

# La nuova generazione di fotobioreattori algali per la cattura della CO<sub>2</sub>

Pasquale Colucci<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Affiliation not available

## Abstract

Ad oggi si sente sempre più spesso parlare del problema del surriscaldamento globale dovuto ad un sempre maggiore inquinamento atmosferico da parte delle industrie, agricoltura, automobili ecc., tutto ciò sta portando il nostro pianeta a frequenti e pericolosi disastri ambientali. Molti studi infatti evidenziano che se non ci sarà un inversione di tendenza arriveremo ad un punto di non ritorno oltre il quale la Terra arriverà al collasso. Ad oggi tra le tecnologie in uso per ridurre questo fenomeno la più utilizzata risulta la “Carbon Capture and Storage” la quale nonostante sia stata ampiamente sviluppata, questa risulta estremamente costose e richiedono molta energia. Essa rappresenta semplicemente una soluzione temporanea, che rende irrealizzabile uno sviluppo completo sulla scala richiesta. Una soluzione tecnologica che sta dando risultati incoraggianti circa la cattura dell’anidride carbonica è la “Biological Carbon Capture and Utilizations”. Quest’ultima consiste nel bio-sequestro della CO<sub>2</sub> attraverso fabbriche di cellule microalgali, le quali poi potranno essere utilizzata per la produzione di biofuel, bioenergia e altri prodotti a valore aggiunto

## Introduzione

Uno dei temi fondamentali degli ultimi tempi riguarda il riscaldamento terrestre provocato dal fenomeno dell’effetto serra. I responsabili dell’effetto Serra sono i gas Serra (vapore acqueo, anidride carbonica, biossido di azoto, metano ecc.), la cui presenza innalza ulteriormente la tempe-

ratura media sul pianeta mettendo a rischio la stessa vita sulla Terra. Tra i vari accordi riguardanti misure di contrasto dell'inquinamento atmosferico i più importanti sono stati l'Accordo di Parigi che costituisce un accordo globale che ha come obiettivo quello di mantenere l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto di 2 °C rispetto ai livelli preindustriali, proseguire inoltre l'azione volta a limitare l'aumento di temperatura a 1.5 °C rispetto ai livelli preindustriali, e un'altra importante misura è stato il Protocollo di Kyoto che ha terminato la sua validità il 31/12/12 ed impegnava i Paesi sottoscrittori ad una riduzione che mediamente vale il -5% delle proprie emissioni di gas ad effetto serra (i gas climalteranti, che riscaldano il clima terrestre) rispetto ai propri livelli di emissione del 1990 (baseline), e in percentuale diversa da Stato a Stato. L'unica tecnologia che ad oggi risulta fattibile ed è usata anche a grande scala riguarda la CCS (Carbon Capture and Storage) la quale cattura le emissioni di anidride carbonica alla fonte, ad esempio nella ciminiera di una centrale elettrica, dove è più concentrata, e la trasporta sino ai siti di confinamento attraverso condotte o anche tramite navi. Il confinamento avviene tramite pompaggio in strati geologici porosi e permeabili profondi almeno 1.000 metri, sovrastati da rocce impermeabili alla CO<sub>2</sub>. Tuttavia l'applicazione di queste tecnologie a sorgenti di emissioni di CO<sub>2</sub> è ancora troppo penalizzante in termini energetici ed economici, limitandone quindi l'applicazione su vasta scala. Recentemente, un'alternativa correlata a CCS, ovvero il Biological Carbon Capture and Utilization (BCCU), ha iniziato a attirare l'attenzione mondiale perché in grado di trasformare le emissioni di CO<sub>2</sub> di scarico in prodotti di valore. Il vantaggio principale di questa tecnologia è quello di ottenere alla fine un prodotto di valore commerciale in grado di bilanciare i costi necessari per la cattura di CO<sub>2</sub>. Riguardo la tecnologia CCU biologica il collo di bottiglia riguarda gli elevati costi capitali ed energetici derivanti dai processi di coltivazione, raccolta e successiva valorizzazione delle microalghe. Negli ultimi anni al fine di rendere economicamente fattibile questa tecnologia si stanno sperimentando dei fotobioreattori a membrana, i quali sebbene siano stati introdotti da pochi anni c'è buon ottimismo per il futuro visto che anche società importanti come Eni puntano sulle microalghe, la quale ha già realizzato un impianto a scala reale attraverso il quale

con la valorizzazione della biomassa riesce a bilanciare quelli che sono i costi derivanti dai vari processi <sup>1 2</sup>. Per quanto riguarda i fotobioreattori possono essere di diversa forma e materiale, fondamentale però che quest'ultimi siano trasparenti per permettere una corretta penetrazione della luce. Tra i più usati troviamo quelli tubolari, piastra piana, colonna verticale, big bag ecc <sup>34</sup>.

Nel presente studio è stata fatta una modellazione virtuale per avere una panoramica completa di quello che è il sistema completo per la coltivazione, raccolta e successiva valorizzazione delle microalghe all'interno di un fotobioreattore a membrana. In generale i sistemi di coltivazione possono essere aperti o chiusi <sup>5</sup>, quelli aperti hanno dei costi minori ma sono maggiormente soggetti a svantaggi come evaporazione dell'acqua contaminazione da parte di altri microorganismi, scarso passaggio della luce, invece, nei sistemi chiusi ovvero i fotobioreattori i costi sono più alti però allo stesso modo presentano molti vantaggi, riducono la contaminazione, prevengono l'evaporazione ed inoltre è possibile monitorare costantemente i parametri di crescita delle microalghe<sup>6</sup>. Infatti, ad oggi numerosi studi dimostrano che per produrre biofuel ed altri prodotti ad alto valore, in modo da poter compensare quelli che sono i costi del processo sia energetici che per le apparecchiature, l'unico modo è l'utilizzo di sistemi chiusi i quali permettono di avere una biomassa microalgale di maggiore qualità.

## Modellazione

La modellazione come anticipato riguarda l'intero apparato di sperimentazione per la crescita di microalghe all'interno di un fotobioreattore a membrana <sup>7</sup>. La modellazione è stata fatta con CATIA, un software di progettazione 3D usato nell'ingegneria industriale. Sono stati modellati tutti i componenti dell'apparato sperimentale. In primis è stato modellato il fotobioreattore nel quale avvengono le fasi di crescita e raccolta. In particolare, tra le varie tipologie di fotobioreattori è

stato scelto un fotobioreattore a colonna verticale in Plexiglas. Per quanto riguarda la membrana è stata inserita una membrana dinamica autoformante composta da fogli di Dacron <sup>8 9</sup>, la quale viene inserita all'interno del fotobioreattore dopo l'acclimatazione delle microalghe. Poi abbiamo la colonna di assorbimento anch'essa in plexiglas, la cui funzione è quella di avere un liquido ricco di CO<sub>2</sub> e aria. Nella colonna di assorbimento dall'alto viene immessa l'acqua prelevata all'interno del fotobioreattore e dal basso attraverso due diffusori viene immessa la miscela di CO<sub>2</sub> e aria così da raggiungere un liquido concentrato di anidride carbonica e aria, che verrà poi reimpresso nel fotobioreattore per favorire la crescita delle microalghe<sup>10</sup>. La quantità di anidride carbonica e aria necessaria viene fornita da una bombola di anidride carbonica pura e da un compressore, i quali a loro volta sono collegati a dei flussimetri per regolare la portata. Per il ricircolo dell'acqua dal fotobioreattore alla colonna e dalla colonna di nuovo al fotobioreattore viene usata una pompa peristaltica. Invece un'altra pompa peristaltica viene utilizzata per prelevare il permeato dalla membrana e pomparlo nel contenitore, sul quale poi vengono effettuate le analisi necessarie per monitorare i parametri di crescita. Infine, abbiamo le lampade LED che vengono posizionate intorno al fotobioreattore in modo da garantire una corretta e adeguata penetrazione della luce all'interno del fotobioreattore necessaria per la crescita delle microalghe. Dopo la fase di coltivazione e crescita le microalghe vengono raccolte attraverso una filtrazione a membrana, attraverso il quale si va a rimuovere un enorme quantità di acqua per aumentare la concentrazione della biomassa<sup>11 12</sup>. Infine, dopo essere stata raccolta, vengono estratti i preziosi bioprodotto contenuti nella biomassa (oli, proteine, pigmenti ecc.)<sup>13 14</sup>, i quali saranno utilizzati per produrre biofuel ed altri prodotti in campo farmaceutico, agricolo, cosmetico ecc. <sup>15 16</sup> Un problema legato a questa tecnologia è il fouling delle membrane, ovvero un'incrostazione della membrana che porta ad un dispendio energetico maggiore da parte del sistema e ad una quantità eccessiva di membrane da sostituire che aumenterebbe i costi Capitali ed energetici<sup>17 18</sup>. Già si sta lavorando anche a questo problema, infatti, alcuni studi dimostrano che attraverso nuovi materiali per la membrana e specifici metodi di filtrazione si può ridurre fortemente questo fenomeno <sup>19 20</sup>.

## Conclusioni

Ad oggi le tecnologie a membrana per la crescita di microalghe rappresentano un enorme potenziale come strumento di cattura dell'anidride carbonica, per poi essere valorizzate. Nonostante ad oggi questa tecnologia non sia ancora riuscita ad emergere siccome risulta difficile riuscire a bilanciare quelli che sono i costi del processo, c'è buon ottimismo per il futuro visto che anche società importanti come Eni puntano sulle microalghe, la quale ha già realizzato un impianto a scala reale attraverso il quale con la valorizzazione della biomassa riesce a bilanciare quelli che sono i costi del processo<sup>21 22</sup>. Visto il forte interesse e la continua ricerca, la produzione di biomassa di alghe dovrebbe aumentare nei prossimi decenni con un crescente interesse globale per i biocarburanti e i bioprodotti. I sistemi a membrana sembrano essere la soluzione poiché, possono essere più energeticamente competitivi rispetto ad altri metodi. Insomma, per il futuro si hanno buone prospettive per quella che potrebbe essere una vera svolta ad uno dei problemi ambientali più importanti di sempre come quello del riscaldamento globale<sup>2324</sup>.

## References

1. 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).
2. Yen, H. W., Hu, I. C., Chen, C. Y. & Chang, J. S. Design of Photobioreactors for Algal Cultivation. in *Biofuels from Algae* 23–45 (Elsevier, 2014). doi:10.1016/b978-0-444-59558-4.00002-4.
3. Volatile organic compounds (VOCs) control by combining bio-scrubber and ozone pretreatment.

*Global NEST: the international Journal* (2020) doi:10.30955/gnj.003298.

4.Hasan, S. W., Liu, H., Naddeo, V., Puig, S. & Yip, N. Y. Editorial: Environmental technologies for the sustainable development of the water and energy sectors. *Water Science and Technology* **81**, iii–iv (2020).

5.V. Naddeo, M. J. T. Biomass valorization and bioenergy in the blue circular economy. *Biochemical Engineering Journal* **163**, 107741 (2020).

6.Severo, I. A., Deprá, M. C., Zepka, L. Q. & Lopes, E. J. 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.

7.Senatore, V. *et al.*. Innovative membrane photobioreactor for sustainable CO<sub>2</sub> capture and utilization. *Chemosphere* **273**, 129682 (2021).

8.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.

9.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).

10.Sheyda, P. V. & Barati, J. Mass transfer performance of carbon dioxide absorption in a packed column using monoethanoleamine-Glycerol as a hybrid solvent. *Process Safety and Environmental Protection* **146**, 54–68 (2021).

11.Drexler, I. L. C. & Yeh, D. H. Membrane applications for microalgae cultivation and harvesting: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* **13**, 487–504 (2014).

12.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).

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:10.1007/978-3-030-13068-8<sub>8</sub>.

14.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<sub>8</sub>3.

15.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).

16.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).

17.Sohn, W. *et al.*. A review on membrane fouling control in anaerobic membrane bioreactors by adding performance enhancers. *Journal of Water Process Engineering* **40**, 101867 (2021).

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

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

- 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.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 Sci Technol* **66**, 1627–33 (2012).
- 23.Naddeo, V. & Korshin, G. Water energy and waste: The great European deal for the environment. *Science of The Total Environment* **764**, 142911 (2021).
- 24.Ali, A. A. A., Naddeo, V., Hasan, S. W. & Yousef, A. F. Correlation between bacterial community structure and performance efficiency of a full-scale wastewater treatment plant. *Journal of Water Process Engineering* **37**, 101472 (2020).
- 25.Singh, J. & Dhar, D. W. Overview of Carbon Capture Technology: Microalgal Biorefinery Concept and State-of-the-Art. *Frontiers in Marine Science* **6**, (2019).
- 26.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.
- 27.Kim, J. O., Jung, J. T., Yeom, I. T. & Aoh, G. H. Effect of fouling reduction by ozone backwashing in a microfiltration system with advanced new membrane material. *Desalination* **202**, 361–368 (2007).
- 28.Odour Impact Assessment in Industrial Areas.

## Figure Captions

Figure 1. Fotobioreattori tubolari, a colonna, a piastra piana, big bag

Figure 2. Modellazione virtuale eseguita in CATIA

# Figures

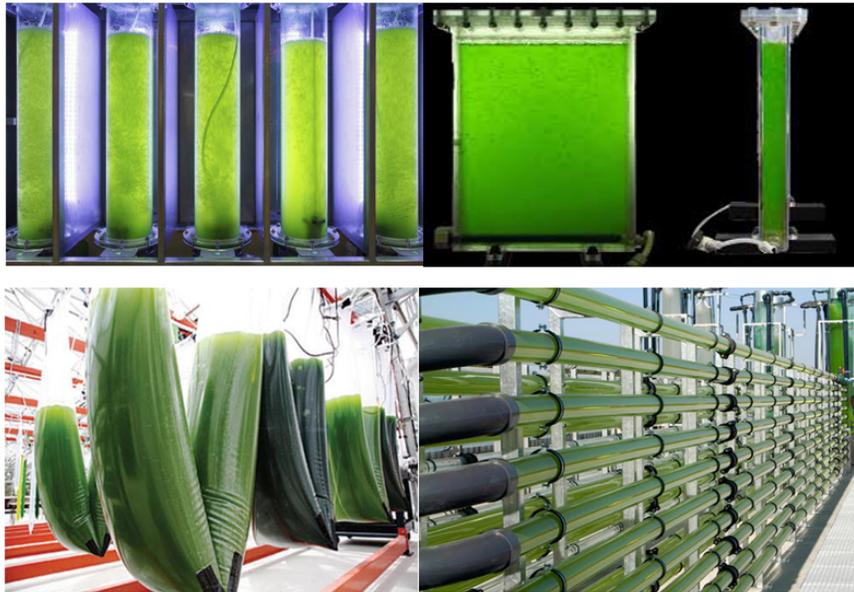


Figure 1: Fotobioreattori tubolari, a colonna, a piastra piana, big bag

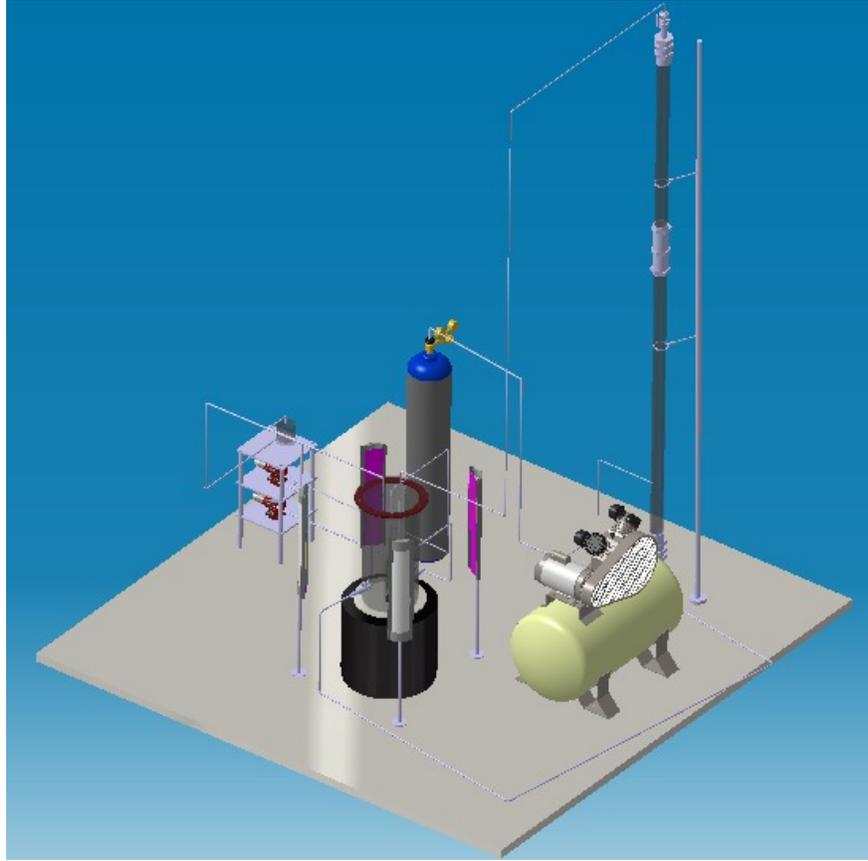


Figure 2: Modellazione virtuale eseguita in CATIA