni oppure di fare una media dei dati di un certo numero di analizzatori.

Un esempio di un tipo di risposta del naso elettronico è riportato in fig. 32. L'uso di un certo numero di sensori darà in output altrettante linee a diverso andamento, ognuna delle quali sarà la risposta di un sensore ad una caratteristica dell'odore (risposta qualitativa)



**Fig. 33** – Andamento delle risposte dei sensori: agli estremi, essi possono avere una risposta lenta, se si saturano subito (min) oppure una risposta veloce, se si saturano più lentamente (max) ( tratto da Stuetz R.M., Fenner R.A., 2001).

**Strumentazioni disponibili sul mercato**

Una grande quantità di compagnie producono sensori e apparecchiature del naso elettronico.

Molte di queste apparecchiature permettono l'utilizzo di diversi tipi di sensori, riuscendo ad essere così efficaci negli ambienti più diversi.

La maggior parte di essi hanno precisi sistemi di controllo della temperatura del campione ed un efficace sistema di controllo della camera dei sensori. Normalmente il campione da analizzare viene riscaldato o miscelato in un contenitore chiuso o in una fiala e viene campionato direttamente lo spazio di testa.

L'analisi dello spazio di testa del campione richiede normalmente circa 2 minuti ed altri 4-10 minuti servono affinché i sensori ritornino al loro stato di partenza (devono ripulirsi prima di effettuare una successiva misurazione).

Visto che per l'analisi dei dati e per il controllo degli strumenti il sistema ha bisogno di un *host computer*, le compagnie produttrici offrono, insieme con la strumentazione, specifici software per l'acquisizione e la visualizzazione dei dati e danno la possibilità di avere collegamenti diretti con funzionalità particolari come fogli elettronici (tipo Microsoft Excel) o con programmi di statistica (tipo Unistat o Statistica), per rendere più dettagliate le analisi dei dati.

Nella tab. 17 sono riportati alcuni modelli di naso elettronico ed i riferimenti delle compagnie produttrici.

PRODUTTORE	MODELLO
Alpha MOS, Francia (www.alpha-mos.com)	Fox 2000, 3000,4000,5000, AlphaKronos, AlphaPrometheus, AlphaCent
Bloodhound Sensors, UK (www.bloodhound.co.uk/ bloodhound)	BloodhoundBH114
Cyrano Sciences, USA (www.cyranosciences.com)	Cyranose 320
Etherdata, Islanda (www.etherdata.is)	FreshSense
HKR Sensorsysteme, Germania (www.home.t-online.de)	QMB6/HS40XL
Hewlett Packard, USA (www.hp.com)	HP4440A
Lennartz Electronic, Germania (www.lennartz-electronic.de)	MOSES II
Marconi Applied Technologies,UK (www.marconitech.com)	eNose5000,ProSat
MoTech Sensoric, Germania (www.motech.de)	VOCmeter, VOCcheck
Nordic Sensor Technologies, Svezia (www.nordicsensor.se)	NST 3210, NST 3220, NST 3220A
Osmtech, UK (www.osmtech.co.uk)	MultiSampler-SP
PCA Technologies (www.pcatech.it)	PEN 2, EN-EDU, i-PEN
RST Rostock, Germania (www.rst-rostock.de)	Sam
Smart Nose, Svizzera (www.smartnose.com)	NOSE-300

Technobiochip, Italia (www.technobiochip.com)	LIBRA NOSE
WMA Airsense, Germania (www.airsense.com)	PEN

Tab. 17 – Modelli di naso elettronico.

### 6.1.3 – L'applicazione del naso elettronico nel monitoraggio delle acque reflue

Il naso elettronico, nato per l'industria alimentare, può essere utilmente utilizzato anche negli impianti di smaltimento delle acque reflue.

I profili dell'odore restituiti in output dalle analisi effettuate dal naso elettronico possono infatti costituire una sorta di carta d'identità dell'impianto se utilizzato per distinguere ed identificare precisamente differenti tipi di odore, come quelli derivanti da diversi impianti oppure da differenti unità di processo.

Le correlazioni statistiche tra le risposte dei sensori e la concentrazione dell'odore dimostra che il profilo di un odore creato dal naso elettronico può essere un valido indicatore della concentrazione dell'odore nell'aria analizzata (risposta quantitativa, fig. 5.2).

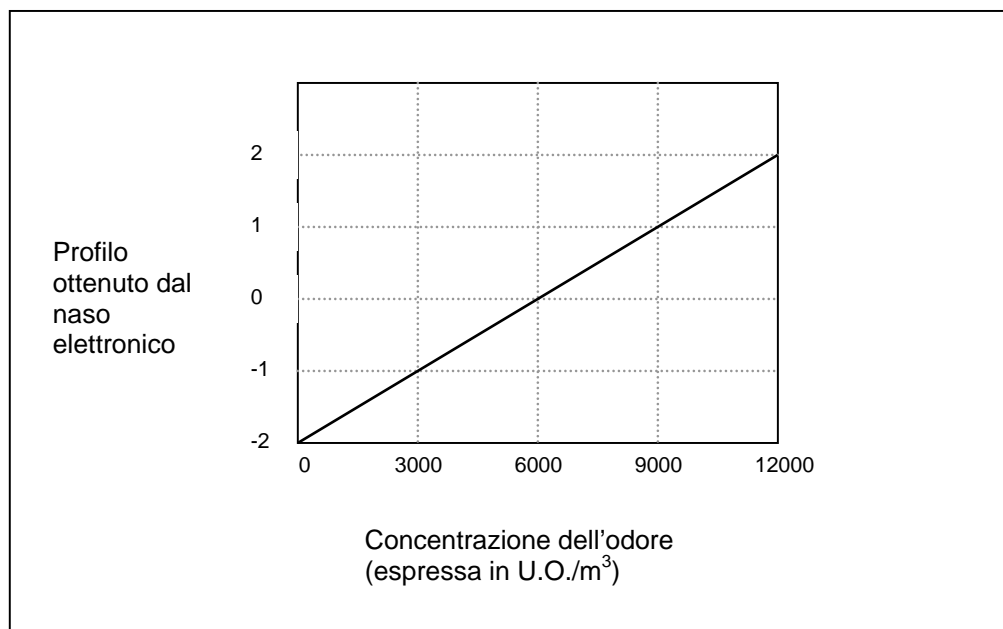


Fig. 34 – Correlazione statistica tra la risposta del naso elettronico e la concentrazione dell'odore (tratto da Stuetz R.M. et al., 2000).

Il naso elettronico può anche testare campioni liquidi e quindi a dare informazioni sul potenziale odore che essi possono sprigionare.

In un impianto di smaltimento delle acque reflue il naso elettronico può essere utilizzato inoltre per testare dei parametri operativi caratteristici dei reflui come il BOD, il COD ed il TOC.

Attraverso l'utilizzo di tecniche statistiche multivariate, infatti, si può mettere in relazione il profilo dell'odore, misurato passando il naso elettronico al di sopra dei liquami, con i corrispondenti valori di BOD, COD e TOC.

Anche se la relazione tra il valore del BOD e l'output del naso elettronico, misurata su lungo periodo, non è perfettamente lineare, essa è sufficientemente vicina alla linearità da essere utilizzata come valida misura di questo parametro.

La fig.35 riporta il grafico della correlazione BOD/OUTPUT<sub>N.E.</sub> derivata dall'analisi di campioni raccolti, per 18 settimane, da liquami grezzi in ingresso, da liquami stazionari e dall'effluente finale.

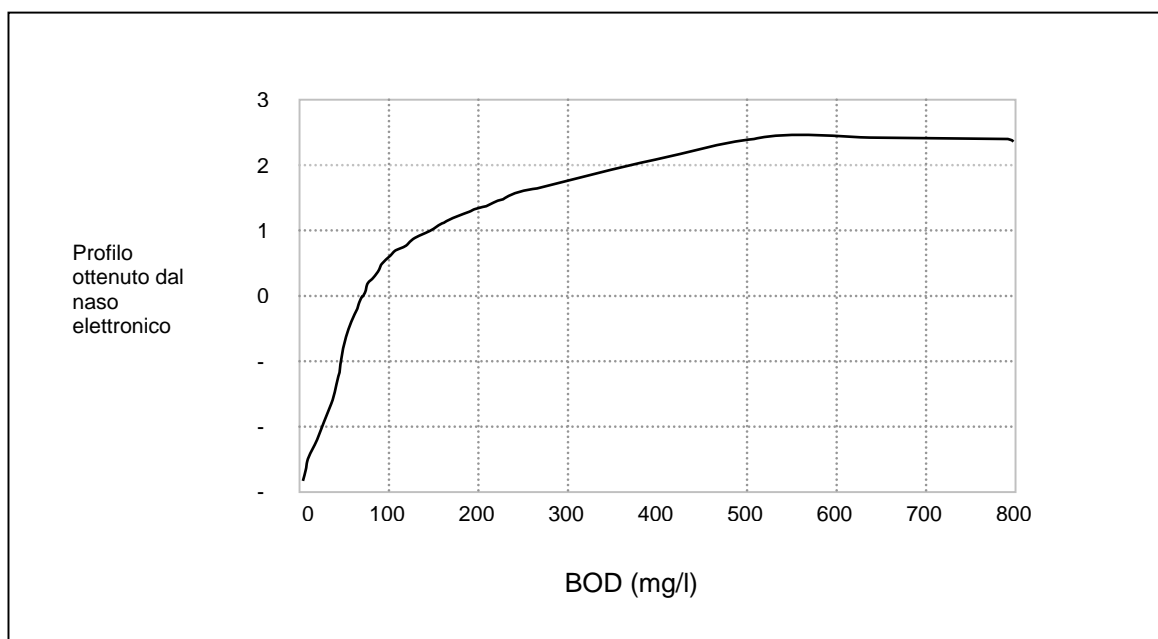


Fig. 35 – Correlazione statistica tra la risposta del naso elettronico e BOD (tratto da Stuetz R.M. et al., 2000).

Analizzando frazioni degli stessi campioni, in riferimento a periodi di campionamento più brevi, la linearità della correlazione BOD/OUTPUT<sub>N.E.</sub> aumenta quanto più è abbreviata la frequenza dei campionamenti. Ciò indica che esistono dei cambiamenti legati al tempo nella composizione dei campioni. Questi cambiamenti nel coefficiente di correlazione per periodi di analisi diversi potrebbero essere anche il risultato di variazioni stagionali nella composizione dei liquami grezzi. La temperatura, il tasso di flusso, la concentrazione e la composizione dei liquami in ingresso ed altri fattori operativi sono agenti noti che influenzano il processo di trattamento e perciò possono influire nella variazione del profilo dell'odore su lunghi periodi (come tre mesi).

Il fatto che la correlazione sia più lineare per analisi ripetute in tempi più brevi indica che queste variazioni correlate al tempo sono meno significative su tempi di analisi più brevi.

Anche le correlazioni tra il risultato delle analisi dei sensori con le misurazioni contemporanee dei valori di BOD, COD e TOC per lo stesso periodo (di tre settimane e di cinque mesi) conferma l'ipotesi che la durata del periodo delle analisi è un fattore significativo nella relazione tra il profilo dell'odore dei liquami misurato dai sensori del naso elettronico ed i parametri qualitativi dei reflui.

In un impianto di trattamento delle acque reflue, l'uso del naso elettronico può essere considerato quindi un valido strumento di analisi, alternativo a quelli tradizionali, per definire i parametri operativi che identificano e caratterizzano la qualità del trattamento.



## 6.2 – MODELLI DI SVILUPPO E DI DIFFUSIONE DEGLI ODORI

Prima di realizzare un nuovo impianto di depurazione, ovvero il potenziamento o l'estensione di uno esistente, è importante analizzare l'impatto territoriale legato al possibile ulteriore sviluppo e dispersione di odori molesti.

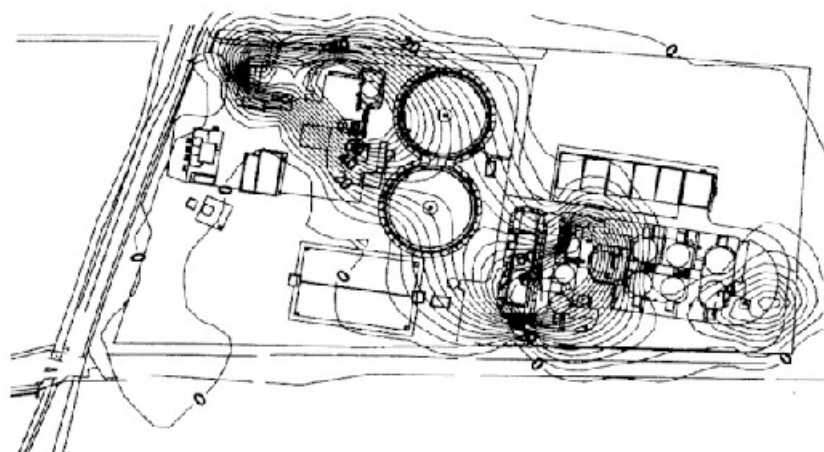
### 6.2.1 – Modelli di sviluppo: la stima quantitativa delle emissioni odorose

Un approccio quantitativo nella valutazione del comportamento spazio-temporale delle emissioni odorose, consente di ricercare le soluzioni ottimali per il pieno controllo.

Nel Cap.2 sono state trattate le diverse tipologie di sorgenti di emissione, la caratterizzazione intensiva ed estensiva delle stesse, le tecniche di campionamento. In particolare, si è introdotto il parametro denominato *tasso di emissione di odore* OER, come prodotto tra la concentrazione di odore (in ou/m<sup>3</sup>) e il flusso d'aria (in m<sup>3</sup>/s).

Nel Cap.4 si è trattato in modo più specifico, dello sviluppo delle emissioni odorose nei collettori fognari, negli impianti di sollevamento e nelle diverse sezioni di trattamento degli impianti di depurazione, con particolare riferimento allo sviluppo di idrogeno solforato (elemento di maggior impatto olfattivo).

Con riferimento alla concentrazione di quest'ultimo infatti, utilizzando un modello di simulazione della dispersione (v. par. succ.), si tracciano sulla cartografia dei luoghi interessati, le *curve di isoconcentrazione* delle emissioni odorose provenienti dagli impianti fognari ivi presenti (v Fig. 36).



**Fig.36** - Curve di isoconcentrazione delle massime concentrazioni orarie calcolate in una simulazione (Simms K.L., Wilkinson S., Bethan, 1999).

In generale, lo sviluppo di una o più sorgenti di emissioni odorose, viene caratterizzato dai seguenti parametri fondamentali:

- tipo di sorgente (puntiforme, lineare, areale, volumetrica);
- intensità dell'emissione (tasso di emissione di odore in ou/s)
- caratteristica della sensazione olfattiva (uova marce, fecale, nauseabondo, ecc.);
- soglia di percezione ATC, soglia di riconoscimento e soglia di pericolosità ambientale TWA;

- durata temporale dell'impatto;
- frequenza dell'impatto;
- periodo di emissione, con riferimento al giorno, alla settimana o all'anno.

### 6.2.2 – Modelli di dispersione: "Odour Mapping"

Al fine sia di studiare gli impatti (in fase progettuale preventiva), sia di verificare l'efficacia delle possibili soluzioni di abbattimento di emissioni odorose moleste, una volta individuati i parametri caratteristici dell'emissione, è possibile utilizzare alcuni modelli matematici di simulazione del comportamento dispersivo dell'emissione stessa, nell'ambito di un delineato territorio circostante.

I modelli di riferimento sono naturalmente, gli stessi di quelli utilizzati nella descrizione matematica dei fenomeni di trasporto e di diffusione degli inquinanti atmosferici.

Gli elementi fondamentali per la descrizione del fenomeno sono il tipo e la intensità della sorgente di emissione, le caratteristiche ambientali in cui avviene il fenomeno e il particolare algoritmo matematico di simulazione.

I modelli più utilizzati sono fondamentalmente di due tipi:

- il "Modello Gaussiano", si riferisce soprattutto a sorgenti puntiformi (pennacchio gaussiano), descrive la distribuzione spaziale e temporale delle emissioni odorose. Fra i diversi modelli esistenti nella letteratura scientifica del settore, si citano quelli UNAMAP disponibili presso l'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente degli Stati Uniti (EPA - Environmental Protection Agency), come il modello gaussiano RAM per sorgenti multiple areali e puntiformi, i modelli ISC per sorgenti complesse, nonché il modello DIMULA sviluppato dall'ENEA;

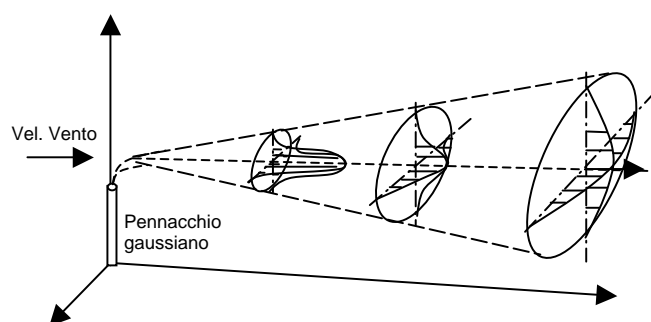
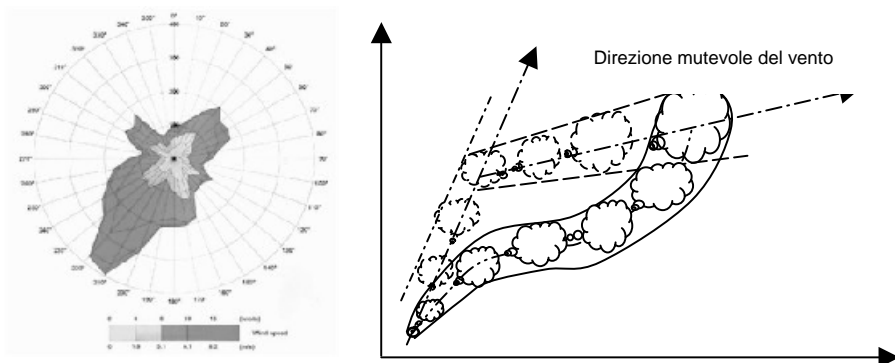


Fig.37 - Schema "Gaussiano" del fenomeno di diffusione da sorgente puntiforme in presenza di vento

- il "Modello a Puff" di tipo euleriano, assume i "puff" (nuvolette) come elementi base del trasporto e della diffusione e si riferisce a sorgenti puntiformi, areali e lineari di intensità variabile, in condizioni vento (direzione e velocità) variabili, con riferimento a spazi territoriali variegati (pianeggianti o collinari) ed estesi fino a centinaia di chilometri e a previsioni temporali su periodi fino ad un anno. Fra i diversi modelli proposti, CALMET/CALPUFF viene considerato dalla EPA il modello guida.



**Fig.38** - Schema "a puff" del fenomeno di diffusione da sorgente puntiforme in presenza di variabilità di vento

Il modello di simulazione di tipo euleriano risulta essere quindi più efficace, sia perché è in grado di considerare differenti tipologie di sorgente, sia per il fatto che risulta applicabile anche in condizioni di bassa velocità del vento (0,5-1 m/s), condizioni per cui il modello gaussiano risulta meno applicabile.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.