



**DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA CIVILE PER  
L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO**  
X Ciclo - Nuova Serie (2009-2011)  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

# **MECCANISMI DI FORMAZIONE DEL FOULING NEI BIOREATTORI A MEMBRANE**

**FOULING MECHANISMS IN MEMBRANE BIOREACTORS**

## **ABSTRACT**

**ING. DANIELE RICCO**

Relatore:  
PROF. ING. RODOLFO M. A. NAPOLI

Coordinatore  
PROF. ING. LEONARDO CASCINI

Correlatore:  
PROF. ING. VINCENZO NADDEO

## Sommario

L'introduzione, nell'ultimo decennio, di limiti normativi sempre più restrittivi per lo scarico dei reflui trattati (D. Lgs. 152/2006) o il loro riutilizzo per scopi irrigui e industriali (D. Lgs. 185/2003) rende necessari interventi di up-grade degli impianti di depurazione esistenti e l'utilizzo di tecnologie innovative in grado di assicurare maggiori efficienze depurative.

Tra le moderne tipologie impiantistiche, i bioreattori a membrana (MBR), derivanti dalla combinazione dei processi di degradazione biologica a fanghi attivi e di filtrazione su membrana, sono oggi sempre più utilizzati nel trattamento di reflui civili e industriali grazie all'elevata qualità degli effluenti trattati, a fronte di ridotte superfici d'ingombro.

Il principale svantaggio degli MBR è rappresentato dal fouling (o "sporcamento") delle membrane, che comporta un incremento non trascurabile dei costi d'investimento e di gestione di tali impianti e la progressiva riduzione dell'efficienza della filtrazione.

Il fouling è sensibilmente influenzato dalle condizioni operative, dalla tipologia di materiali e dalla configurazione delle membrane filtranti, oltre che dalla miscela liquida, ricca di colloidali, fango biologico e macromolecole disciolte.

Le componenti macromolecolari, comunemente dette "Sostanze Polimeriche Extracellulari", includono polisaccaridi, proteine, acidi nucleici, lipidi e altri polimeri presenti sulla superficie cellulare dei singoli microrganismi e nello spazio intercellulare degli aggregati microbici.

Esperienze scientifiche testimoniano come la presenza di EPS nella miscela liquida sia tra le principali cause del fouling. Nel tentativo di approfondire le conoscenze concernenti i meccanismi di evoluzione del fenomeno, l'attività sperimentale, svolta presso il Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale dell'Università degli Studi di Salerno e, per un quadrimestre, presso la Scuola di Scienze Applicate della Cranfield University (UK), è stata finalizzata all'individuazione e caratterizzazione dei meccanismi di fouling occorrenti nella filtrazione a flusso costante di sospensioni sintetiche di polisaccaridi comunemente prodotti dalla biomassa di reattori MBR operanti a scala reale o facilmente rilevabili perché già presenti nei reflui trattati. L'impiego di due differenti set-up sperimentali di filtrazione tangenziale e ortogonale, e di apparecchiature di analisi dimensionale ha permesso di analizzare l'influenza, sulle performance della filtrazione, della concentrazione iniziale dei composti indicatori nell'alimentato, del flusso di permeato applicato, della distribuzione dimensionale delle particelle in sospensione nella miscela liquida, delle condizioni idrodinamiche in prossimità delle membrane.

L'utilizzo di sospensioni sintetiche dei cinque polisaccaridi (alginato di calcio, alginato di sodio, gomma di xantano, destrano e  $\beta$ -1,3-glucano) ha inoltre permesso di esaminare in maniera più approfondita il ruolo delle EPS nell'evoluzione temporale della resistenza alla filtrazione.

I dati di pressione registrati nel corso delle prove di laboratorio mostrano come l'alginato di calcio sia il carboidrato con la maggiore propensione al fouling; il destrano ed il  $\beta$ -1,3-glucano sono invece responsabili di un incremento molto più contenuto della pressione transmembranale nel tempo.

Il fouling, registrato nelle prove di filtrazione ortogonale e tangenziale, diviene più marcato all'aumentare della concentrazione iniziale dei composti impiegati. La linearizzazione dei dati di pressione, rilevati nella filtrazione tangenziale ed ortogonale delle sospensioni di xantano e degli alginati di calcio e di sodio, secondo le equazioni di pore blocking e cake formation testimonia la progressiva deposizione di materia sulla superficie filtrante a formare un cake. Con il procedere della filtrazione tangenziale, si rileva tuttavia per gli alginati l'incremento pressoché esponenziale della pressione transmembranale, a conferma dell'instaurarsi di meccanismi di fouling complessi. Differenti tendenze presentano le sospensioni di  $\beta$ -1,3-glucano e di destrano, per le quali l'incremento temporale della TMP è assai contenuto.

L'analisi della distribuzione dimensionale delle particelle nei campioni di alimentato, concentrato e permeato ha poi evidenziato la presenza in sospensione di microaggregati di dimensioni variabili nel tempo e fortemente influenzate dalle caratteristiche del sistema di filtrazione e dall'idrodinamica in prossimità della membrana. Nelle prove di filtrazione tangenziale, le dimensioni delle particelle, con la sola eccezione del destrano, tendono gradualmente a ridursi nel corso dei test; nelle prove di filtrazione ortogonale si registra invece un sostanziale incremento dimensionale nel tempo per tutti i composti

analizzati. Il fenomeno rilevato nei test di filtrazione tangenziale è dovuto, in parte, alla deposizione sulla membrana degli aggregati di dimensioni maggiori, responsabili dell'incremento di TMP, ed in parte alla loro disgregazione, indotta dall'idrodinamica e dalle caratteristiche costruttive dei set-up sperimentali. In tali condizioni, il meccanismo di trasporto esercitato dalla corrente di retentato è quello della diffusione indotta dalla sollecitazione tangenziale. Nei test di filtrazione ortogonale, la ridotta turbolenza favorisce invece l'aggregazione delle particelle.

Lo studio condotto testimonia come i composti indicatori abbiano differenti proprietà chimico-fisiche ed una diversa propensione al fouling.

## Abstract

Water and wastewater reclamation and reuse have expanded so rapidly in recent years that international and regional standards have been evolved in many Countries. The most common strategies for water reuse deal with the up-grade of the existing wastewater treatment plants and the use of innovative technologies that can provide greater removal efficiencies.

Among modern plant types, Membrane Bio-Reactor (MBR), as a combination of activated sludge and membrane filtration processes, are now increasingly used to treat the municipal and industrial wastewaters, mainly because of the effluent high quality compared to the small footprint. The main MBR disadvantage is the membrane fouling that means higher investment and operating costs and filtration efficiency reduction over time.

Fouling is greatly influenced by the membranes characteristics and the mixed liquor, that is full of colloids, dissolved macromolecules and biological sludge. The macromolecular components, generally named "Extracellular Polymeric Substances" (EPS), include polysaccharides, proteins, nucleic acids, lipids and other polymeric compounds which can be found at the cell surface and intercellular space of microbial aggregates. EPS content, as the main membrane fouling cause in the treatment of biological feeds, is scientifically proven.

In order to increase the knowledge about fouling mechanisms and the dependence on chemical and physical characteristics of the treated suspensions, and on the hydrodynamic conditions of the filtration system, the research activity was focused on the characterization of the EPS major fouling mechanisms using two lab-scale MBR plants operating at dead-end and cross-flow filtration. The influence of hydrodynamics and suspensions particle size distribution were also assessed to analyse the fouling behaviour.

The research was carried out at the Environmental Engineering Laboratory at University of Salerno, and for a quarter, at the laboratories of the School of Applied Sciences at Cranfield University (UK).

Tests show the strong influence on fouling by different types of polysaccharides, their initial concentration, temporal variation of particle size distribution in filtered suspensions.

The filtration system hydrodynamics also affects significantly particles transport mechanisms by the flow, and thereby the polysaccharides deposition on membranes and their tendency to form aggregates. During cross-flow filtration tests the shear induced diffusion is the main transport mechanism.

Tests also show a cake build-up on the membrane surface, whose thickness is strongly affected by hydrodynamic conditions and characteristics of polysaccharides deposited at the membrane surface.