

# Trattamenti avanzati per il controllo del toluene e degli odori

rosamaria del core<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Salerno

## Abstract

I VOCs, Volatile Organic Compounds, sono tra gli inquinanti principali che generano impatto da odori. Si definisce *inquinante* una sostanza che procura danni alla salute umana, nonché all'ambiente stesso: i danni principali sono legati alla tossicità delle emissioni, nonché a sintomi quali mal di testa, nausea e problemi respiratori. Le principali fonti dalle quali possono provenire i VOCs sono: industrie, impianti di trattamento delle acque reflue, compostaggio e trattamento rifiuti. Risulta di grande importanza capire come abbattere queste sostanze: in particolare, ci si è concentrati sull'abbattimento del toluene, uno dei principali VOCs, mediante tecniche di ossidazione avanzata UV/O<sub>3</sub>, attraverso un esperimento in scala di laboratorio. Inoltre, viene presentata una tecnica biologica di abbattimento del toluene (BTF), risultata ecosostenibile anche in termini di riduzioni di emissioni di CO<sub>2</sub>, grazie all'interazione tra microalghe e batteri. Sono state poi analizzate anche altre tecniche tra cui la pervaporazione su membrana, un processo termico di separazione su membrana che permette la rimozione di particolari sostanze organiche, tra cui il toluene, attraverso l'utilizzo di membrane porose che presentano elevate affinità di permeabilità nella rimozione dei VOCs. Si è riscontrato, infine, che l'efficacia dei trattamenti di ossidazione avanzata sia notevole anche per altri microinquinanti, per cui è possibile pensare di poterli applicare ad ampio spettro, anche per prevenire danni all'ecosistema stesso.

## Inquadramento della tematica

Ognuno di noi è in grado di percepire un odore nella maniera più soggettiva possibile. Gli odori che risultano sgradevoli ci portano a coprirci la bocca e il naso appena li avvertiamo, in quanto risultano pungenti e fastidiosi al punto tale da pensare che siano anche dannosi per la salute. Quando parliamo di cattivi odori, ci riferiamo ai VOCs, che è un acronimo che sta per Volatil Organic Compounds, ossia composti organici volatili, che sono i maggiori inquinanti atmosferici e un gran numero dei quali può causare impatto da odori e effetti anche sulla salute pubblica <sup>1</sup>.

Le fonti che destano maggiore preoccupazione e dissenso da parte della popolazione sono gli impianti di trattamento delle acque reflue, discariche, impianti di compostaggio e industrie alimentari (Fig. 1). Infatti, nonostante le emissioni odorigene siano in parte normate per queste opere dal testo unico ambientale (secondo autorizzazioni per le emissioni odorigene alla parte V del decreto, in ambito di emissioni in atmosfera), l'odore derivante da attività antropiche tende comunque a generare degli impatti anche sull'economia, creando problemi per la localizzazione di particolari impianti (discariche). Tuttavia, è chiaro che nonostante tutti i composti abbiano un limite di emissione inferiore al loro limite di tossicità, tali emissioni possono causare disturbi fisici come nausea, insonnia, mal di testa, problemi respiratori, perdita di appetito ed ulteriori conseguenze legate alla qualità della vita <sup>2</sup>. In virtù di ciò, gli impianti che sono responsabili di tali emissioni sono stati costretti ad adottare efficaci tecnologie di riduzione delle stesse.



Figure 1: possibili fonti di emissioni odorigene

Le principali tecnologie per l'abbattimento di odori sono i processi biologici e chimico fisici. In particolar modo, le biotecnologie rappresentano la soluzione maggiormente ecosostenibile, sia da un punto di vista economico che ambientale. I più efficaci da un punto di vista tecnico sono i *trattamenti di ossidazione avanzata* (AOPs), perché sono in grado di agire su diversi composti con differenti concentrazioni, per cui risultano importanti da approfondire e studiare affinché possano essere mitigati o in qualche modo ridotti gli impatti da odori <sup>3</sup>.

## Il toluene e le tecniche di abbattimento

Il toluene è una sostanza chimica spesso usata nelle industrie, soprattutto come solvente, in quanto è un componente del gasolio. Nonostante ci sia la

consapevolezza che il toluene non abbia le stesse proprietà emotossiche del benzene, le proprietà narcotiche e neurotossiche del toluene rappresentano il pericolo più elevato per la salute umana. Inoltre, la cosa più preoccupante è che il toluene è un composto che spesso si trova negli effluenti industriali e civili a livelli di 86 µg/l e la concentrazione di questi componenti nel fango derivante da impianti di depurazione dei reflui e in atmosfera può essere più alta che nell'acqua reflua stessa, raggiungendo percentuali del 91%<sup>4</sup>.

Uno degli AOPs che ha riscontrato maggior successo nell'abbattimento di tale sostanza è il processo UV/O<sub>3</sub>, che combina l'ozono con i raggi ultravioletti: questa tecnologia permette la decomposizione dei VOCs che vengono ossidati direttamente dall'ozono, indirettamente dai radicali ossidrilici e provocando una fotolisi diretta da UV. La formazione di radicali ossidrilici è fondamentale per reagire con i composti organici, determinando la loro decomposizione<sup>3</sup>.

La sperimentazione è stata condotta in un impianto di laboratorio dotato di un fotoreattore nel quale si trovano 4 lampade UV che sono in grado di generare ozono. A partire da un flusso sintetico di rifiuti particolarmente odoroso diluito alla concentrazione prevista, esso attraversa il fotoreattore e durante il processo viene misurata l'efficienza di rimozione. Si è riscontrato come la velocità di generazione dell'ozono dipenda dalla tensione applicata alle lampade e dalla geometria con la quale sono disposte all'interno del reattore. Per basse concentrazioni di ozono reagito si riesce ad abbattere un'elevata percentuale di toluene (per il 56% di ozono reagito, si è abbattuto l'84% di toluene): ciò significa che, nonostante reagisca poco ozono, si riesce ad avere un'elevata efficienza di rimozione e questo gioca a vantaggio dei costi, in quanto per generare ozono è necessaria energia generata dalle lampade UV. Questo studio ha dimostrato come l'ozonizzazione indotta da UV per il trattamento delle emissioni odorigene possa essere anche applicato ad una grande varietà di odori emessi dagli impianti<sup>3</sup>.

È risultata altresì efficace nell'abbattimento del toluene per via biologica, l'azione sinergica tra microalghe e batteri, in quanto costituisce una via sostenibile per la rimozione di contaminanti come i VOCs. In particolare, l'impiego di un filtro biotrickling (BTF) ha evidenziato come la rimozione del toluene risultasse elevata e, grazie all'azione delle alghe, sono state abbattute anche le emissioni di CO<sub>2</sub>, contribuendo alla salute dell'ambiente. Sul BTF i microrganismi creano un biofilm, in grado di metabolizzare gli inquinanti contenuti nel flusso di aria da depurare. Questi ultimi vengono trasformati in vapore acqueo, sostanza organica (contribuisce al nutrimento batterico) e CO<sub>2</sub> (viene abbattuta tramite l'azione delle alghe), tramite ossidazione biologica con l'ossigeno. Infatti, proprio grazie al consumo di anidride carbonica da parte delle alghe (che riducono gli impatti dell'acidificazione), l'efficienza di abbattimento del toluene è risultata considerevole, assicurando anche una stabilità al processo<sup>5</sup>.

Altri studi <sup>6</sup> hanno dimostrato come il toluene possa essere rimosso anche dall'acqua in maniera efficace tramite strippaggio con aria e adsorbimento su carboni attivi. Tuttavia, per l'adsorbimento è necessario alternare le fasi di recupero, mentre per lo strippaggio si evidenziano costi elevati per le fasi di post trattamento al fine di prevenire sia l'inquinamento dell'aria che dell'acqua stessa. È stato studiato un ulteriore metodo innovativo che invece sfrutta la pervaporazione su membrana (processo termico che sfrutta la capacità di permeabilità delle membrane per rimuovere sostanze organiche), utilizzando una particolare sostanza (polidimetilsiloxane con additivi) che ha permesso un efficace abbattimento del toluene: maggiore è la porosità della membrana (ottimale al 78%) e più è elevata la rimozione del toluene. Tuttavia per questo sistema vari sono i fattori che influiscono, tra cui la temperatura e la concentrazione di substrato in maniera inversamente proporzionale al processo di pervaporazione <sup>6</sup>. Infatti, si è riscontrato come la selettività della membrana sia diminuita all'aumentare della temperatura. Quindi, l'energia di attivazione necessaria per far avvenire la permeazione del toluene indica che l'operazione debba avvenire a temperature medie e non elevate.

Infine, un altro processo, noto come E-peroxone (electro- peroxone), è un trattamento di ossidazione avanzata basato sull'impiego dell'ozono che ha mostrato un grande potenziale nell'abbattimento di sostanze microinquinanti nel trattamento delle acque. Confrontando l'ozonizzazione convenzionale con il processo UV/O<sub>3</sub> e con il processo E-peroxone, quest'ultimo ha presentato maggiore efficacia nell'abbattimento di sostanze maggiormente refrattarie all'ozonizzazione (le percentuali di abbattimento sono più alte con l'E-peroxone che con UV/O<sub>3</sub>). I trattamenti con E-peroxone e con UV/O<sub>3</sub> hanno ridotto la formazione di bromati durante il processo. Tuttavia, quest'ultimo processo consuma approssimativamente dalle 4 alle 10 volte in più energia rispetto alla ozonizzazione convenzionale. In ogni caso, questo studio ha dimostrato come il processo E-peroxone sia fattibile, efficace ed un'alternativa all'UV/O<sub>3</sub> con buona efficienza energetica per l'abbattimento di sostanze microinquinanti dalle acque reflue e non solo<sup>7</sup>. Studi simili sono stati approfonditi anche da <sup>8</sup> che ha dimostrato come questo tipo di trattamenti possano avere anche bassi costi e ridotti tempi di azione.

## Conclusioni

In conclusione, i processi di trattamento avanzato UV/O<sub>3</sub> <sup>3 9</sup>, oltre che ad essere molto efficaci per la rimozione di inquinanti come i VOCs (toluene),

si sono rivelati altresì vincenti nell'abbattimento di microinquinanti emergenti (composti farmaceutici) come ibuprofene, diclofenac e benzafibrato, riscontrando efficienze di rimozione anche del 90%, nonostante però un processo come l'E-peroxone offra la possibilità di ridurre il quantitativo di energia applicata per generare ozono. Quindi, applicando questo tipo di processi, si può agire su un ampio spettro di contaminanti, superando i limiti dei trattamenti convenzionali <sup>7</sup> e, non meno importante, presentano dei costi relativamente bassi, mostrando fattibilità dal punto di vista economico <sup>8 10</sup>. Inoltre, anche i trattamenti biologici hanno mostrato come un trattamento combinato tra batteri e microalghe possa essere una valida soluzione "ecofriendly" per l'abbattimento del toluene <sup>5</sup>. Risulta di fondamentale importanza controllare le emissioni odorigene a base di contaminanti come il toluene che possono essere dannose sia per l'uomo ma anche per l'ecosistema: uno studio particolare<sup>11</sup> ha dimostrato come emissioni odorigene possono comportare anche degli impatti su flora e fauna. È stato riscontrato scientificamente come le api da miele possono riconoscere i fiori mediante dei segnali caratteristici odorosi da parte degli stessi: questa capacità purtroppo è stata inibita dal gasolio esausto che tende a degradare velocemente i segnali odorosi dei fiori <sup>11</sup>. Per cui, se gli AOPs consentiranno efficienze di abbattimento sempre più elevate e di più contaminanti possibili, si potrebbero prevenire spiacevoli danni all'ambiente oltre che all'uomo stesso.

## References

- 1.R.Hu *et al.*. Odor pollution due to industrial emission of volatile organic compounds: A case study in Hefei China. *Journal of Cleaner Production* **246**, 119075 (2020).
- 2.T.Zarra, V.Naddeo, V.Belgiorno, M.Reiser & M.Kranert. Odour monitoring of small wastewater treatment plant located in sensitive environment. *Water Science and Technology* **58**, 89–94 (2008).
- 3.G.Oliva, V.Naddeo, T.Zarra & V.Belgiorno. Abatement of odour emissions by UV/Ozone oxidation process. *Issue 3* **20**, 669–673 (2018).
- 4.B.Mrowiec, J.Suschka & T.C.Keener. Formation and Biodegradation of Toluene in the Anaerobic Sludge Digestion Process. *Water Environment Research* **77**, 274–278 (2005).
- 5.G.Oliva *et al.*. Comparative evaluation of a biotrickling filter and a tubular photobioreactor for the continuous abatement of toluene. *Journal of Hazardous Materials* **380**, 120860 (2019).
- 6.S.S.Shahrabi, H.R.Mortaheb, Barzin, J. & Ehsani, M. R. Pervaporative performance of a PDMS/blended PES composite membrane for removal of toluene from water. *Desalination* **287**, 281–289 (2012).

- 7.W.Yao *et al.*. Pilot-scale evaluation of micropollutant abatements by conventional ozonation UV/O<sub>3</sub>, and an electro-peroxone process. *Water Research* **138**, 106–117 (2018).
- 8.A.Fernandes, M.Gagol, P.Makoś, J.A.Khan & G.Boczkaj. Integrated photocatalytic advanced oxidation system (TiO<sub>2</sub>/UV/O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) for degradation of volatile organic compounds. *Separation and Purification Technology* **224**, 1–14 (2019).
- 9.F.Montecchio, M.Altimira, A.Andersson & K.Engvall. Fluid dynamics modelling of UV reactors in advanced oxidation processes for VOC abatement applications. *Chemical Engineering Journal* **369**, 280–291 (2019).
- 10.M.Buyukada. Removal potential reaction pathways, and overall cost analysis of various pollution parameters and toxic odor compounds from the effluents of turkey processing plant using TiO<sub>2</sub>-assisted UV/O<sub>3</sub> process. *Journal of Environmental Management* **248**, 109298 (2019).
- 11.R.D.Girling, Lusebrink, I., Farthing, E., Newman, T. A. & Poppy, G. M. Diesel exhaust rapidly degrades floral odours used by honeybees. *Scientific Reports* **3**, (2013).