

---

## SOMMARIO

Nonostante il diffuso impiego che i Membrane BioReactors (MBRs) trovano oggi nel campo del trattamento delle acque reflue urbane e industriali, una fondamentale mancanza di comprensione di molteplici aspetti legati al processo compromette l'utilizzo di tali sistemi su larga scala, limitandone l'applicazione a realtà in cui sia possibile sostenere i più elevati costi di installazione e di gestione a fronte di una qualità maggiore dell'effluente finale. La principale criticità di tali sistemi è rappresentata senza dubbio dal fenomeno del fouling, o sporcamento, delle membrane destinate alla filtrazione del refluo. Una non corretta gestione dell'impianto, con conseguente insorgenza di fouling sino a livelli non tollerabili dal sistema, porta inevitabilmente alla perdita dell'integrità delle membrane e a gravi problemi di gestione legati alla qualità dell'effluente sversato nel corpo idrico.

E' da tale problematica, pertanto, che scaturisce l'intensa attività di ricerca che negli ultimi 15 anni ha caratterizzato il mondo scientifico nel campo del trattamento delle acque reflue urbane ed industriali. La possibilità di limitare o contrastare la formazione del fouling, nonché la volontà di comprendere appieno i meccanismi e le cause caratterizzanti detto fenomeno, rappresentano senza dubbio alcuno le *driving forces* che hanno supportato una vasta produzione a scala globale di articoli scientifici focalizzati su tale aspetto.

Ad oggi, resta sostanziale la difficoltà nel prevedere lo sviluppo del fenomeno del fouling nel tempo, ed i modelli disponibili in letteratura ancora non gestiscono appieno le molteplici variabili che caratterizzano il processo.

Il presente lavoro si configura pertanto come uno sforzo teso ad introdurre innovazioni nel campo del controllo del fouling in sistemi MBR.

Nonostante i numerosi studi compiuti in tale campo, i sistemi a scala reale continuano a prevedere protocolli di pulizia delle membrane essenzialmente basati su processi chimici e/o fisici, rimuovendo parte del fouling venutosi a creare. Ciò evidenzia la totale assenza di sistemi che vadano ad agire sulle caratteristiche del layer che viene a crearsi, e ancor più sul processo di formazione del fouling stesso, o in altri termini sulle

cause del fenomeno. La formazione del fouling in sistemi MBR comporta l'aumento dei livelli pressori (misurati come TransMembrane Pressure, o TMP), solitamente fino a valori tali da richiedere l'interruzione delle operazioni di filtrazione per lasciar spazio a procedure di lavaggio delle unità coinvolte; in aggiunta, l'aumento dei livelli pressori comporta anche un incremento dei costi energetici da parte delle opere elettromeccaniche a servizio del sistema MBR. Normalmente, il lavaggio chimico delle membrane prevede l'utilizzo di reagenti quali NaOCl,  $C_6H_8O_7$  o  $H_2C_2O_4$  per rimuovere la sostanza organica e/o inorganica depositata sulla membrana. Tali protocolli ovviamente portano ad un ulteriore aumento dei costi di gestione dell'impianto – che possono raggiungere valori insostenibili qualora si renda necessaria la sostituzione delle membrane per perdita dell'integrità fisica (solitamente causata da una non corretta gestione del fouling).

Il presente lavoro mira dunque al raggiungimento di tre macrobiettivi per individuare strategie innovative volte al controllo del fouling in sistemi MBR: a) ridurre la compressione del layer di fouling – dovuta alla filtrazione continua – che si crea sulla membrana; b) limitare lo sviluppo del fouling in termini di produzione dei metaboliti che originano la formazione del layer; c) individuare parametri indicatori in grado di consentire un monitoraggio efficace del flusso dei composti capaci di causare il fouling.

La ricerca portata avanti durante il Ph.D. program è stata sviluppata presso l'Università degli Studi di Salerno, Italia (Sanitary Environmental Engineering Division - Dipartimento di Ingegneria Civile) per i primi due anni del programma, e presso la University of Washington, Stati Uniti (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale) durante il terzo anno.

Durante il corso di dottorato, sono stati sviluppati tre diversi setup sperimentali :

- Un primo setup composto da un'unità a membrane e un trasduttore di pressione, al fine di trattare una soluzione sintetica rappresentante un effluente biologico;
- Un secondo setup, costituito da un MBR convenzionale a scala di laboratorio, al fine di trattare un refluo urbano sintetico, controllato da remoto attraverso un sistema di registrazione/memorizzazione di dati;

---

- Una terzo setup, costituito da un reattore a scala di laboratorio, d'ora in poi denominato Bio-Entrapped Membrane Reactor (BEMR), nel quale è stato introdotto un innovativo sistema di degradazione biologica.

I risultati dell'attività di ricerca svolta nel corso del programma di dottorato possono essere riassunti come segue:

- I risultati della prima fase indicano che riduzioni significative dei livelli pressori come TMP (fino al 40 % dopo 3 ore) possono essere raggiunti mediante l'impiego di nanomateriali atti a prevenire la compressione del fouling.

- I risultati della seconda fase mostrano che il sistema BEMR porta ad una quasi totale degradazione biologica della sostanza organica – il reattore è alimentato con un refluo sintetico pari a 300 mg/L come COD.

- I trend di TMP a 20, 30 e 40 LMH ottenuti utilizzando un sistema BEMR mostrano una congrua riduzione dei valori di pressione rispetto ad un MBR convenzionale. Tale risultato evidenzia i vantaggi in termini di vita delle membrane e di riduzione dei costi operativi grazie all'impiego di sistemi BEMR.

- Sia l'MBR convenzionale che il BEMR producono TEP di natura principalmente colloidale, che probabilmente rappresenta la principale causa di fouling sulle membrane.

- Il monitoraggio della concentrazione di TEP in un BEMR (terza fase) mette in evidenza le potenzialità di questo parametro come indicatore del fouling per i sistemi MBR/BEMR. I TEP mostrano il comportamento tipico dei sottoprodotti dell'attività batterica dopo aver sperimentato un disturbo, dopo il quale si assiste ad un nuovo aumento delle concentrazioni di TEP, mentre le concentrazioni di SMP nel sistema sono rimaste costanti.

Il sistema BEMR rappresenta quindi una soluzione innovativa per fronteggiare il problema del fouling. Lo sviluppo di biomassa in forma confinata riduce la quantità di sottoprodotti della degradazione biologica che raggiungono la superficie della membrana, limitando quindi il fouling. Il sistema dovrà comunque essere testato a scala reale, per cui ulteriori ricerche ed approfondimenti si rendono necessari per valutare le potenzialità effettive del sistema, anche in termini economici.