

Ottimizzazione dei bioreattori a membrana attraverso la sinergia tra alghe e batteri

Antonio Coppola¹

¹Affiliation not available

Abstract

Per il trattamento delle acque reflue solitamente vengono impiegati gli impianti convenzionali a fanghi attivi, i quali si basano su un processo di degradazione biologica della biomassa. All'interno della materia organica presente nelle acque reflue troviamo composti contenenti azoto, principalmente ammoniaca, proteine, urea e nitriti, questi vengono decomposti mediante nitrificazione e denitrificazione da parte dei batteri presenti nella matrice a fanghi attivi. La nitrificazione avviene principalmente in condizioni aerobiche, mentre la denitrificazione si verifica comunemente in assenza di O₂. La combinazione di alghe e batteri nei fanghi attivi è stata utilizzata per la degradazione degli inquinanti nelle acque reflue a causa della loro relazione simbiotica; i batteri nei fanghi attivi degradano la materia organica presente nelle acque reflue rilasciando sostanze nutritive e CO₂ che vengono utilizzate dalle alghe per la fotosintesi. L'ossigeno rilasciato dalle alghe durante la fotosintesi, viene consumato dai batteri come agente ossidante per la degradazione della materia organica facendo ricominciare il ciclo. Inoltre le alghe, assorbendo CO₂ durante la fotosintesi, riducono l'emissione di gas delle acque reflue.

Introduzione

La combinazione di alghe e fanghi attivi (AAS) è stata recentemente applicata nel funzionamento di un bioreattore a membrana (MBR). La principale limitazione nell'applicazione degli MBR è

rappresentata dalle incrostazioni presenti sulle membrane, che diminuiscono attraverso l'aggiunta di alghe, le quali aumentano le prestazioni diminuendo il fouling: questo processo però ha ancora margini di miglioramento poiché i reattori necessitano di pulizia dopo soli 45 giorni di funzionamento.¹ Un tipo di tecnologia molto promettente per la pulizia della membrana consiste nell'irradiazione ultrasonica continua la quale, a differenza dell'irradiazione intermittente, non crea accumuli ed incrostazioni agendo ad una frequenza media (45khz).²

Un altro approccio recente alla mitigazione del fouling della membrana è l'integrazione di MBR con processi elettrochimici.³ L'integrazione elettrochimica ha contribuito in modo significativo alla rimozione di sostanze nutritive che erano un grande problema nei convenzionali MBR: ciò ha portato ad un aumento delle prestazioni del reattore sia in termini di rimozione degli inquinanti sia nella diminuzione delle incrostazioni sulle membrane.⁴

Upgrade delle performance di un MBR attraverso la sinergia di alghe e batteri.^{5 67}

Riduzione	AAS-MBR	e-AAS-MBR	MBR	e-MBR
O2 necessario	98,35 ± 0,35%	99,12 ± 0,08%	97,70 ± 1,10%	98,10 ± 1,70%
Azoto ammoniacale (NH3-N)	43,89%	43,89%	26,61%	26,61%
Fosfato (PO4 3-P)	6,43%	6,43%	2,66%	2,66%
Fouling	57,30%	57,30%	61,95%	61,95%

Casi studio

Diversi sono gli studi che certificano il miglioramento prestazionale della simbiosi tra alghe e batteri per trattare le acque di scarico saline. Un esempio è il progetto SALTGAE coordinato da FUNDACION PARA EL DESARROLLO Y LA INNOVACION TECNOLOGICA e finanziato dall'UE iniziato nel 2016 e durato 3 anni, che ha sfruttando la benefica relazione simbiotica tra alghe e batteri per recuperare acqua, energia e sostanze nutritive dalle acque reflue salate in modo

economicamente conveniente. Le industrie agroalimentari producono grandi quantità di acque reflue con elevati costi relativi al loro trattamento soprattutto per ossigenarle a favore dei batteri che scompongono i rifiuti organici allo scopo di respirare.

Il costo totale del trattamento delle acque è stato ridotto dal 25%, in più il processo produce metano che viene utilizzato per applicazioni energetiche e per recuperare sostanze nutritive, quali azoto e fosforo che in quantità eccessive possono essere dannose per l'acqua.

Il progetto SALTGAE prevede tre fasi per lo smaltimento delle acque reflue:

1. Le acque reflue ricevono ossigeno e vengono trattate mediante un processo di digestione anaerobica da parte dei batteri;
2. Si fa confluire l'acqua parzialmente pulita in uno stagno algale dove un insieme di alghe e batteri lavorano in contemporanea: i batteri trasformano la materia organica in anidride carbonica e le alghe la usano per dar vita alla sintesi clorofilliana convertendola in ossigeno grazie all'energia solare;
3. Si utilizzano gli MBR per rimuovere la salinità e facilitare il riutilizzo di acqua di alta qualità;

Il risultato chiave del progetto è stato l'isolamento di un ceppo batterico anaerobico tollerante al sale in grado di abbattere il contenuto organico mediante digestione anaerobica con produzione di CO₂. Successivamente si è ottimizzato il processo combinando il trattamento delle acque aggiungendo le microalghe come ad esempio *Botryococcus braunii* o *Scenedesmus obliquus* le quali consumano la CO₂ prodotta dai batteri.

Sulla base di questo progetto ci sono tre scenari che stanno utilizzando la sinergia fra alghe e batteri: un sito in Italia sta trattando gli effluenti provenienti dall'industria del latte, un impianto in Slovenia si sta occupando di acque reflue conciarie, mentre un sito in Israele sta processando scarichi di piscicoltura. I tre siti hanno dimostrato i numerosi vantaggi rispetto ai trattamenti convenzionali. «L'utilizzo di una combinazione di batteri e alghe ci consente di risparmiare il

90 % dell'energia necessaria per l'aerazione, oltre a riciclare CO₂ che verrebbe altrimenti rilasciata nell'atmosfera. Inoltre, la biomassa algale prodotta può essere ulteriormente utilizzata e venduta», aggiunge il responsabile tecnico Robert Reinhard.

Un secondo studio specifico con l'utilizzo di microalghe *Chlorella vulgaris* ha indagato la potenziale combinazione di microalghe a fanghi attivi in impianti MBR in assenza (AAS-MBR) e in presenza di un campo elettrico (e-AAS-MBR). In questi ultimi vengono applicati due elettrodi all'interno del reattore attorno al modulo a membrana, per il trattamento delle acque reflue e la mitigazione del fouling delle membrane. ^{1 3}

I bioreattori erano costituiti da un cilindro trasparente che fungeva da serbatoio posto verticalmente al bioreattore al di sotto del quale troviamo i diffusori d'aria che fornivano l'aerazione necessaria alla miscelazione. All'e-AAS-MBR sono stati aggiunti degli elettrodi cilindrici con anodo in alluminio e catodo in acciaio posizionati ad una distanza di 6 cm uno dall'altro; gli elettrodi sono stati attivati ad intermittenza ogni 20 minuti per una durata di 5 minuti. ⁴ Sia gli AAS-MBR che gli E-AAS-MBR sono illuminati, nell'esperimento, da luci a LED con cicli di 12 ore, in modo da rispettare i cicli naturali delle alghe e da aumentare così le rimozioni di composti organici dalle acque reflue. ¹

I moduli a membrana sono stati rimossi dal reattore e puliti dopo l'esperimento con acqua di rubinetto per rimuovere lo strato di incrostazioni e successivamente imbevuti di ipoclorito di sodio per 12 ore. ¹

Alla fine di questo esperimento sono stati confrontati diversi parametri fra gli AAS-MBR e gli e-AAS-MBR, e si è notato che la crescita di alghe e batteri può essere influenzata dal campo elettrico poiché il rapporto tra clorofilla-a e MLVSS nell'e-AAS-MBR era più alto; la crescita in questo tipo di bioreattore è stata più regolare con concentrazioni di clorofilla-a minori e superiori per ML-VSS.⁸ Questo ha dimostrato che la presenza di un campo elettrico ha inibito la crescita

delle microalghe e, al contrario, promosso quella dei batteri. Se l'esposizione al campo elettrico avviene per lunghi periodi c'è un aumento del radicale ossidrilico prodotto dalle microalghe che porta alla diminuzione della loro crescita, ma un'eccessiva quantità del radicale ossidrilico potrebbe portare all'ossidazione delle cellule delle microalghe.³ L'esperimento ha evidenziato che nell'e-AAS-MBR il rapporto tra clorofilla-a e ML-VSS era più alto fino al ventunesimo giorno per poi diminuire e ha evidenziato che dopo l'esposizione ripetuta all'elettricità si verifica un rallentamento del tasso di crescita dei batteri.¹

Conclusioni

In conclusione il trattamento di acque reflue attraverso l'aggiunta di alghe ai fanghi attivi come biomassa ha riportato una riduzione del COD (domanda chimica di ossigeno) pari al 4% in un AAS-MBR rispetto ad un MBR convenzionale: le alghe hanno contribuito alla produzione di ossigeno, all'aumento dell'attività dei batteri e alla diminuzione dei tassi di incrostazione della membrana nei e-AAS-MBR e l'AAS-MBR. Lo studio condotto ha permesso di ottenere ottimi risultati, promettenti per lo sviluppo della sinergia fra alghe e batteri per avere una depurazione sostenibile delle acque reflue e il loro riutilizzo.

References

1. Corpuz, M. V. A. *et al.*. Wastewater treatment and fouling control in an electro algae-activated sludge membrane bioreactor. *ELSEVIER* **786**, (2021).
2. Control of fouling formation in membrane ultrafiltration by ultrasound irradiation.
3. Combination of Electrochemical Processes with Membrane Bioreactors for Wastewater Treat-

ment and Fouling Control: A Review.. *Frontiers Environmental Science* 4 (57), 15.

4.L. Borea, V. B., V. Naddeo. Application of electrochemical processes to membrane bioreactors for improving nutrient removal and fouling control. *Environmental Science and Pollution Research* 24 (1), 321-333.

5.Control of emerging contaminants by the combination of electrochemical processes and membrane bioreactors. *Environmental Science and Pollution Research* 26 (2), 1103-1112.

6.Preparation of novel polyvinylidene fluoride (PVDF)-Tin (IV) oxide (SnO₂) ion exchange mixed matrix membranes for the removal of heavy metals from aqueous solutions. *Separation and Purification Technology* 250, 117250.

7.Are pharmaceuticals removal and membrane fouling in electromembrane bioreactor affected by current density?.

8.Fouling mitigation and wastewater treatment enhancement through the application of an electro moving bed membrane bioreactor (eMB-MBR). *Membranes* 8 (4), 116.

Figure Captions

Figure 1. Fotografie di diverse specie di alghe (destra) e microalghe (sinistra)

Figure 2. Fotografia di *Chlorella vulgaris*, un'alga unicellulare avente forma sferica

Figure 3. Impianto dimostrativo per la depurazione delle acque reflue industriali caratterizzate da elevate concentrazioni di sostanza organica ed elevata salinità. Γ_{18a} $\Gamma_{space factor}$ Ω

Figure 4. Rapporto tra clorofilla-a e MLVSS nell'AAS-MBR e nell'e-AAS-MBR ¹

Figures

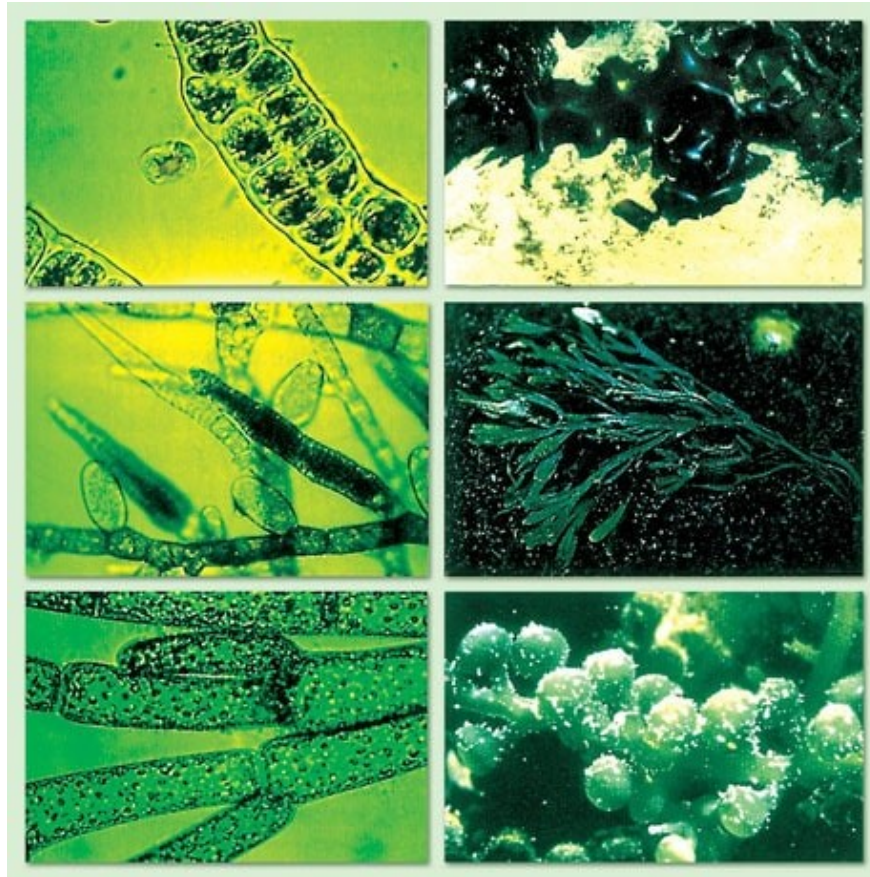


Figure 1: Fotografie di diverse specie di alghe (destra) e microalghe (sinistra)

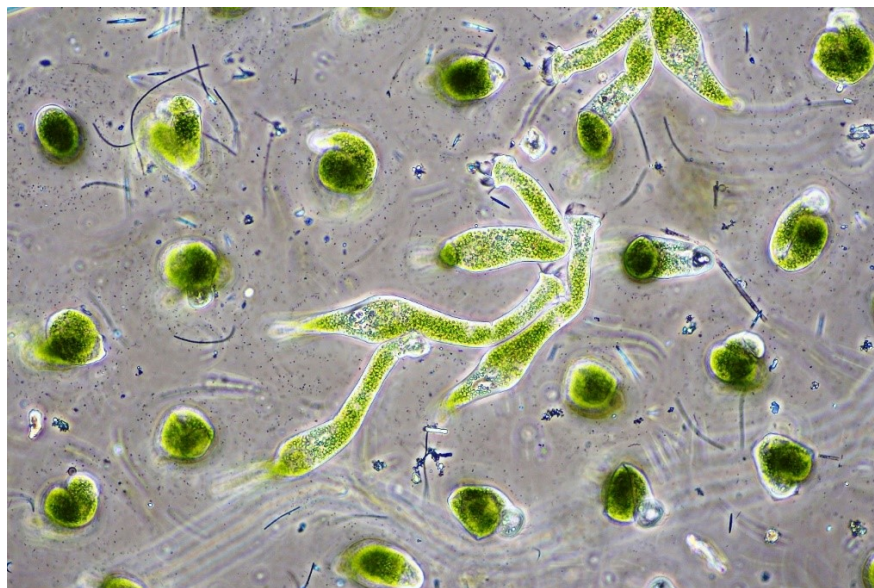


Figure 2: Fotografia di *Chlorella vulgaris*, un'alga unicellulare avente forma sferica



Figure 3: Impianto dimostrativo per la depurazione delle acque reflue industriali caratterizzate da elevate concentrazioni di sostanza organica ed elevata salinità. *tempboxaa@spacefactor* $\Gamma 18a\Gamma@spacefactor.\Omega$

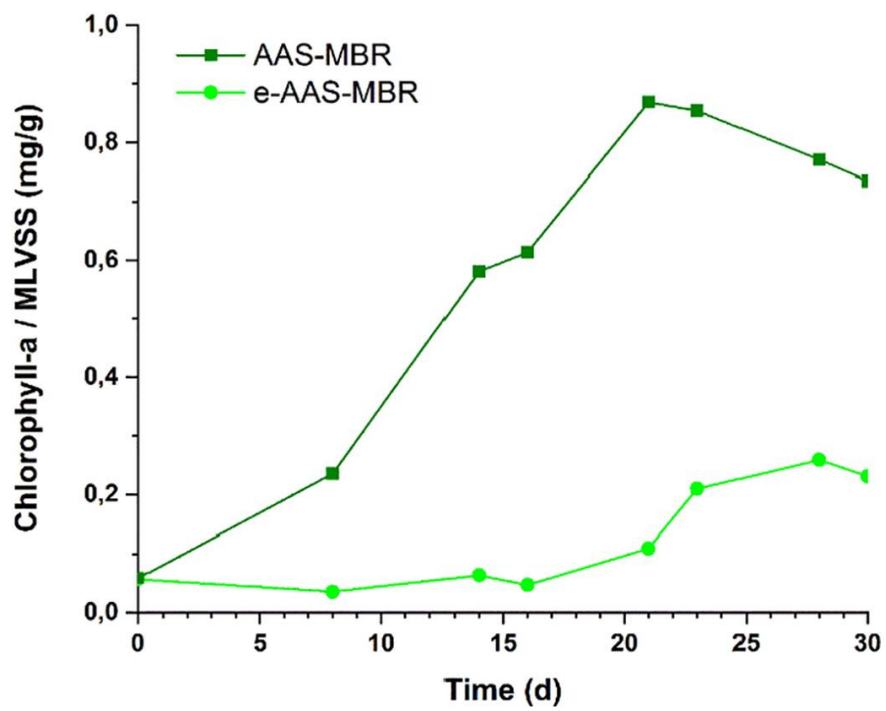


Figure 4: Rapporto tra clorofilla-a e MLVSS nell'AAS-MBR e nell'e-AAS-MBR ¹