Studio e ottimizzazione dei sistemi strumentali automatici (IOMS) per il controllo degli odori in impianti di depurazione

Rocco Antonio Battaglia[1]

[1]Affiliation not available

Abstract

Gli odori rappresentano uno degli elementi di disturbo maggiormente avvertito dalla popolazione e risultano essere la causa predominante dei conflitti nei confronti delle aziende che li diffondo in area ambiente. Nonostante la maggioranza delle sostanze odoranti non abbia effetti tossici, tali condizioni generano una serie di impatti negativi comportando una modifica dell'equilibrio psicofisico di una persona e influire negativamente sui suoi comportamenti che si concludono con una diminuzione dei valori degli immobili, e della qualità di vita nelle aree interessate.

L'attività di tesi ha avuto come obiettivo la ricerca e lo sviluppo dei sistemi innovativi (IOMS), con particolare riferimento alla investigazione ed analisi dell'influenza dei processi di acquisizione ed elaborazione dei dati, con il fine di investigare e confrontare le tecniche di *feature extraction* principalmente utilizzate nella letteratura tecnico-scientifica di settore.

La sfida attuale è la determinazione dei sistemi di monitoraggio degli odori strumentali (IOMS) che consentono la caratterizzazione continua degli odori. Attualmente non esistono regolamenti o procedure standardizzate, e in letteratura sono disponibili dati limitati con riferimento alle caratteristiche e alla procedura operativa di questi sistemi per il monitoraggio degli odori ambientali. I risultati del seguente studio evidenziano l'importanza e la flessibilità degli IOMS proposti nel monitoraggio degli odori, fornendo informazioni accurate e in tempo reale sulla fonte e sulla concentrazione delle emissioni di odori.

Introduzione

Le principali cause di disturbo delle emissioni odorigene, rilevate dalla popolazione esposta, sono provenienti dagli impianti di trattamento delle acque reflue (Fig.1), che recano un impatto rilevante sull'economia del turismo e sui costi del suolo nelle zone limitrofe [1].

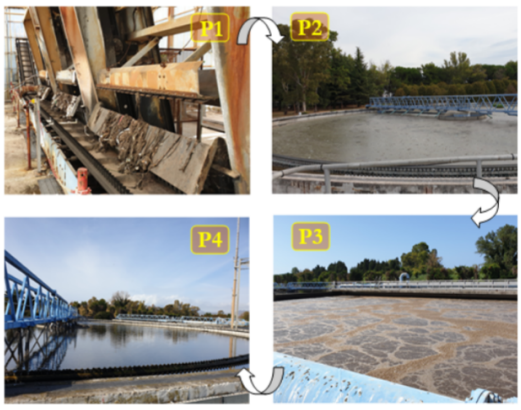

Figure 1: Impianto di trattamento delle acque reflue.

L'odore risulta un fenomeno complesso da studiare a causa della vastità degli odoranti, dove la maggior parte delle emissioni maleodoranti hanno composizione chimica complessa e costituiti da diversi composti aventi concentrazioni d'odore del $\mu g/m^3$ o inferiore. Le caratteristiche che definiscono un odore sono la concentrazione (quantità di odore presente nell'aria), intensità (VDI 3882 Parte 1, 1992) e tono edonico (ovvero la sensazione piacevole o meno che un odore ci rilascia, variando dal valore limite di percezione, soglia percettiva, fino alla soglia di irritazione, valutato su scale di giudizio da 0 a 6 rispettivamente) (VDI 3882 Parte 1, 1992) (Fig.2), e qualità (associazione dell'odore ad un composto di natura nota mediante la ruota degli odori). Le reazioni degli individui agli odori dipendono essenzialmente dai fattori FIDOL [2]; riportati di seguito:

- frequenza: indica quanto spesso un individuo è esposto all'odore;
- intensità: indica la forza della percezione dell'odore;
- durata: indica la durata dell'evento odoroso;
- offensività: indica la natura dell'odore in riferimento al suo tono edonico;
- localizzazione: indica l'uso del suolo e la natura delle attività umana in prossimità della sorgente.

Esempio, un profumo che normalmente può avere un odore positivo, può divenire un odore negativo se lo si sente continuamente. La durata, per odori molto intensi percepiti per un breve periodo potrebbero non dare problemi, mentre odori poco intensi percepiti per un lungo periodo possono influire sulla qualità della vita. La localizzazione, ovvero dipende se l'odore percepito sia in un luogo chiuso o aperto, in una città o in periferia. [3].

Quindi è possibile affermare che la generazione dei cattivi odori, non dipendono solamente dai fattori chimico-fisici legati alla sola molecola maleodorante; ma dipende anche dalla potenzialità osmotica, ovvero la sua

Intensità di odore	Punteggio	Tono edonico
Impercettibile	0	Alcun fastidio
Appena percettibile	1	Fastidio molto leggero
Debole	2	Fastidio leggero
Distinto	3	Fastidio distinto
Forte	4	Fastidio serio
Molto forte	5	Fastidio molto serio
Estremamente forte	6	Fastidio estremamente serio

Figure 2: Scala di intensità a sei gradi (Figura adattata da: VDI 3882 Parte 1, 1992; VDI 3882 Parte 2, 1994).

capacità di essere percepita dal sistema olfattivo. Tale variabile dipende da molti fattori che possono essere: propri della sostanza ossia fattori chimico-fisici (dimensioni e forma delle molecole, volatilità, idrosolubilità, liposolubilità); individuali ovvero fattori soggettivi (sensibilità, età, sesso e lo stato psico-fisico del ricettore; ed ambientali (temperatura, umidità, pressione, velocità e direzione dei venti) [4,5].

Negli ultimi anni ha avuto un'estrema importanza la necessità nel monitoraggio della qualità dell'aria in relazione ai livelli ambientali di odore, risultando indispensabile quantificare le emissioni odorigene, con la conseguenza di portando al riconoscimento degli odori molesti come dei veri e propri inquinanti atmosferici "*inquinante olfattivo*"[2]. I metodi presenti nella letteratura scientifica per l'indagine odorimetrica appartengono a 3 procedimenti differenti di misura [3,6]:

- metodi sensoriali (comprendono: olfattometria dinamica, questionari ed analisi in campo); tali metodi considerano la miscela nel suo insieme, indipendentemente dai singoli. Essi si basano su una misura diretta dell'odore utilizzando il naso come sensore;
- metodi analitici o strumentali (gascromatografia/spettrometria di massa (GC/MS) e fiale colorimetriche); tramite le quali si è in grado di riconoscere i singoli costituenti della miscela odorigena, con una caratterizzazione quali quantità;
- metodi misti a cui è stata rivolto la nostra attenzione ai metodi misti, che sono quelli con il più alto potenziale futuro, in particolare il sistema (IOMS).

Fase sperimentale

I sistemi IOMS sono degli strumenti che imitano il comportamento del naso umano mediante una serie di sensori elettrochimici di gas non specifici (costituiti tipicamente dai 5 ai 20 sensori), vale a dire sensori che interagiscono con una vasta gamma di sostanze chimiche con intensità variabili (componente hardware principale) e un appropriato sistema di trattamen-

to dei dati (componente software)[7,8]. Gli schemi di funzionamento sono, invece, comparabili con il sistema olfattivo umano; dove l'array di sensori elettrochimici aspecifici emula il funzionamento dei recettori olfattivi, mentre il trattamento dei segnali elettrici attraverso le tecniche matematiche è comparabile al trattamento dell'informazione del cervello umano[9]. Tali strumenti sono adottati per il monitoraggio in continuo degli odori ambientali, al fine di ottenere informazioni in tempo reale, con la capacità di garantire una elevata affidabilità e ripetibilità della misura [10]. I moderni nasi elettronici, hanno ancora molte limitazioni comparato a quelle del sistema dei recettori nel naso umano (in numero pari a circa dieci milioni), e presentando costi economici smisurati.

La ricerca si è focalizzata sullo studio degli aspetti di sviluppo ed ottimizzazione di un sistema di monitoraggio delle emissioni odorigene in continuo. Le attività sperimentali sono state effettuate, nello specifico, utilizzando il sistema IOMS seedOA 2.0 [11,10], brevettato dal gruppo di ricerca del SEED, dell'Università degli Studi di Salerno, ed utilizzano campioni reali prelevati da 4 sorgenti identificate in un impianto di depurazione delle acque reflue a scala reale, che presentano le emissioni di odori più significative secondo studi precedenti [6]: grigliatura grossolana (P1), sedimentazione primaria (P2), trattamento biologico (P3), sedimentazione secondaria(P4), (Fig.3).

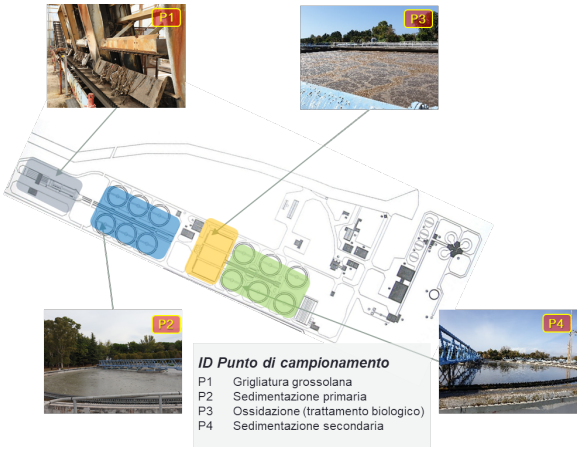

Figure 3: Punti di campionamento presso l'impianto di depurazione a scala reale.

Tale attività sperimentale si è concentrata nello studiare il sistema IOMS, associato all'utilizzo dell'olfattometro per la determinazione della concentrazione di odore in OU/m^3, strumentazioni presenti in laboratorio olfattometrico del SEED dell'università degli studi di Salerno, che ha consentito l'indagine sulla standardizzazione delle procedure di addestramento con l'analisi ed il confronto delle migliori tecniche di *feature extraction*

(Fig.4) [12,13], che consiste nell'estrazione delle caratteristiche rispetto alla considerevole quantità di dati che lo IOMS ci fornisce [14].

Sono state individuate ed adottati sei equazioni per l'estrazione delle funzioni dalla curva originaria, (ovvero dell'analisi ed elaborazione dei dati grezzi): con la tecnica del differenziale (DVR) andiamo ad eliminare l'eventuale rumore additivo che può essere presente nel sensore; con la tecnica relativa (DVR) eliminano l'effetto di deriva moltiplicative; mediante la tecnica frazionaria (FCR) la baseline è sottratta e poi divisa dalla risposta del sensore; tamite la tecnica logaritmica (LCR) il più adatto quando la variazione della concentrazione è molto elevata, ed ha il vantaggio di linearizzare l'uscita del sensore assumendo il valore zero in assenza di un input di odore.

Method	Formula
Difference	$x_{ij} = V_{ij}^{max} - V_{ij}^{min}$
Relative	$x_{ij} = V_{ij}^{max} / V_{ij}^{min}$
Practional change	$x_{ij} = (V_{ij}^{max} - V_{ij}^{min})/V_{ij}^{min}$
Log parameter	$x_{ij} = \ln(V_{ij}^{max}/V_{ij}^{min})$
Sensor normalization	$x_{ij} = x_{ij}^{max} /(x_{ij}^{max} - x_{ij}^{min})$
Array normalization	$x_{ij} = x_{ij} / \sum x_{ij}^2$

Figure 4: Alcuni metodi di feature extraction (Figura adattata da: Jia Yan, et al., Nov. 2015) .

Dove "xij" rappresenta la funzione del valore massimo elaborato, Vmaxij e Vminij rappresentano rispettivamente il valore di risposta massima originale dell'i-esimo sensore al j-esimo gas e della baseline realizzata con un gas noto (in termini di conduttanza)[13].

Con tale applicazione si è potuto arrivare alla creazione di un modello robusto di classificazione (LDA) e quantificazione (PLS) degli odori, tramite l'elaborazione delle matrici ottenute dalle tecniche di *Feature Extraction*. Tramite tecniche di statistica multivariata, applicando la tecnica dell'analisi discriminante lineare (LDA) e il metodo dei minimi quadrati parziali (PLS), rispettivamente utilizzati per la qualificazione e quantificazione delle varie classi odorigene[15]. Dove si è potuto evincere, come nel caso specifico investigato la tecnica del DVR abbia mostrato i risultati migliori.

Conclusioni

L'attività di ricerca presentata è stata svolta presso il Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale (SEED) dell'Università degli Studi di Salerno, inserendosi nell'ambito delle tematiche della caratterizzazione ed il controllo delle emissioni odorigene. L'attenzione è ricaduta nello studiare gli

aspetti di sviluppo ed ottimizzazione del sistema senso-strumentale di monitoraggio in continuo delle emissioni odorigini (IOMS), con riferimento ad un impianto in scala reale della linea acque reflue inerente alla Città di Salerno. Nell'attività sperimentale si è discusso sull'effetto dei vari metodi di estrazione delle funzioni della curva originale, in particcolare sono state individuate sei tecniche di *feature extraction.* I risultati preliminari ottenuti hanno mostrato l'efficacia degli studi sviluppati e la potenzialità di incrementarne l'affidabilità e la ripetibilità delle misure del sistema SeeOA2.0 agendo sui metodi di estrazione ed elaborazione dei dati. Nel caso specifico investigato, la tecnica DVR (different value of resistance) ha mostrato i risultati migliori in termini di classivicazione e quantificazione degli odori. Ulteriori analisi sono in corso per validare i risultati preliminari ottenuti, al fine di ottenere un controllo in continuo delle potenziali emissioni odorigene e di fronteggiare le lamentele da parte delle comunità esposte e, quindi, garantire una maggiore tutela della salute umana e benessere della popolazione.

References

1.Zarra, T., Giuliani, S., Naddeo, V. & Belgiorno, V. Control of odour emission in wastewater treatment plants by direct and undirected measurement of odour emission capacity. *Water Science and Technology* **66**, 1627–1633 (2012).

2.Nicell, J. A. Assessment and regulation of odour impacts. *Atmospheric Environment* **43**, 196–206 (2009).

3.Zarra, T., Naddeo, V., Belgiorno, V., Reiser, M. & Kranert, M. Instrumental characterization of odour: a combination of olfactory and analytical methods. *Water Science and Technology* **59**, 1603–1609 (2009).

4.V. Belgiorno, T. Z., V. Naddeo. *Odour Impact Assessment Handbook*. (John Wiley & Sons Inc., 2012). doi:10.1002/9781118481264.

5.Zarra T., N. V. & V., B. A novel tool for estimating the odour emissions of composting plants in air pollution management. *Issue 4* **11**, 477–486 (2013).

6.Zarra, T., Naddeo, V., Belgiorno, V., Reiser, M. & Kranert, M. Odour monitoring of small wastewater treatment plant located in sensitive environment. *Water Science and Technology* **58**, 89–94 (2008).

7.Zarra, T., Galang, M. G., Ballesteros, F., Belgiorno, V. & Naddeo, V. Environmental odour management by artificial neural network – A review. *Environment International* **133**, 105189 (2019).

8.Odour emissions characterization from wastewater treatment plants by different measurement methods. *Chemical Engineering Transactions* **40**, (2014).

9.Gebicki, J., Byliński, H. & Namieśnik, J. Measurement techniques for assessing the olfactory impact of municipal sewage treatment plants. *Environmental Monitoring and Assessment* **188**, (2015).

10.Performance Study of E-Nose Measurement Chamber for Environmental Odour Monitoring. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS AIDIC* **30**, (2012).

11.Fluid Dynamic Simulation of Odour Measurement Chamber. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS AIDIC* **40**, (2014).

12.Distante, C., Leo, M., Siciliano, P. & Persaud, K. C. On the study of feature extraction methods for an electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical* **87**, 274–288 (2002).

13.Yan, J. *et al.*. Electronic Nose Feature Extraction Methods: A Review. *Sensors* **15**, 27804–27831 (2015).

14.Gardner, J. W., Boilot, P. & Hines, E. L. Enhancing electronic nose performance by sensor selection using a new integer-based genetic algorithm approach. *Sensors and Actuators B: Chemical* **106**, 114–121 (2005).

15.An alternative approach of the E-nose training phase in odour impact assessment. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS* **30**, (2012).