Posted on Authorea 24 May 2021 — The copyright holder is the author/funder. All rights reserved. No reuse without permission. — https://doi.org/10.22541/au.162187143.36452457/v1 — This a preprint and has not been peer reviewed. Data may be preliminary.

I fotobioreattori microalgali: nuove tecnologie per il sequestro della CO_2

Lucrezia Cardaci[1]

[1]Affiliation not available

Abstract

Nel corso degli ultimi anni a causa dell'aumento delle attività antropiche è stato registrato un incremento delle emissioni di gas climalteranti (GHG) in atmosfera, principale causa dei cambiamenti climatici. In particolare nell'ultimo decennio è stata registrata una concentrazione media globale di anidride carbonica di 400 ppm, circa il 145% maggiore di quelle del periodo pre-industriale (prima del 1750). È necessario attuare dei protocolli e processi di minimizzazione delle emissioni di GHGs, al fine di rendere lo sviluppo industriale, e quindi antropico, più sostenibile. L'attività di ricerca svolta ha investigato l'implementazione e l'efficienza di rimozione della CO_2 di un processo biologico innovativo denominato seedPBR, realizzato dal gruppo di Ingegneria Sanitaria Ambientale (SEED) del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Salerno. I risultati ottenuti durante l'attività sperimentale risultano essere promettenti: le efficienze di rimozione ottenute, sino al 82%, confermano il sistema seedPBR come tecnologia sostenibile ed efficiente per la mitigazione dei cambiamenti climatici.

Introduzione

La principale causa del riscaldamento globale risiede nelle crescenti emissioni in atmosfera di gas serra (GHG) da parte delle attività antropiche. Si stima, infatti, che le attività umane abbiano causato l'aumento di circa 1,0 °C del riscaldamento globale al di sopra dei livelli preindustriali, con un

Posted on Authorea 24 May 2021 — The copyright holder is the author/funder. All rights reserved. No reuse without permission. — https://doi.org/10.22541/au.162187143.36452457/v1 — This a preprint and has not been peer reviewed. Data may be preliminary.

intervallo compreso tra 0,8 °C e 1,2 °C [1]. Tra i GHG, il principale gas serra è l'anidride carbonica (CO_2), essenzialmente emessa dai combustibili fossili ma anche dagli impatti indotti dall'uomo sulla selvicoltura e su altri usi del suolo, come la deforestazione e lo sgombero dei terreni per l'agricoltura. In particolar modo, dalla rivoluzione industriale si è assistito ad un rapido aumento delle concentrazioni globali di CO_2 derivanti da combustibili fossili. Infatti per la prima volta in oltre 800.000 anni, le concentrazioni non solo hanno superato i 300 ppm, ma ora sono ben oltre i 400 ppm [2]. Diverse azioni e misure nazionali ed internazionali sono state programmate ed implementate nell'ottica di controllare le pressioni ambientali al fine di tutelare l'ambiente e quindi ridurre gli impatti ambientali e soprattutto quelli legati ai cambiamenti climatici [345]. Tra queste azioni, l'adozione di misure ambientali avanzate nella pianificazione dei Piani e Programmi [6], la preservazione degli stati ecologici in aree particolarmente sensibili [7], il trattamento delle emissioni odorigene con tecniche innovative e analisi olistiche [8 9 101112] , l'applicazione di metodi di controllo con l'Intelligenza Artificiale [13], la riduzione delle emissioni di CO_2 in atmosfera rappresentano sicuramente azioni da pianificare ed adottare per garantire lo sviluppo sostenibile [14 15 1617]. In particolare, con riferimento a quest'ultimo punto, va sicuramente menzionato il Protocollo di Kyoto, che tra i primi Protocolli internazionali emanati in tema di cambiamenti climatici, imponeva la necessità di conseguire una riduzione delle emissioni di CO_2 in atmosfera, non solo diminuendo l'utilizzo di combustibili fossili, ma anche aumentando il sequestro netto dell'anidride carbonica nei *Carbon Sinks* [18]. Per Carbon Sinks si intende qualsiasi metodo o processo che viene attuato per sottrarre o rimuovere uno o più gas serra dall'atmosfera, confinandolo in modo stabile (*carbon sequestration*). Anche l'Art. 4 dell'Accordo di Parigi mira alla *Climate neutrality*, cioè al raggiungimento di un equilibrio tra le emissioni prodotte dalle attività umane e quelle assorbite dai cosiddetti pozzi di carbone. La cattura e il sequestro del carbonio (CCS, carbon capture and sequestration) è sicuramente il metodo più comune per la gestione dell'anidride carbonica [1920] [18] la quale viene catturata e immagazzinata permanentemente [21]. Le fasi principali che caratterizzano la tecnologia CCS sono: cattura, trasporto, compressione ed infine stoccaggio della CO_2 [22]. Tut-

Posted on Authorea 24 May 2021 — The copyright holder is the author/funder. All rights reserved. No reuse without permission. — https://doi.org/10.22541/au.162187143.36452457/v1 — This a preprint and has not been peer reviewed. Data may be preliminary.

tavia uno dei principali carbon sink è costituito dagli ecosistemi vegetali [22] ; in questo caso si parla di sistemi CCU (carbon capture and utilization), in cui avviene un sequestro indiretto che coinvolge l'assorbimento di CO_2 da parte degli organismi viventi. Tra gli organismi fotosintetici le microalghe rappresentano una importante risorsa biologica, avente una vasta gamma di applicazioni biotecnologiche.

Le microalghe (Fig.1) acquisiscono carbonio inorganico attraverso il processo di fotosintesi, per cui rendono possibile la cattura dell'anidride carbonica e il sequestro della stessa all'interno della biomassa algale [22] .

La biomassa ottenuta rappresenta inoltre una risorsa riutilizzabile [23], che può essere adoperata per produrre beni di valore commerciale, come biocarburanti rinnovabili, alimenti, mangimi per animali e acquacoltura e altri prodotti come cosmetici, nutraceutici, prodotti farmaceutici, bio-fertilizzanti, sostanze bioattive [21]. I sistemi impiegati nella coltivazione autotrofica delle microalghe possono essere suddivisi in due macro-categorie: i sistemi all'aperto e i sistemi al chiuso, i quali si differenziano rispettivamente in base al contatto o meno con l'ambiente esterno. I sistemi all'aperto (open ponds) sono caratterizzati da estese superfici di massa acquosa nelle quali viene coltivata l'alga, sono semplici dal punto di vista costruttivo e operativo ma essendo a contatto con l'atmosfera sono sistemi potenzialmente soggetti a contaminazione, in quanto vi è libero scambio di gas tra ambiente e sistema [24] . Inoltre negli *open pond* le condizioni di coltivazione non sono facilmente gestibili, ciò li rende sistemi poco controllati e caratterizzati da un minore tasso di crescita delle microalghe rispetto ai sistemi chiusi.

I fotobioreattori (PBR), invece, sono sistemi in cui la coltivazione avviene in contenitori chiusi e ciò permette di superare molte delle limitazioni biologiche e delle barriere ambientali che presentano i sistemi aperti [25] [26]. Vi è infatti un basso rischio di contaminazione e una maggiore produttività di biomassa in quanto è possibile gestire il sistema facendolo lavorare sotto condizioni operative ottimali [24]. L'attività di ricerca condotta presso il Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale

Posted on Authorea 24 May 2021 — The copyright holder is the author/funder. All rights reserved. No reuse without permission. — https://doi.org/10.22541/au.162187143.36452457/v1 — This a preprint and has not been peer reviewed. Data may be preliminary.

(SEED) dell'Università degli Studi di Salerno ha investigato l'implementazione e l'efficienza di rimozione della CO2 di un innovativo processo biologico denominato seedPBR [27], sviluppato dal Gruppo di ricerca di Ingegneria Sanitaria Ambientale nell'ambito delle tematiche e contributi al controllo e la minimizzazione dei cambiamenti climatici con sistemi tecnologici avanzati [28 29 30].

Materiali e metodi

Si tratta di un sistema integrato per la cattura ed il recupero dell'anidride carbonica composto da una colonna di assorbimento ed un fotobioreattore. La specie impiegata come organismo fotosintetico è stata la Chlorella vulgaris, ottenuta dal mezzo di coltura di alghe e protozoi (CCAP) proveniente da Dunbeg in Scozia. Il ceppo è stato pre-coltivato nel mezzo EG:JM e successivamente coltivato usando Bold's Basal Medium (BBM). Il set-up sperimentale è costituito da un fotobioreattore cilindrico, realizzato in plexiglas e avente un volume di 40 litri, connesso ad una colonna di assorbimento caratterizzata da una capacità volumetrica di 8 litri [31]. In 4 punti diametralmente opposti a circa metà altezza del seedPBR sono posizionate 4 luci a LED che garantiscono un'intensità luminosa di circa 100 μmol/m^2 s. Durante l'intera sperimentazione è stato implementato un fotoperiodo di 12:12 h, alternando cioè 12 ore di luce a 12 ore di scuro. Attraverso un compressore è stata introdotta aria in modalità continua nell'arco di tutta l'attività attraverso dei diffusori a pietra porosa situati nella parte inferiore della colonna di assorbimento. Il principale obiettivo dell'attività è stato valutare il potenziale della biotecnologia riguardo il controllo delle emissioni di anidride carbonica e le sue efficienze di rimozione al variare della portata di ricircolo. È stato seguito un programma operativo giornaliero di 6 ore, all'interno del fotoperiodo di 12 ore di luce, che prevedeva un ciclo continuo di immissione di CO_2 ed il ricircolo del mezzo liquido di coltura tra il reattore e la colonna in modo da evitare la sedimentazione della biomassa e per migliorare la cattura dell'anidride carbonica. Il sistema è stato alimentato con utilizzo di CO_2 da

Posted on Authorea 24 May 2021 — The copyright holder is the author/funder. All rights reserved. No reuse without permission. — https://doi.org/10.22541/au.162187143.36452457/v1 — This a preprint and has not been peer reviewed. Data may be preliminary.

bombola, miscelato con aria prodotta da un compressore. La miscela gassosa risultante è stata insufflata sotto forma di piccole bolle a partire dal fondo della colonna di assorbimento mediante due diffusori a pietra porosa. Le bolle generate risalgono dunque nella colonna accumulandosi in sommità per poi essere alimentate nel bioreattore.

Il piano e programma di analisi

Il periodo di osservazione sperimentale ha coperto un arco temporale di 33 giorni, dei quali 23 giorni feriali in cui il sistema è stato effettivamente attivato per seguire il programma operativo summenzionato. Il sistema è stato sottoposto ad una fase di acclimatazione iniziale, con una portata di ricircolo di 1500 ml/min e una concentrazione di CO_2 pari al 10%, per far sì che gli organismi fotosintetici potessero adattarsi. Al termine del periodo di acclimatazione è stata avviata l'effettiva sperimentazione, suddivisa in tre fasi. Durante le tre fasi tutti i parametri operativi del sistema sono stati mantenuti invariati, ad eccezione della portata di ricircolo che è stata fissata a 1500 ml/min nella prima fase, 2000 ml/min nella seconda fase e 3000 ml/min nella terza fase.

Risultati e discussione

Considerando che la portata della miscela gassosa è stata impostata e mantenuta costante a 100 ml/min e la concentrazione di CO_2 al 15%, si è osservato nella prima fase, con portata liquida fissata a 1500 ml/min, una crescita della concentrazione microalgale da 0,266 g/L a 0,424 g/L ed efficienze di rimozione della CO_2 gradualmente crescenti sino al valore di 72,2%. Nella seconda fase, l'aumento della portata liquida di ricircolo a 2000 ml/min ha evidenziato un ulteriore effetto positivo sia per la crescita microalgale, sia per le efficienze di rimozione della $CO_{2;}$ infatti la concentrazione di biomassa è cresciuta da 0,3 g/L fino ad un massimo di 0,6 g/L e sono state ottenute efficienze di rimozione sino al 82,0%. Con l'obiettivo di aumentare la concentrazione massima

Posted on Authorea 24 May 2021 — The copyright holder is the author/funder. All rights reserved. No reuse without permission. — https://doi.org/10.22541/au.162187143.36452457/v1 — This a preprint and has not been peer reviewed. Data may be preliminary.

di microalghe, nella terza fase, è stata aumentata la portata liquida a 3000 mL/min senza però aggiungere nutrienti, a differenza delle precedenti fasi. Nonostante l'aumento di portata, è stato osservato un decremento della concentrazione di biomassa, nonché delle efficienze di rimozione, a causa della condizione di privazione dei nutrienti a cui è stato sottoposto il mezzo di coltura. Infatti i nutrienti costituiscono fonte di azoto e fosforo, i quali sono fondamentali, insieme alla CO_2, per la crescita delle microalghe. Durante l'attività di ricerca, inoltre, è stata effettuata la procedura di estrazione dei lipidi dalla biomassa algale essiccata, al termine sia della prima fase che della seconda. Il contenuto lipidico del campione di biomassa algale analizzato nella Fase I era pari al 19%, mentre quello analizzato nella Fase II era del 34%. L'incremento della percentuale di lipidi ha confermato il fatto che durante la fine della seconda fase la biomassa è stata sottoposta a condizione di stress, cioè a mancanza di nutrienti. Questo conferma come la coltivazione in condizioni di carenza di azoto porta ad un marcato aumento del contenuto di lipidi, ciò la rende una strategia comunemente usata per stimolarne l'accumulo [32].

Conclusioni

I risultati preliminari ottenuti durante l'attività confermano l'efficacia del sistema seedPBR quale processo sostenibile a base di microalghe e la sua efficienza di rimozione dell'anidride carbonica per controllare le emissioni di gas climalteranti. Il processo e la specifica tecnologia analizzata, inoltre, concorre alla produzione di biomassa fruibile come materia prima per prodotti energetici alternativi e rinnovabili, nell'ottica di una politica di economia circolare per un futuro più sostenibile.

Posted on Authorea 24 May 2021 — The copyright holder is the author/funder. All rights reserved. No reuse without permission. — https://doi.org/10.22541/au.162187143.36452457/v1 — This a preprint and has not been peer reviewed. Data may be preliminary.

References

1.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).

2.Ritchie, H. & Roser, M. CO and Greenhouse Gas Emissions. *Our World in Data* (2020).

3.Millanar-Marfa, J. M. J. *et al.*. Self-forming Dynamic Membranes for Wastewater Treatment. *Separation & Purification Reviews* 1–17 (2021) doi:10.1080/15422119.2021.1887223.

4.Naddeo, V. & Korshin, G. Water energy and waste: The great European deal for the environment. *Science of The Total Environment* **764**, 142911 (2021).

5.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:10.1007/978-3-030-13068-8_8.

6.Naddeo, V., Belgiorno, V., Zarra, T. & Scannapieco, D. Dynamic and embedded evaluation procedure for strategic environmental assessment. *Land Use Policy* **31**, 605–612 (2013).

7.Belgiorno, V., Naddeo, V., Scannapieco, D., Zarra, T. & Ricco, D. Ecological status of rivers in preserved areas: Effects of meteorological parameters. *Ecological Engineering* **53**, 173–182 (2013).

8.Oliva, G. *et al.*. Next-generation of instrumental odour monitoring system (IOMS) for the gaseous emissions control in complex industrial plants. *Chemosphere* **271**, 129768 (2021).

9.An Alternative Approach of the E-Nose Training Phase in Odour Impact Assessment. *Chemical Engineering Transactions* **30**, pp. 139–144 (2012).

Posted on Authorea 24 May 2021 — The copyright holder is the author/funder. All rights reserved. No reuse without permission. — https://doi.org/10.22541/au.162187143.36452457/v1 — This a preprint and has not been peer reviewed. Data may be preliminary.

10.Performance Study of E-Nose Measurement Chamber for Environmental Odour Monitoring. *Chemical Engineering Transactions* **30**, 109–114 (2012).

11.Naddeo, V., Zarra, T., Giuliani, S. & Belgiorno, V. Odour Impact Assessment in Industrial Areas. *Chemical Engineering Transactions* **30**, 85–90 (2012).

12.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).

13.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).

14.Hasan, S. W., Liu, H., Naddeo, V., Puig, S. & Yip, N. Y. *Environmental Technologies for the Sustainable Development of the Water and Energy Sectors*. (IWA Publishing, 2020). doi:10.2166/9781789062328.

15.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).

16.Abdulkarem, E. *et al.*. Polyvinylidene fluoride (PVDF)--zirconium phosphate (-ZrP) nanoparticles based mixed matrix membranes for removal of heavy metal ions. *Chemosphere* **267**, 128896 (2021).

17.Scannapieco, D., Naddeo, V. & Belgiorno, V. Sustainable power plants: A support tool for the analysis of alternatives. *Land Use Policy* **36**, 478–484 (2014).

18.Cheah, W. Y. *et al.*. Biorefineries of carbon dioxide: From carbon capture and storage (CCS) to bioenergies production. *Bioresource Technology* **215**, 346–356 (2016).

Posted on Authorea 24 May 2021 — The copyright holder is the author/funder. All rights reserved. No reuse without permission. — https://doi.org/10.22541/au.162187143.36452457/v1 — This a preprint and has not been peer reviewed. Data may be preliminary.

19.Abdallah, H. *et al.*. Amino-functionalized mesoporous nano-silica/polyvinylidene fluoride composite as efficient ultrafiltration membrane. *DESALINATION AND WATER TREATMENT* **205**, 63–75 (2020).

20.Pervez, M. N. *et al.*. A critical review on nanomaterials membrane bioreactor (NMs-MBR) for wastewater treatment. *npj Clean Water* **3**, (2020).

21.Mikhelkis, L. & Govindarajan, V. Techno-Economic and Partial Environmental Analysis of Carbon Capture and Storage (CCS) and Carbon Capture Utilization, and Storage (CCU/S): Case Study from Proposed Waste-Fed District-Heating Incinerator in Sweden. *Sustainability* **12**, 5922 (2020).

22.Singh, J. & Dhar, D. W. Overview of Carbon Capture Technology: Microalgal Biorefinery Concept and State-of-the-Art. *Frontiers in Marine Science* **6**, (2019).

23.Naddeo, V. & Taherzadeh, M. J. Biomass valorization and bioenergy in the blue circular economy. *Biomass and Bioenergy* **149**, 106069 (2021).

24.Yen, H.-W., Hu, I.-C., Chen, C.-Y., Nagarajan, D. & Chang, J.-S. Design of photobioreactors for algal cultivation. in *Biofuels from Algae* 225–256 (Elsevier, 2019). doi:10.1016/b978-0-444-64192-2.00010-x.

25.Oliva, G. *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).

26.Comparative Analysis of AOPs and Biological Processes for the Control of VOCs Industrial Emissions. *Chemical Engineering Transactions* **68**, 451–456 (2018).

27.Volatile organic compounds (VOCs) control by combining bio-scrubber and ozone pretreatment. *Global NEST: the international Journal* (2020) doi:10.30955/gnj.003298.

28.Ali, A. A. A., Naddeo, V., Hasan, S. W. & Yousef, A. F. Correlation between bacterial com-

Posted on Authorea 24 May 2021 — The copyright holder is the author/funder. All rights reserved. No reuse without permission. — https://doi.org/10.22541/au.162187143.36452457/v1 — This a preprint and has not been peer reviewed. Data may be preliminary.

munity structure and performance efficiency of a full-scale wastewater treatment plant. *Journal of Water Process Engineering* **37**, 101472 (2020).

29.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).

30.Comia, J. *et al.*. Degradation of Gaseous VOCs by Ultrasonication: Effect of Water Recirculation and Ozone Addition. in *Frontiers in Water-Energy-Nexus—Nature-Based Solutions Advanced Technologies and Best Practices for Environmental Sustainability* 333–336 (Springer International Publishing, 2019). doi:10.1007/978-3-030-13068-$8_8$3.

31.Senatore, V. *et al.*. Innovative membrane photobioreactor for sustainable CO2 capture and utilization. *Chemosphere* **273**, 129682 (2021).

32.Mandal, S. & Mallick, N. Microalga Scenedesmus obliquus as a potential source for biodiesel production. *Applied Microbiology and Biotechnology* **84**, 281–291 (2009).

Figure Captions

Figure 1. Coltivazione delle microalghe per la cattura della CO_2 (fonte: Pixabay)

Posted on Authorea 24 May 2021 — The copyright holder is the author/funder. All rights reserved. No reuse without permission. — https://doi.org/10.22541/au.162187143.36452457/v1 — This a preprint and has not been peer reviewed. Data may be preliminary.

Figures

Figure 1: Coltivazione delle microalghe per la cattura della CO_2 (fonte: Pixabay)

Posted on Authorea 24 May 2021 — The copyright holder is the author/funder. All rights reserved. No reuse without permission. — https://doi.org/10.22541/au.162187143.36452457/v1 — This a preprint and has not been peer reviewed. Data may be preliminary.