

Ottimizzazione dei sistemi biologici avanzati per il trattamento delle emissioni climalteranti

Giuseppina Monteleone¹

¹Affiliation not available

Abstract

Le emissioni di gas climalteranti in atmosfera hanno subito un incremento nel tempo dovuto principalmente all'aumento demografico e ai processi di industrializzazione. Esse contribuiscono all'effetto serra quindi all'aumento delle temperature. La CO₂ è il principale gas climalterante, oggi si stima una concentrazione di circa 410 ppm ed entro la fine del secolo può superare 550 ppm con un aumento della temperatura media globale superiore a 2 °C. Bisogna intervenire con tecnologie in grado di ridurre le concentrazioni di CO₂ nelle emissioni. L'attività di ricerca si è focalizzata sull'ottimizzazione di una tecnologia innovativa per la cattura di CO₂ ed il simultaneo recupero di biomassa. Il sistema, brevettato dal gruppo di Ingegneria Sanitaria Ambientale (SEED) dell'Università degli Studi di Salerno, prevede l'impiego di microrganismi fotosintetici in grado di fissare CO₂. È stato predisposto il funzionamento in parallelo di due fotobioreattori algali, ognuno sottoposto ad una diversa lunghezza d'onda, bianca e viola. Risultati migliori, in termini di efficienza di cattura e produzione di biomassa, si sono ottenuti con lunghezza d'onda viola.

Introduzione

L'aumento demografico e i continui processi di industrializzazione hanno richiesto una quantità sempre crescente di materie prime provocandone una forte diminuzione ¹. Esse vengono estratte dagli ecosistemi naturali per essere utilizzate e poi restituite sotto forma di rifiuti ². La produzione di energia, ad esempio, richiede come materia prima i combustibili fossili, i quali dopo la

combustione rilasciano nell'atmosfera gas climalteranti, tra cui la CO₂³. L'anidride carbonica è un gas climalterante già presente in natura ma concentrazioni elevate in atmosfera, derivanti principalmente da sorgenti di emissioni di tipo antropiche (uso dei combustibili, processi industriali, attività agricole, processi di trattamento dei rifiuti)⁴, contribuiscono ad aumentare le problematiche connesse all'effetto serra⁵. L'innalzamento delle temperature è uno dei principali problemi a livello globale in quanto provoca un aumento della superficie delle terre desertificate, un incremento del fenomeno dello scioglimento dei ghiacciai e fa aumentare la frequenza di fenomeni atmosferici estremi⁶. Attualmente le concentrazioni di CO₂ sono pari a circa 410 ppm; e in assenza di opportune misure di controllo sono state stimate concentrazioni future fino a 550 ppm ed oltre entro la fine del secolo, con un simultaneo aumento della temperatura media globale oltre i 2°C⁷. Visto che il potere climalterante della CO₂ risulta essere quello più rilevante⁸, bisogna cercare soluzioni in grado di ridurre le concentrazioni di CO₂ nelle emissioni di gas climalteranti. L'Unione Europea ha recentemente lanciato il piano "Green New Deal" con l'obiettivo di rendere "Carbon Neutral" il continente europeo entro il 2050.

Ad oggi, con lo scopo di raggiungere obiettivi di sostenibilità, sono previste tecnologie per il trattamento della CO₂ classificate in CCS (Carbon Capture and Storage) e CCU (Carbon Capture and Utilization) che prevedono sequestro, compressione, trasporto e stoccaggio o utilizzo⁹. I metodi di sequestro della CO₂ prevedono la cattura direttamente da fonti di emissione, essa può avvenire attraverso la tecnica di pre-combustione, post-combustione e ossicombustione¹⁰. Dopo la cattura e la compressione segue la fase di trasporto che avviene tramite condotte oppure su nave, dove la CO₂ dev'essere compressa e liquefatta quindi risulta più costoso come metodo¹¹. Dopo il trasporto, il destino della CO₂ cambia a seconda della tecnica con cui viene trattata. Nel caso di CCS la CO₂ viene immagazzinata in siti di stoccaggio aventi profondità superiori ai 1000 metri come, ad esempio, giacimenti di petrolio, gas esauriti e carbone o falde acquifere¹². L'approccio CCS risulta fattibile ma con elevati consumi energetici. Il metodo CCU è una tecnologia innovativa dove la CO₂ catturata viene riutilizzata per la produzione di prodotti ad alto valore aggiunto. È

una tecnologia nascente ¹³ che sta acquistando interesse tra la comunità tecnico-scientifica per le applicazioni di processi chimico-fisici e biologici. Tra le tecnologie CCU, le biotecnologie stanno attirando l'attenzione come processi sostenibili sia dal punto di vista economico che ambientale, esse si servono di microrganismi fotosintetici come le microalghe in grado di fissare la CO₂ e contemporaneamente convertirla in biomassa valorizzabile ¹³.

Le microalghe sono state scelte per l'elevata capacità fotosintetica attraverso cui sono in grado di fissare CO₂ e trasformarla, attraverso reazioni chimiche, in sostanze più complesse per il nutrimento ¹⁴. Per soddisfare il fabbisogno nutritivo richiedono principalmente elementi come carbonio, azoto e fosforo ¹⁵. Come sottoprodotto, derivante dal processo fotosintetico, rilasciano ossigeno ma soprattutto producono biomassa ricca di carboidrati, proteine, lipidi, polimeri che può essere riutilizzata come materia prima in diversi settori ¹⁶, la biomassa quindi risulta una risorsa riutilizzabile ¹⁷. I sistemi convenzionali per la coltivazione di biomassa algale possono essere aperti "Open Ponds" (Fig. 1) o chiusi "Fotobioreattori PBR" (Fig.2).

I sistemi aperti risultano economici e di facile manutenzione ma il diretto contatto con l'ambiente è un limite, perché espone la coltura a rischi di contaminazione da parte di organismi esterni ¹⁹. I fotobioreattori, invece, non offrono alcuno scambio con l'ambiente esterno dato che sono formati da contenitori chiusi ²⁰. Riescono ad offrire un controllo maggiore dei parametri che ne influenzano la crescita come pH, nutrienti, concentrazioni di CO₂, intensità di luce, miscelazione, salinità ¹⁸. La luce insieme alle sue caratteristiche come intensità luminosa, lunghezza d'onda, tipologia di sorgente luminosa e fotoperiodo, è un fattore di crescita influente ²¹. Le diverse specie di microalghe sono in grado di assorbire lunghezze d'onda tra i 400 e 700 nm ²². La porzione dello spettro delle radiazioni elettromagnetiche luminose è il principale fattore che determina l'incremento della crescita, oltre all'efficienza dei sistemi chiusi di coltivazione PBR microalgali ²³. Lo studio ha previsto un'attività sperimentale condotta presso il Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale (SEED) dell'Università degli Studi di Salerno dove il Gruppo di ricerca di Ingegneria Sanitaria Ambientale

ha realizzato un innovativo sistema di foto-bioreattori algali connessi a colonna di adsorbimento per la coltivazione di biomassa valorizzabile e cattura di CO₂.

Materiali e metodi

Per il trattamento delle emissioni climalteranti è stato adoperato un sistema biologico innovativo a base di microalghe per trattare la CO₂ contenuta nelle emissioni e per la contemporanea produzione di biomassa. La specie algale utilizzata è stata la *Chlorella Vulgaris*, specie eucariota di diametro variabili da 2 a 10 μm ²⁴, coltivata in fotobioreattori con Bold's Basal Medium (BBM). Il set-up sperimentale è composto da due foto-bioreattori con funzionamento in parallelo, alimentati con stesse concentrazioni di CO₂ in ingresso (5%) e stessa portata di ricircolo (100 ml/min). I due fotobioreattori PBR₁ e PBR₂ differiscono per il sistema di illuminazione, in particolare per la lunghezza d'onda emessa dalle sorgenti luminose a LED che risultano essere rispettivamente bianca e viola. Scopo dell'attività è stato quello di individuare la lunghezza d'onda più efficiente tra bianca e viola in grado di massimizzare la produzione di biomassa e l'efficienza di rimozione di CO₂.

Per ogni fotobioreattore sono stati disposti 4 luci LED con stessa intensità luminosa pari a 8000 lux. Il sistema di illuminazione ha previsto un funzionamento automatico con fotoperiodo luce-buio pari a 12:12 ore. L'immissione di aria all'interno del sistema è stata effettuata in modalità continua durante l'intera attività sperimentale tramite un compressore, mentre per la CO₂ è stata prevista una propagazione dalla durata di sei ore attraverso una bombola di CO₂. I due gas sono stati miscelati in un gas sampling tube prima dell'immissione nel mezzo di coltura, garantita da diffusori posti nella parte inferiore della colonna di adsorbimento. La portata di ricircolo è pari a 100 ml/min e viene immessa da una pompa (LEADFLUID WT600S) che viene azionata per una durata di sei ore e mezzo.

Piani e programma delle attività

L'attività sperimentale è stata condotta in un arco temporale di 28 giorni, con un programma ope-

rativo giornaliero di 6 ore durante il fotoperiodo di 12 ore di luce. Le analisi comparative sono state effettuate tra i due fotobioreattori PBR₁ e PBR₂ le cui differenze operative sono state indicate in precedenza.

L'avvio del sistema consiste nell'aprire le valvole dei reattori per innescare il circolo del fluido all'interno della colonna di adsorbimento, tramite una pompa. L'aria e la CO₂ si miscelano nel gas sampling tube e poi vengono immesse nel sistema attraverso tubazioni collegate nella parte inferiore della colonna di adsorbimento, mentre superiormente viene immessa la portata di ricircolo. Nella colonna di adsorbimento si ottiene una perfetta miscelazione tra frazione liquida e gassosa. Qui si deve tenere sotto controllo il livello del fluido per evitare che si verifichino fuoriuscite e aumenti di pressione; pertanto, quando il livello sale, si apre la valvola della colonna di adsorbimento in modo tale che la miscela fluido-gas entri nel reattore dove le concentrazioni di CO₂ vengono assorbite da microalghe della specie *Chlorella Vulgaris*.

Le analisi sono state condotte sia in fase liquida sia in fase gassosa. Nel primo caso i parametri analizzati sono stati temperatura, pH, ossigeno disciolto, torbidità, assorbanza, clorofilla, solidi sospesi totali e concentrazioni di anioni mentre in fase gassosa sono state monitorate le concentrazioni di CO₂ ingresso-uscita e la pressione.

Risultati e discussioni

Considerando che i due foto-bioreattori hanno previsto stesse condizioni di funzionamento in parallelo, differendo solamente per la lunghezza d'onda dei sistemi di illuminazione, si deduce che risultati eterogeni sono da attribuire esclusivamente alla lunghezza d'onda agente su ogni singolo foto-bioreattore. Per individuare l'efficienza di produzione in termine di biomassa tra i due foto-bioreattori sono state comparate le concentrazioni di solidi sospesi. Con la lunghezza d'onda, emessa dalla sorgente bianca, il foto-bioreattore PBR₁ ha raggiunto una concentrazione di biomassa valorizzabile fino a 605 mg/l, inferiore a quanto registrato per il PBR₂ in cui la concentrazione di biomassa valorizzabile è stata 825 mg/l grazie alla lunghezza d'onda emessa dalla luce di colore

viola. Di conseguenza in PBR₂ si sono avuti parametri di performance migliori in termini di tasso di crescita, produttività volumetrica di biomassa e tempo di duplicazione. Anche l'efficienza di rimozione registrata in PBR₂ è risultata maggiore ovvero pari a 89±8% rispetto a quello con luci bianche dove l'efficienza di rimozione è pari a 83±9%.

Conclusioni

I risultati ottenuti durante l'attività hanno dimostrato che il trattamento biologico per le emissioni di gas climalteranti, costituito dal fotobioreattore algale illuminato da luce viola, è risultato più efficiente sia in termini di rimozione di CO₂ sia per la produzione di biomassa sfruttabile come materia prima per la conversione in bioprodotto alternativi e rinnovabili, nell'ottica di un processo di decarbonizzazione, sostenibilità ed economia circolare.

References

1. Tansel, B. Increasing gaps between materials demand and materials recycling rates: A historical perspective for evolution of consumer products and waste quantities. *Journal of Environmental Management* **276**, 111196 (2020).
2. Asselt, H. van. Governing fossil fuel production in the age of climate disruption: Towards an international law of 'leaving it in the ground'. *Earth System Governance* **9**, 100118 (2021).
3. Azam, A., Rafiq, M., Shafique, M. & Yuan, J. An empirical analysis of the non-linear effects of natural gas nuclear energy, renewable energy and ICT-Trade in leading CO₂ emitter countries: Policy towards CO₂ mitigation and economic sustainability. *Journal of Environmental Management* **286**, 112232 (2021).
4. Nisar, A. *et al.*. Bio-conversion of CO₂ into biofuels and other value-added chemicals via metabolic engineering. *Microbiological Research* **251**, 126813 (2021).

5. Mukherjee, A., Okolie, J. A., Abdelrasoul, A., Niu, C. & Dalai, A. K. Review of post-combustion carbon dioxide capture technologies using activated carbon. *Journal of Environmental Sciences* **83**, 46–63 (2019).
6. Arendt, C. A., Hyland, E. G. & Piliouras, A. The Geological Consequences of Global Climate Change. in *Encyclopedia of Geology* 510–522 (Elsevier, 2021). doi:10.1016/b978-0-12-409548-9.12499-6.
7. Shewchuk, S. R., Mukherjee, A. & Dalai, A. K. Selective carbon-based adsorbents for carbon dioxide capture from mixed gas streams and catalytic hydrogenation of CO₂ into renewable energy source: A review. *Chemical Engineering Science* **243**, 116735 (2021).
8. Rahman, F. A. *et al.*. Pollution to solution: Capture and sequestration of carbon dioxide (CO₂) and its utilization as a renewable energy source for a sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **71**, 112–126 (2017).
9. Zhang, S., Liu, L., Zhang, L., Zhuang, Y. & Du, J. An optimization model for carbon capture utilization and storage supply chain: A case study in Northeastern China. *Applied Energy* **231**, 194–206 (2018).
10. Yadav, S. & Mondal, S. S. A review on the progress and prospects of oxy-fuel carbon capture and sequestration (CCS) technology. *Fuel* **308**, 122057 (2022).
11. Cuéllar-Franca, R. M. & Azapagic, A. Carbon capture storage and utilisation technologies: A critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts. *Journal of CO₂ Utilization* **9**, 82–102 (2015).
12. Li, L., Zhao, N., Wei, W. & Sun, Y. A review of research progress on CO₂ capture storage, and utilization in Chinese Academy of Sciences. *Fuel* **108**, 112–130 (2013).
13. Daneshvar, E., Wicker, R. J., Show, P.-L. & Bhatnagar, A. Biologically-mediated carbon capture

and utilization by microalgae towards sustainable CO₂ biofixation and biomass valorization – A review. *Chemical Engineering Journal* **427**, 130884 (2022).

14. Vassilev, S. V. & Vassileva, C. G. Composition properties and challenges of algae biomass for biofuel application: An overview. *Fuel* **181**, 1–33 (2016).

15. Bourgougnon, N., Burlot, A.-S. & Jacquin, A.-G. Algae for global sustainability?. in *Advances in Botanical Research* 145–212 (Elsevier, 2021). doi:10.1016/bs.abr.2021.01.003.

16. Fernández, F. G. A. *et al.*. The role of microalgae in the bioeconomy. *New Biotechnology* **61**, 99–107 (2021).

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

18. Alami, A. H., Alasad, S., Ali, M. & Alshamsi, M. Investigating algae for CO₂ capture and accumulation and simultaneous production of biomass for biodiesel production. *Science of The Total Environment* **759**, 143529 (2021).

19. Ugwu, C. U., Aoyagi, H. & Uchiyama, H. Photobioreactors for mass cultivation of algae. *Biore-source Technology* **99**, 4021–4028 (2008).

20. Suparmaniam, U. *et al.*. Insights into the microalgae cultivation technology and harvesting process for biofuel production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **115**, 109361 (2019).

21. 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.

22. Kim, T.-H., Lee, Y., Han, S.-H. & Hwang, S.-J. The effects of wavelength and wavelength mixing ratios on microalgae growth and nitrogen phosphorus removal using *Scenedesmus* sp. for

wastewater treatment. *Bioresource Technology* **130**, 75–80 (2013).

23.Nwoba, E. G., Parlevliet, D. A., Laird, D. W., Alameh, K. & Moheimani, N. R. Light management technologies for increasing algal photobioreactor efficiency. *Algal Research* **39**, 101433 (2019).

24.Safi, C., Zebib, B., Merah, O., Pontalier, P.-Y. & Vaca-Garcia, C. Morphology composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **35**, 265–278 (2014).

25.Errami, M. & Garner, H. A tale of two citations. *Nature* **451**, 397–399 (2008).

Figure Captions

Figure 1. Sistemi di coltivazione aperti ¹⁸

Figure 2. Sistemi di coltivazione chiusi ¹⁸

Figures



Figure 1: Sistemi di coltivazione aperti ¹⁸



Figure 2: Sistemi di coltivazione chiusi ¹² 18