

Le microalghe e i fotobioreattori: il futuro legato alla cattura della CO₂

Pasquale Gabriele¹

¹Affiliation not available

Abstract

Le emissioni di biossido di carbonio (CO₂) sono la problematica principale alla base dei cambiamenti climatici e sono dannose per la salute dell'uomo. Per ridurre tale concentrazione si è sperimentato l'utilizzo di microalghe.

Le microalghe sono i microrganismi più importanti negli ecosistemi acquatici per il bilancio globale del carbonio e sono fondamentali per la cattura e la bioconversione dell'anidride carbonica (CO₂) in energia. Le microalghe vengono coltivate nei fotobioreattori, sistemi chiusi e aperti che permettono alle microalghe di crescere e assorbire la CO₂. Un'ulteriore tipologia di fotobioreattore molto utilizzato è quella a membrana (MPBR).

Uno sviluppo futuro importante legato ai fotobioreattori e alle microalghe potrebbe essere quello di unire i due tipi di sistemi, aperti e chiusi, riuscendo a minimizzare i costi dell'impianto e a permettere una coltivazione su scala industriale.

Introduzione

L'anidride carbonica (conosciuta anche come diossido di carbonio: CO₂) è un gas climalterante di fondamentale importanza nei processi vitali di piante e animali. Da una sua produzione antropica incontrollata deriverebbe infatti un aumento dell'effetto serra (GHG) ¹.

L'aumento dei gas serra è dovuto principalmente all'attività dell'uomo: l'industrializzazione, la

deforestazione e l'urbanizzazione sono i principali fenomeni antropici che causano l'aumento dei gas serra, fenomeno che sta facendo alzare eccessivamente le temperature mettendo a rischio la stessa vita sulla Terra e causando il surriscaldamento globale (global warming) ².

È stato previsto che entro la fine di questo secolo si assisterà ad un aumento di circa 5 °C ³.

Attualmente esistono molte strategie fisico-chimiche di cattura del carbonio ⁴:

- CCS: Carbon Capture and Storage (cattura e stoccaggio del carbonio) che operano su 3 fasi principali che sono cattura, trasporto e stoccaggio di CO₂.
- Ove possibile, la CO₂ non deve essere immagazzinata ma utilizzata come componente chimico per aggiungere valore alla produzione di altri prodotti. Questa è la tecnologia di cattura e utilizzo del carbonio (CCU: Carbon Capture and Utilization). Esiste un'ulteriore tecnologia legata alla CCU: CCU biologica (BCCU), una tecnologia emergente che può essere utilizzata tramite: forestazione o rimboschimento, fertilizzazione oceanica, coltivazione di microalghe ⁵.

Microalghe e fotobioreattori

Le microalghe sono alghe microscopiche presenti nei sistemi di acqua dolce e marina. A seconda della specie, le loro dimensioni possono variare da pochi micrometri (µm) a poche centinaia di micrometri ⁶. Le microalghe non hanno radici, steli o foglie, sono in grado di eseguire la fotosintesi e usano contemporaneamente l'anidride carbonica dei gas serra per crescere fotoautotroficamente (utilizzo di luce e anidride carbonica) ⁷.

Le microalghe sono i microrganismi più importanti negli ecosistemi acquatici per il bilancio globale del carbonio, svolgendo ruoli fondamentali nella fissazione della CO₂ ⁸.

Le microalghe vengono ricercate anche per la produzione di biocarburanti rinnovabili, alimenti, mangimi per animali e acquacoltura, e altri prodotti come cosmetici, prodotti farmaceutici, biofertilizzanti ⁹.

Le recenti analisi tecnico-economiche su microalghe hanno suggerito che l'unico modo possibile per realizzare la potenziale produzione è utilizzare completamente la biomassa in un impianto di bioraffineria integrato in cui ogni componente prezioso viene estratto, elaborato e valorizzato ¹⁰. La crescita fotoautotrofica delle microalghe rappresenta un modello ideale di riutilizzo di CO₂ proveniente dai gas di combustione di centrali elettriche e attività industriali ¹¹.

I fotobioreattori rappresentano i sistemi di coltivazione delle microalghe e sono fondamentali per l'efficace bioconversione della CO₂ ¹². Convenzionalmente, le microalghe sono state coltivate in stagni aperti o fotobioreattori chiusi, entrambi i quali richiedono grandi volumi di acqua e una quantità elevata di energia immessa per la coltivazione, la raccolta e il drenaggio di microalghe ¹³.

È stato stimato che l'economia globale delle alghe abbia un fatturato annuo compreso tra 7 e 8 miliardi di dollari ¹⁴.

Tra i sistemi aperti hanno maggiore rilevanza due tipologie: stagni aperti e raceway. Gli stagni aperti sono sistemi molto semplici con un gigantesco miscelatore rotante al centro dello stagno ¹⁵.

Le piste canalizzate (raceway) hanno invece la direzione del flusso d'acqua canalizzata e controllata dalla velocità di rotazione delle ruote a pale. I sistemi chiusi si basano su fotobioreattori in cui il gas viene inserito attraverso un filtro per gas per evitare la contaminazione ¹⁶.

Esistono moltissime tipologie di fotobioreattori chiusi, alcune delle quali sono: fotobioreattori tubolari (orizzontali, verticali, inclinati), sacchetti in polietilene (big bags), fotobioreattori a pannelli, fotobioreattori elicoidali a forma di cono troncopiramidale ¹⁷.

Esiste un'ulteriore tecnologia che presenta molteplici vantaggi come un funzionamento semplice, un facile ridimensionamento, un basso consumo di energia e nessun uso di sostanze chimiche: tale

tecnologia è quella a membrana ¹⁸.

Le membrane sono generalmente utilizzate in sistemi di fotobioreattori chiusi o semi-chiusi: una combinazione di fotobioreattore (PBR) e membrana è generalmente chiamato fotobioreattore a membrana (MPBR) ¹⁹. L'MPBR può essere classificato in fotobioreattore a membrana di carboidrati (C-MPBR) e fotobioreattore a membrana di ritenzione di biomassa (BR-MPBR) ²⁰.

Nel sistema C-MPBR la membrana migliora il rilascio di anidride carbonica (CO₂) nel mezzo di coltivazione, mentre in BR-MPBR, la membrana esercita una barriera per separare i solidi di biomassa dal liquido ²¹.

Gli MPBR, rispetto ai sistemi convenzionali a membrana, hanno alcune caratteristiche differenti tra cui un non troppo elevato tempo di ritenzione dei fanghi (al di sotto dei 20-30 giorni) ²². Pertanto, non vi è dubbio che la tecnologia con le membrane può svolgere un ruolo vitale nell'intensificazione dei processi della bioraffineria microalgale, compresa la coltivazione, la raccolta e il drenaggio delle microalghe ¹⁴.

Modellazione dell'impianto pilota

Modellare significa, nel linguaggio tecnico, rappresentare un sistema, una macchina, un fenomeno, ecc., mediante un modello. La modellazione 3D (modellazione tridimensionale), nella computer grafica 3D, è il processo atto a definire una forma tridimensionale in uno spazio virtuale generata su computer; questi oggetti, chiamati modelli 3D vengono realizzati utilizzando particolari programmi software, chiamati modellatori 3D, o più in generale software 3D.

Un impianto pilota è un impianto di processo, cioè impianto che appartiene a cicli di lavorazione-

trasformazione di prodotti industriali, di piccola-media taglia utilizzato per replicare il comportamento di grandi impianti industriali. La scala (cioè le dimensioni e la capacità) di un impianto pilota è intermedia tra la scala di laboratorio e la scala industriale.

L'impianto pilota da rappresentare e progettare in 3D si basa sulla cattura di CO₂ e sulla produzione di biomassa per l'energia tramite la coltivazione di microalghe in un sistema chiuso (fotobioreattore a membrana).

Per la modellazione tridimensionale dell'impianto pilota è stato utilizzato il software SolidWorks, un software di disegno e progettazione tridimensionale parametrica, prodotto e commercializzato dalla Dassault Systèmes. Il software prevede la creazione di disegni 2D e 3D di solidi e superfici, attraverso un sistema geometrico di tipo parametrico e completamente personalizzabile.

Gli elementi dell'impianto pilota che sono stati modellati dettagliatamente sono: la colonna verticale, il fotobioreattore, il modulo a membrana, le 4 lampade a Led, il recipiente di 1 litro, uno scaffale su cui poggiare le 2 pompe e il recipiente, e le tubazioni con i raccordi. Gli altri elementi che completano l'impianto pilota sono la bombola di CO₂, il compressore di aria, 2 pompe peristaltiche e 2 flussometri.

La colonna di assorbimento è alta 2,9 metri, ha una capacità massima di 8 litri, un diametro esterno di 7 centimetri ed è fatta con plexiglas (PMMA) nella parte trasparente e in polivinilcloruro (PVC) nelle parti di collegamento tra le parti trasparenti. Il fotobioreattore a membrana ha un'altezza di 60 centimetri (complessiva di 110 centimetri considerando anche la parte in basso), una capacità massima di 40 litri, un diametro esterno di 30 centimetri ed è fatto di plexiglas (PMMA).

La membrana inserita nel fotobioreattore è formata da varie parti assemblate e unite tra di loro tramite dei bulloni. L'intelaiatura della membrana comprende un supporto centrale trasparente e 2 supporti laterali trasparenti in PMMA. Tra questi 3 elementi si inseriscono 4 fogli in Dacron e 2 supporti in plastica in PVC. Successivamente verranno inserite 2 prese per i tubi, 2 diffusori e 2

ventose per mantenere ben salda la membrana nel fotobioreattore.

Per la simulazione del processo dell'impianto pilota è stato necessario l'utilizzo di un ulteriore software: Blender. Blender è un software di modellazione, animazione, montaggio video, composizione e rendering di immagini tridimensionali e bidimensionali. Dispone di funzionalità per la simulazione di fluidi, rivestimenti di particelle, altre simulazioni non lineari e creazione di applicazioni/giochi 3D. Il software Blender è ricco di caratteristiche e potenzialità tipiche di sistemi avanzati di modellazione. Una delle caratteristiche più importanti è il supporto per una grande varietà di primitive geometriche (mesh poligonali, curve di Bézier, font vettoriali), oppure altre caratteristiche uniche sono legate all'uso del tasto destro del mouse per selezionare oggetti (contrariamente ad altri programmi), alle scorciatoie da tastiera. Blender, nel caso specifico dell'impianto pilota considerato, viene utilizzato per simulare due processi distinti. Nel primo processo considerato e simulato il fluido controcorrente nella colonna verticale incontra il gas miscelato, il quale si muove dal basso verso l'alto sempre nella colonna. Con tale processo ci sarà più solubilizzazione della CO_2 nella fase liquida, un fenomeno fondamentale perché le microalghe si trovano nella fase liquida e utilizzano questa CO_2 disciolta. Nel secondo processo considerato il permeato, un liquido ricavato grazie all'utilizzo della membrana e più chiaro rispetto a quello nel fotobioreattore, tramite un tubo legato alla membrana esce dal fotobioreattore e viene fatto convogliare verso il recipiente di 1 litro.

Alla fine si avrà una rappresentazione virtuale dell'impianto pilota molto simile a quella reale, che permetterà di studiare e di capire nel dettaglio le varie parti dell'impianto e i vari processi, tutto grazie ai software SolidWorks3D e Blender.

Conclusioni

Negli ultimi anni sono stati fatti importanti progressi nello sviluppo dei fotobioreattori per la produzione e coltivazione della biomassa delle microalghe tramite la cattura e l'utilizzo della CO₂. Processi combinati con la biomassa microalgale permettono la produzione di bioprodotto e biocarburanti, che hanno tra i tanti vantaggi quello di ridurre drasticamente le emissioni di CO₂, quindi di ridurre l'inquinamento ¹³.

Tuttavia tali progressi devono ancora far fronte a tante problematiche differenti legate a differenti tipi di fotobioreattori, sono necessari ulteriori miglioramenti soprattutto sulla riduzione dei costi di progettazione dei bioreattori. Molti studi si sono concentrati sui fotobioreattori chiusi poiché la qualità della biomassa algale ricavata da tali sistemi è migliore rispetto alla biomassa ricavata dai fotobioreattori aperti ¹⁰. Le sfide principali sono legate a minimizzare i costi dell'impianto e a permettere una coltivazione su scala industriale. Un'ulteriore sfida potrebbe essere quella di unire i due tipi di sistemi, aperti e chiusi, permettendo una coltivazione su larga scala e una qualità della biomassa ricavata molto buona.

Infine bisogna sottolineare che le modellazioni e le simulazioni virtuali sono fondamentali per lo studio di un impianto perché riescono a far comprendere in maniera precisa e semplificata alcuni processi non semplici da visualizzare ad occhio nudo o che richiedono molto tempo di esecuzione.

References

1. 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).

- 2.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).
- 3.Singh, J. & Dhar, D. W. Overview of Carbon Capture Technology: Microalgal Biorefinery Concept and State-of-the-Art. *Frontiers in Marine Science* **6**, (2019).
- 4.Severo, I. A., Deprá, M. C., Zepka, L. Q. & Jacob-Lopes, E. Carbon dioxide capture and use by microalgae in photobioreactors. in *Bioenergy with Carbon Capture and Storage* 151–171 (Elsevier, 2019). doi:10.1016/b978-0-12-816229-3.00008-9.
- 5.Naddeo, V. & Korshin, G. Water energy and waste: The great European deal for the environment. *Science of The Total Environment* **764**, 142911 (2021).
- 6.Senatore, V. *et al.*. Innovative membrane photobioreactor for sustainable CO₂ capture and utilization. *Chemosphere* **273**, 129682 (2021).
- 7.Pervez, M. N. *et al.*. A critical review on nanomaterials membrane bioreactor (NMs-MBR) for wastewater treatment. *npj Clean Water* **3**, (2020).
- 8.Abdallah, H. *et al.*. Amino-functionalized mesoporous nano-silica/polyvinylidene fluoride composite as efficient ultrafiltration membrane. *DESALINATION AND WATER TREATMENT* **205**, 63–75 (2020).
- 9.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).
- 10.Naddeo, V. & Taherzadeh, M. J. Biomass valorization and bioenergy in the blue circular economy. *Biomass and Bioenergy* **149**, 106069 (2021).
- 11.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).

12. 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).

13. 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.

14. Zhang, M., Yao, L., Maleki, E., Liao, B.-Q. & Lin, H. Membrane technologies for microalgal cultivation and dewatering: Recent progress and challenges. *Algal Research* **44**, 101686 (2019).

15. 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:10.1007/978-3-030-13068-8₈3.

16. 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.

17. Płaczek, M., Patyna, A. & Witczak, S. Technical evaluation of photobioreactors for microalgae cultivation. *E3S Web of Conferences* **19**, 02032 (2017).

18. 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).

19. 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).

20. 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.

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

22. Praveen, P., Xiao, W., Lamba, B. & Loh, K.-C. Low-retention operation to enhance biomass productivity in an algal membrane photobioreactor. *Algal Research* **40**, 101487 (2019).

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

24. Severo, I. A., a M. C. Depr, Zepka, L. Q. & Jacob-Lopes, E. Carbon dioxide capture and use by microalgae in photobioreactors. (2019).

25. Singh, J. & Dhar, D. W. Overview of Carbon Capture Technology: Microalgal Biorefinery Concept and State-of-the-Art. (2019).

26. Zhang, M., Yao, L., Maleki, E., Liao, B. & Lin, H. Membrane technologies for microalgal cultivation and dewatering: Recent progress and challenges. (2019).

27. Yen, H., Hu, I., Chen, C., Nagarajan, D. & Chang, J. Design of photobioreactors for algal cultivation. (2019).

28. *Environmental Technologies for the Sustainable Development of the Water and Energy Sectors*. (IWA Publishing, 2020). doi:10.2166/9781789062328.

Figure Captions

Figure 1. Fotobioreattore elicoidale a forma di cono troncopiramidale (fonte: gicon.de)

Figures



Figure 1: Fotobioreattore elicoidale a forma di cono troncopiramidale (fonte: gicon.de)