

Trattamento avanzato di effluenti gassosi odorigeni con impiego di un sistema integrato MBBR-APBR (Moving Bed Bioreactor- Algal Photo- Bioreator): efficienze di rimozione e potenzialità di recupero

Francesco Natella¹

¹Affiliation not available

Sommario

Le emissioni di gas climalteranti (GHG) e di inquinanti atmosferici prodotte dalle attività antropiche sono considerate tra le principali cause dei continui cambiamenti climatici.

Il sistema è stato alimentato con un flusso gassoso composto da aria compressa e toluene, come fonte di nutrienti è stato impiegato un influente sintetico per riprodurre le acque reflue casearie (Dairy Wastewater, DWW).

Le efficienze del sistema sono state valutate in termini di percentuali di rimozione del toluene, di efficienza di conversione della CO₂ in biomassa valorizzabile e di riduzione delle concentrazioni di nutrienti. Il sistema ha mostrato efficienze di rimozione fino al 99.97% per il toluene, l'efficienza di conversione della CO₂ ha raggiunto valori pari ad oltre il 98%, con concentrazioni di biomassa nel reattore fino a circa 3 g/l.

Introduzione

Il riscaldamento globale è il principale problema degli ultimi anni perché le attività antropiche hanno permesso un aumento in maniera incontrollata delle emissioni di gas climalteranti¹, si stima che rispetto all'epoca preindustriale la temperatura media è aumentata di circa 1 °C². Il principale

gas a effetto serra è l'anidride carbonica (CO_2) le cui concentrazioni hanno superato i valori di 400 ppm e con valori in crescita di circa 2,5 ppm per anno ³; le principali fonti di questo composto sono gli impianti di produzione di energia e dal successivo consumo, ma anche in maniera elevata dal settore dei trasporti con gli scarichi delle vetture, per la CO_2 contribuiscono, in parte minore rispetto agli altri settori, l'agricoltura e l'allevamento del bestiame⁴ l'agricoltura e l'allevamento del bestiame ⁵.

Nel corso degli anni in quasi tutto il mondo i paesi più rilevanti, ovvero quelli che contribuiscono maggiormente alle emissioni, hanno cercato tramite degli accordi di salvaguardare l'ambiente, adottando misure per contenere e ridurre i cambiamenti climatici ⁶. Il primo vero e grande accordo è stato il protocollo di Tokyo del 1997, mentre il più recente è l'accordo di Parigi del 2015, con l'obiettivo comune per tutti i paesi firmatari di intraprendere una strada più “green” attraverso uno sviluppo sostenibile e promuovere la rimozione degli inquinanti presenti in ambiente ^{7,8}

Esistono diverse tipologie di trattamenti per i composti odorigeni e vengono suddivisi in: processi chimico-fisici (combustione, adsorbimento, ⁹condensazione, membrana e scrubber ^{10,11}; processi biologici (biofiltrazione, biotrickling, bioscrubbing, bioreattori a membrana) ^{12,13}; processi ossidativi (AOPs) ¹⁴. Tra i nuovi approcci che si stanno sviluppando ci sono il CCS e il CCU, ovvero Carbon Capture and Sequestration (Utilization) ¹⁵; l'approccio CCS consiste nella cattura, trasporto, compressione e stoccaggio della CO_2 ^{16,17}, mentre l'approccio CCU varia nella fase conclusiva dove lo stoccaggio viene sostituito dal riutilizzo dell'anidride carbonica in diversi settori economici ^{18,19}. Uno degli utilizzi della CO_2 in cui in questo articolo si fa maggiormente riferimento è quello della coltivazione di organismi fotosintetici come microalghe che attraverso la fotosintesi assumono l'anidride carbonica catturata ²⁰. La biomassa valorizzabile ottenuta dalle microalghe può essere utilizzata per la costituzione di bio-fuel, bio-fertilizzanti, supplementi alimentari per animali da allevamento, ²¹ industria farmaceutica ²² e nei cosmetici ²³.

Fondamentali sono i fattori che influenzano la crescita delle microalghe²⁴, questi sono: l'intensità luminosa, durata fotoperiodo, pH, temperatura, concentrazione CO₂, salinità, grado di agitazione²⁵. La coltivazione delle microalghe può avvenire nei sistemi aperti (Open Ponds) o nei sistemi chiusi (Fotobioreattori);²⁶ i sistemi aperti sono più economici e di più facile costruzione ma sono soggetti a contaminazioni esterne dovuto al contatto diretto con l'ambiente²⁷; i sistemi chiusi sono più complessi dal punto di vista costruttivo e più dispendiosi sul piano economico ma offrono migliori coltivazioni di microalghe date dal maggior controllo dei parametri che ne influenzano la crescita^{28,29}.

L'attività di ricerca condotta presso il Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale (SEED) dell'Università degli Studi di Salerno ha investigato l'implementazione e l'efficienza di rimozione della CO₂ di un innovativo processo biologico denominato OTAER,³⁰ sviluppato dal Gruppo di ricerca di Ingegneria Sanitaria Ambientale nell'ambito delle tematiche e contributi al controllo dei cambiamenti climatici con sistemi avanzati³¹

Materiali e metodi

Il sistema in studio si compone di un reattore MBBR (Moving Bed Bio Reactor) con un coltura batterica all'interno e di un fotobioreattore con microalghe (specie: *Chlorella Vulgaris*). La specie utilizzata è stata ottenuta dal mezzo di coltura di alghe e protozoi (CCAP) proveniente da Dunbeg in Scozia, inoltre il ceppo è stato pre-coltivato nel mezzo EG:JM²⁹. Il set-up sperimentale è costituito da un reattore cilindrico, realizzato in plexiglas e avente un volume operativo di 6,5 litri, connesso ad un fotobioreattore algale con una capacità volumetrica di 26 litri. Il sistema è stato illuminato con 4 luci LED con un'intensità luminosa che è variata tra 6500 e 9500 LUX con un fotoperiodo di 12:12 h. Mediante un compressore è stato inserito un flusso d'aria variabile

con contaminazione di Toluene, inquinante target scelto; inoltre il sistema è stato alimentato con una matrice sintetica che replica il refluo caseario (Dairy Waste Water, DWW) che ha avuto anche il compito di formare il liquido di coltura delle microalghe nel fotobioreattore. Gli obiettivi dell'attività rientrano nel valutare il potenziale della biotecnologia riguardo il controllo delle emissioni di anidride carbonica e le sue efficienze di rimozione, efficienze di rimozione del toluene e della matrice inquinante (refluo) oltre all'efficienza di produzione della biomassa algale prodotta³².

Piano e programma di analisi

Il periodo di ricerca ed analisi è stato di circa 4 mesi, la portata in ingresso di aria compressa è stata variata da 0,5 L/min ad 1 L/min; inoltre è stata continuamente variata la portata di refluo caseario inserito tra 250 a 2000 mL/d, mentre il tempo di alimentazione del sistema è rimasto costante per 24 h. L'esperimento è stato suddiviso in 3 fasi e rispettive sottofasi per ogni variazione apportata alle condizioni del sistema. Le analisi svolte sul sistema sono state suddivise in analisi sulla fase gassosa (temperatura, pH, %O₂, concentrazione di toluene e CO₂) e analisi sulla fase liquida (TSS, ammonio, clorofilla).

Risultati e discussioni

Per quanto riguarda i parametri operativi (temperatura, pH, %O₂) i valori sono stati sempre simili a quelli descritti in letteratura per il buon funzionamento del sistema ; mentre per la percentuale di rimozione del toluene i risultati ottenuti sono stati, in tutte le fasi, circa pari al 98% rispettando i riferimenti riportati in letteratura ³³, quindi con un'ottima efficienza di rimozione dell'inquinante target da parte della coltura batterica presente nel reattore 1. I valori riguardanti la rimozione della CO₂ da parte del sistema sono stati pari a circa il 99,7%, questo inoltre è indice di ottimo processo di fotosintesi da parte delle microalghe ³⁴, che hanno prodotto circa 3 g/L di biomassa valorizzabile,

oltre che a ottimi risultati in termini di solidi sospesi totali (TSS) e clorofilla³⁵.

Conclusioni

I risultati ottenuti dall'analisi del sistema OTAER hanno evidenziato come il sistema ha avuto un ottimo funzionamento e ha mostrato, inoltre, un'ottima efficacia per quanto riguarda la rimozione del toluene e della CO₂. Si candida, quindi, ad essere nel prossimo futuro un ottimo sistema per il controllo e la mitigazione delle emissioni di composti odorigeni e di gas a effetto serra, inoltre risulta essere un sistema sostenibile, sia ambientalmente che economicamente, potendo rientrare un sistema di economia circolare.

Riferimenti bibliografici

- 1.Odour Impact Assessment in Industrial Areas. *CHEMICAL ENGINEERING* 30 (2012).
- 2.Allen, M. R. *et al.*. A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation. *npj Climate and Atmospheric Science* **1**, (2018).
- 3.Murena, A. *et al.*. Water–Energy Nexus: Evaluation of the Environmental Impact on the National and International Scenarios. in *Frontiers in Water-Energy-Nexus—Nature-Based Solutions Advanced Technologies and Best Practices for Environmental Sustainability* 33–35 (Springer International Publishing, 2019). doi:10.1007/978-3-030-13068-8₈.
- 4.Zarra. A novel tool for estimating the odour emissions of composting plants in air pollution management. *Issue 4* **11**, 477–486 (2013).

5. Yusuf, R. O., Noor, Z. Z., Abba, A. H., Hassan, M. A. A. & Din, M. F. M. Methane emission by sectors: A comprehensive review of emission sources and mitigation methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16**, 5059–5070 (2012).
6. Naddeo, V. & Korshin, G. Water energy and waste: The great European deal for the environment. *Science of The Total Environment* **764**, 142911 (2021).
7. Cheah, W. Y. *et al.*. Biorefineries of carbon dioxide: From carbon capture and storage (CCS) to bioenergies production. *Bioresource Technology* **215**, 346–356 (2016).
8. 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).
9. Patton, S., Romano, M., Naddeo, V., Ishida, K. P. & Liu, H. Photolysis of Mono- and Dichloramines in UV/Hydrogen Peroxide: Effects on 1,4-Dioxane Removal and Relevance in Water Reuse. *Environmental Science & Technology* (2018) doi:10.1021/acs.est.8b01023.
10. Ma, X., Hou, Y., Yang, L. & Lv, H. Adsorption behaviors of VOCs under coal-combustion flue gas environment using activated carbon injection coupled with bag filtering system. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* **627**, 127158 (2021).
11. Belaïssaoui, B., Moullec, Y. L. & Favre, E. Energy efficiency of a hybrid membrane/condensation process for VOC (Volatile Organic Compounds) recovery from air: A generic approach. *Energy* **95**, 291–302 (2016).
12. Barbusinski, K., Kalembe, K., Kasperczyk, D., Urbaniec, K. & Kozik, V. Biological methods for odor treatment – A review. *Journal of Cleaner Production* **152**, 223–241 (2017).
13. Rybarczyk, P., Szulczyński, B., Gebicki, J. & Hupka, J. Treatment of malodorous air in biotrickling filters: A review. *Biochemical Engineering Journal* **141**, 146–162 (2019).

- 14.Liu, G. *et al.*. UV/H₂O₂ : An efficient aqueous advanced oxidation process for VOCs removal. *Chemical Engineering Journal* **324**, 44–50 (2017).
- 15.Abdallah, H. *et al.*. Amino-functionalized mesoporous nano-silica/polyvinylidene fluoride composite as efficient ultrafiltration membrane. *DESALINATION AND WATER TREATMENT* **205**, 63–75 (2020).
- 16.Zhang, Y. *et al.*. Process intensification in micro-fluidized bed systems: A review. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification* **164**, 108397 (2021).
- 17.Theo, W. L., Lim, J. S., Hashim, H., Mustaffa, A. A. & Ho, W. S. Review of pre-combustion capture and ionic liquid in carbon capture and storage. *Applied Energy* **183**, 1633–1663 (2016).
- 18.Tapia, J. F. D., Lee, J.-Y., Ooi, R. E. H., Foo, D. C. Y. & Tan, R. R. A review of optimization and decision-making models for the planning of CO₂ capture utilization and storage (CCUS) systems. *Sustainable Production and Consumption* **13**, 1–15 (2018).
- 19.Ghiat, I. & Al-Ansari, T. A review of carbon capture and utilisation as a CO₂ abatement opportunity within the EWF nexus. *Journal of CO₂ Utilization* **45**, 101432 (2021).
- 20.Singh, J. & Dhar, D. W. Overview of Carbon Capture Technology: Microalgal Biorefinery Concept and State-of-the-Art. *Frontiers in Marine Science* **6**, (2019).
- 21.Ali, S., Peter, A. P., Chew, K. W., Munawaroh, H. S. H. & Show, P. L. Resource recovery from industrial effluents through the cultivation of microalgae: A review. *Bioresource Technology* **337**, 125461 (2021).
- 22.Ensano, B. M. B. *et al.*. Applicability of the electrocoagulation process in treating real municipal wastewater containing pharmaceutical active compounds.. *J Hazard Mater* **361**, 367–373 (2019).

23. Naddeo, V., Belgiorno, V., Zarra, T. & Scannapieco, D. Dynamic and embedded evaluation procedure for strategic environmental assessment. *Land Use Policy* **31**, 605–612 (2013).
24. Naddeo, V., Zarra, T. & Belgiorno, V. A comparative approach to the variation of natural elements in Italian bottled waters according to the national and international standard limits. *Journal of Food Composition and Analysis* **21**, 505–514 (2008).
25. Ren, J.-ling, Zhang, A.-H. & Wang, X.-J. Traditional Chinese medicine for COVID-19 treatment. *Pharmacological Research* **155**, 104743 (2020).
26. Costa, J. A. V. & Morais, M. G. de. An Open Pond System for Microalgal Cultivation. in *Biofuels from Algae* 1–22 (Elsevier, 2014). doi:10.1016/b978-0-444-59558-4.00001-2.
27. Nesticò, A., Elia, C. & Naddeo, V. Sustainability of urban regeneration projects: Novel selection model based on analytic network process and zero-one goal programming. *Land Use Policy* **99**, 104831 (2020).
28. Ugwu, C. U., Aoyagi, H. & Uchiyama, H. Photobioreactors for mass cultivation of algae. *Bioresource Technology* **99**, 4021–4028 (2008).
29. Senatore, V. *et al.*. Innovative membrane photobioreactor for sustainable CO₂ capture and utilization. *Chemosphere* **273**, 129682 (2021).
30. Scannapieco, D., Naddeo, V. & Belgiorno, V. Sustainable power plants: A support tool for the analysis of alternatives. *Land Use Policy* **36**, 478–484 (2014).
31. Naddeo, V. Development of environmental biotechnology and control of emerging biological contaminants: the grand challenge for a sustainable future. *Water Environment Research* **92**, 1246–1248 (2020).
32. A comparative and Critical Evaluation of Different Sampling Materials in the Measurement of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*

30, 6 (2012).

33.Priyadharshini, S. D. *et al.*. Phycoremediation of wastewater for pollutant removal: A green approach to environmental protection and long-term remediation. *Environmental Pollution* **290**, 117989 (2021).

34.Salih, F. M. Microalgae Tolerance to High Concentrations of Carbon Dioxide: A Review. *Journal of Environmental Protection* **02**, 648–654 (2011).

35.Naddeo. Water and wastewater disinfection by ultrasound irradiation - a critical review. *Issue 3* **16**, 561–577 (2014).

Figure Captions

Figura 1. Campione di microalghe prelevato da un sistema aperto

Figures

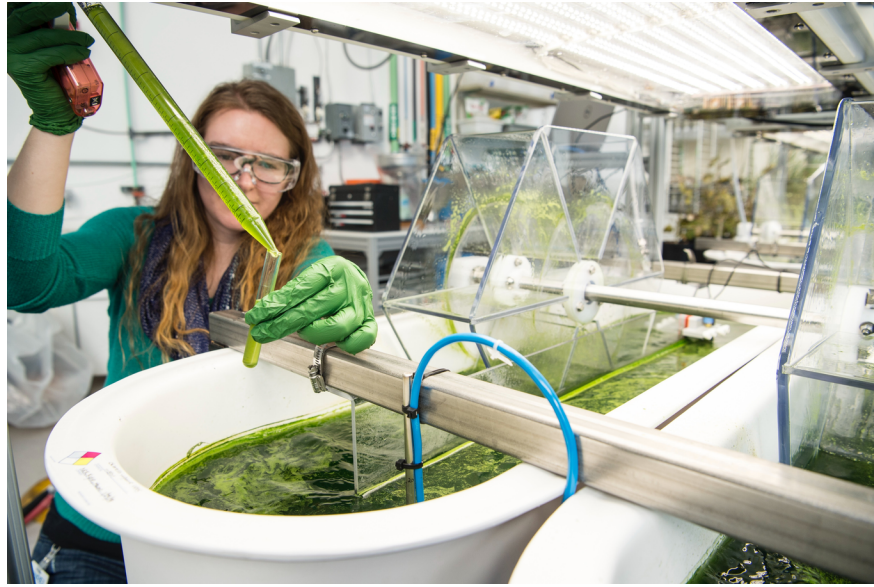


Figura 1: Campione di microalghe prelevato da un sistema aperto