

# Bioreattori a membrana e processi elettrochimici per il trattamento avanzato delle acque reflue

Fabiana Romano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tecnologie per l'ambiente

## Abstract

Nell'ambito del trattamento delle acque reflue, di grande utilizzo per la degradazione della sostanza organica è il Bioreattore a Membrana (MBR), problematica di questo reattore è la formazione di fouling sulla membrana. La capacità di fouling della biomassa di un MBR è fortemente influenzata dalla presenza di colloidali e macromolecole (EPS) e altre sostanze organiche non biodegradate o inorganiche in concentrazioni tali da permettere la precipitazione dei relativi Sali sulla superficie delle membrane. L' EPS, Extracellular Polymere Sub-Stances, si compone di polisaccaridi, proteine, acidi nucleici e lipidi. È stato mediato un confronto tra un semplice MBR ed un MBR sottoposto ad un campo elettrico, e-MBR. La presenza del campo elettrico influisce in maniera significativa sulla rimozione del biofilm, patina gelatinosa che viene a formarsi sulla membrana del reattore. Lo sviluppo del biofilm avviene a seguito del Quorum Sensing, canale di comunicazione tra i batteri. Inoltre, i risultati ottenuti dall'applicazione di un campo elettrico al bioreattore a membrana mostrano, in concomitanza del processo, anche la rimozione di quelli che sono i contaminanti emergenti.

## Introduzione

Per il trattamento e riutilizzo delle acque reflue è di ampio utilizzo il sistema MBR, che deriva dall'accoppiamento dei tradizionali processi a biomassa sospesa con i processi di filtrazione su membrane microporose o ultraporose, a seconda delle dimensioni nominali dei pori, il quale prevede che all'interno dell'impianto il refluo, a valle di un processo di degradazione biologica, defluisca passando attraverso una membrana. Lo svantaggio è, però, che con il passare del tempo si va in contro a deterioramento della stessa membrana a causa dell'accumularsi di sostanza organica e batterica su di essa: il biofilm. A seguito di diversi studi scientifici si è scoperto che la comunicazione tra batteri è fondamentale per il loro sviluppo, per la

formazione di nuove colonie e per la formazione di biofilm sulle membrane atte al trattamento delle acque reflue.

In diversi studi in materia si è osservato quanto sia fondamentale tale comunicazione, sviluppata specialmente da sostanze “segnale” come AHL, Acylhomoserine lactones (AHLs) <sup>1,2</sup>, le quali sono in grado di fornire i giusti input agli altri microrganismi in maniera tale da formare uno strato di biofilm, sorta di pellicola gelatinosa che impedisce il corretto funzionamento delle membrane MBR. Il meccanismo di comunicazione tra batteri prende il nome di Quorum Sensing. Il Quorum Sensing, perciò, è un processo di comunicazione chimica batterica cellula-cellula che si basa sulla produzione, rilevazione e risposta a molecole di segnalazione extracellulare chiamate autoinduttori. Il rilevamento del quorum consente a gruppi di batteri di alterare in modo sincrono il comportamento in risposta ai cambiamenti nella densità della popolazione e nella composizione delle specie della comunità vicina. La comunicazione mediata dal quorum sensing è ora considerata la norma nel mondo batterico <sup>3</sup>.

Ricerche successive, agendo sulla relazione tra il Quorum Sensing (QS) (Fig.1) e il biofouling di membrana in MBR hanno fatto sì che si potesse apprezzare lo sviluppo di meccanismi di Quorum Quenching (QQ) <sup>4</sup>, strategia che interrompe il canale di comunicazione tra i batteri, inibendo lo sviluppo del biofouling sulla membrana. La degradazione delle molecole del QS da parte dell'acilasi o di batteri specifici, chiamata “quorum quenching”, è efficace per ridurre lo sporcamento della membrana <sup>5</sup>.

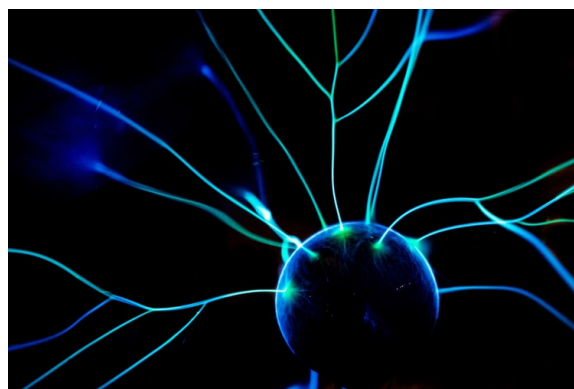


Figure 1: Quorum Sensing

Bisogna precisare che immobilizzare continuamente i batteri QQ all'interno di un MBR potrebbe alterare, in maniera negativa, le caratteristiche dei fanghi. Al contrario, l'applicazione di un campo elettrico all'interno di un MBR (electro MBR / eMBR) ha effetti sul fouling di membrana e migliora la qualità degli effluenti rimuovendo anche i cosiddetti contaminanti emer-

genti (EC) <sup>6</sup>. L'idrodinamica dell'EMBR influisce significativamente sui trasferimenti di massa e sulla cinetica di reazione, esercitando un effetto pronunciato sulle prestazioni del reattore <sup>7</sup>.

## Setup sperimentale

Nello studio analizzato <sup>8</sup>, l'eMBR era caratterizzato da un anodo cilindrico in alluminio perforato e un catodo a maglie in acciaio inossidabile situato, a una distanza tra loro di 6 cm, all'interno di un bioreattore cilindrico attorno al modulo della membrana. Il campo elettrico è stato fornito agli elettrodi attraverso un alimentatore CC esterno digitale. Il modulo a membrana, posto al centro del bioreattore, era un modulo di ultrafiltrazione a fibra cava per ultrafiltrazione sommersa. La membrana era di fluoruro di polivinilidene (PVDF) con una dimensione nominale dei pori di 0,04  $\mu\text{m}$  e una superficie della membrana effettiva di 0,047  $\text{m}^2$  <sup>8</sup>.

Il reattore ha funzionato ininterrottamente con un tempo di ritenzione idraulica di 19 h in due cicli successivi come un MBR convenzionale, e come un eMBR con una densità di corrente di 0,5 mA / cm applicata agli elettrodi in modo intermittente, per ridurre gli effetti avversi sulla biomassa e, allo stesso tempo, limitare il consumo di energia <sup>8</sup>.

La resa di rimozione delle sostanze presenti nel refluo da sottoporre a trattamento biologico, a seguito della somministrazione dello stesso a trattamento e-MBR, risulta essere il 36% - 76% in più rispetto a quella ottenuta dal semplice trattamento MBR.

## Considerazioni

La bassa attività microbica dei fanghi attivati e le gravi incrostazioni di membrana rimangono ancora grandi sfide nell'applicazione mondiale della tecnologia MBR. Al giorno d'oggi, sempre più progressi nella ricerca e nello sviluppo di MBR avanzati con nuovi materiali e processi ibridi sono in arrivo. Numerosi studi sono volti a fornire una panoramica sulla prospettiva di ceppi ad alta efficienza applicati nell'MBR per il potenziamento dell'attività biologica e la riduzione del fouling. Vi sono sistemi ibridi di MBR integrati con alcuni nuovi moduli a membrana dinamica e/o con altre tecnologie come i processi di ossidazione avanzata (AOP). <sup>9</sup>

Lo studio <sup>8</sup> ha portato ad una ragguardevole soluzione: il campo elettrico applicato ad un bioreattore a membrana permette una rimozione più spinta dei contaminanti presenti all'interno del refluo da sottoporre a trattamento. È stata trovata una riduzione della concentrazione di C8-HSL

come molecola di segnalazione del QS. Questa riduzione corrispondeva a una diminuzione delle concentrazioni di precursori di fouling di membrana<sup>8</sup>.

Perciò, si immagina che in futuro si vada in contro a tecnologie sempre più innovative volte ad ottimizzare al meglio il trattamento delle acque reflue preservando, al contempo, sempre più, il massimo dell'efficienza dei reattori.

## References

1. Wu, Y. S. Y. G. D. W. K. L. G. Potential roles of acyl homoserine lactone based quorum sensing in sequencing batch nitrifying biofilm reactors with or without the addition of organic carbon. *Bioresource Technology* **259**, 136–145 (2018).
2. Koyuncu, B. Y. G. I. Assessment of new environmental quorum quenching bacteria as a solution for membrane biofouling. *Process Biochemistry* **61**, 137–146 (2017).
3. Bassler, S. M. B. L. Bacterial quorum sensing in complex and dynamically changing environments. *Nature Reviews Microbiology* **17**, 371–382 (2019).
4. Liang, H. Y. F. Q. X. Z. P. W. G. L. H. Effect of quorum quenching on biofouling and ammonia removal in membrane bioreactor under stressful conditions. *Chemosphere* **199**, 114–121 (2018).
5. Chiemchaisri, R. H. P.-T. P. T. T. S. P. S. P. P.-N. H. C. T. M. N. W. C. C. Diversity of N-acyl homoserine lactones in activated sludge detected by Fourier transform mass spectrometry. *npj Clean Water* **2**, (2019).
6. Belgiorno, L. B. V. N. V. Application of electrochemical processes to membrane bioreactors for improving nutrient removal and fouling control. *Environmental Science and Pollution Research* **24**, 321–333 (2016).
7. Yu, Y.-Z. W. Y.-K. W. C.-S. H. H.-Y. Y. G.-P. S. J.-Y. S. Y. M. H.-Q. Hydrodynamics of an Electrochemical Membrane Bioreactor. *Scientific Reports* **5**, (2015).
8. Choo, L. B. V. N. V. B. K.-H. Control of quorum sensing signals and emerging contaminants in electrochemical membrane bioreactors. *Bioresource Technology* **269**, 89–95 (2018).
9. Zhang, L. Q. Y. Z. Z. X. G. Advanced membrane bioreactors systems: New materials and hybrid process design. *Bioresource Technology* **269**, 476–488 (2018).
10. Errami, M. & Garner, H. A tale of two citations. *Nature* **451**, 397–399 (2008).

11. Choo, L. B. V. N. V. B. K.-H. Control of quorum sensing signals and emerging contaminants in electrochemical membrane bioreactors. *Biore-source Technology* **269**, (2018).