

Impianto di depurazione delle acque reflue: progettazione di impianti con bioreattori a membrane (MBR) e confronto con processi convenzionali

FABIO PASTORE¹

¹Affiliation not available

Abstract

In considerazione della sempre minore disponibilità di acque di buona qualità, un tema, oggetto di attenzione sia scientifica che legislativa, è la possibilità di riutilizzo delle acque reflue. Obiettivo del riutilizzo è la limitazione del prelievo delle acque superficiali e sotterranee, e la riduzione degli scarichi sui corpi idrici recettori. Il trattamento biologico rappresenta la fase più importante del ciclo depurativo delle acque reflue. I naturali processi biologici sono sfruttati all'interno degli impianti a fanghi attivi (CAS). Gli impianti di depurazione MBR si sono affermati nel panorama nazionale e internazionale come una consolidata alternativa ai convenzionali impianti a fanghi attivi, in particolare laddove sia necessario contenere l'ingombro planimetrico e/o garantire un effluente di qualità elevata. L'attività di tirocinio, svolta presso il Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale (SEED) dell'Università degli Studi di Salerno, è stata finalizzata in una prima fase allo studio approfondito e al confronto tra le tipologie di trattamento convenzionali e innovative e, nella seconda fase, alla progettazione di modelli virtuali tridimensionali che rappresentano impianti innovativi, basati sull'utilizzo della tecnologia MBR.

Introduzione

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. Purtroppo, questi impianti di trattamento non sempre riescono a garantire un'elevata efficienza di depurazione. Sono presenti limiti di qualità delle acque allo scarico imposti dalla Direttiva europea sulle acque, limiti recepiti dalla norma italiana con il D.lgs. 152/2006. Per fare in modo di raggiungere concentrazioni allo scarico sempre più ridotte, negli ultimi anni, il mondo della ricerca nel campo dell'ingegneria ambientale ha lavorato sullo sviluppo di tecnologie avanzate di trattamento attraverso le quali implementare processi di rimozione molto spinti con elevati rendimenti. Tra queste si collocano i bioreattori a membrana definiti con l'acronimo MBR, i quali sono caratterizzati dalla combinazione dei processi di degradazione biologica a fanghi attivi e della filtrazione su membrana. Nel campo civile i sistemi MBR offrono una serie di vantaggi e svantaggi rispetto ai sistemi tradizionali. Gli MBR consentono effluenti di elevata qualità sotto tutti gli aspetti. Inoltre, la presenza di batteri, tra cui quelli patogeni, e virus nell'effluente è drasticamente ridotta, eliminando, così, la necessità della disinfezione e riducendo, quindi, i problemi di formazione di sottoprodotti della disinfezione. La sostituzione del sedimentatore con un comparto di filtrazione a membrana permette una notevole riduzione dell'ingombro planimetrico dell'impianto di depurazione. La maggiore concentrazione della biomassa permette di mantenere un'elevata età dei fanghi e quindi una produzione minore di fanghi di supero, con conseguente riduzione dei costi per lo smaltimento¹. La trasformazione dei reattori biologici tradizionali in bioreattori a membrana risulta particolarmente vantaggiosa come intervento di adeguamento degli impianti di depurazione esistenti, in conseguenza di incrementi di carichi o di necessità di raggiungimento di standard di qualità idonei a consentire il riutilizzo dell'effluente depurato, senza dover intervenire drasticamente sulle strutture. A fronte dei vantaggi va tuttavia detto che questa tecnologia presenta alcuni svantaggi, quali: Il fouling, elevati costi di investimento e elevati costi di gestione e manutenzione, dovuti

principalmente dal rilevante impiego energetico connesso alle esigenze di applicare il gradiente di pressione necessario alla filtrazione nonché di insufflare aria per il controllo del fouling ².

Il fouling e i suoi precursori

Il fouling risulta essere il principale svantaggio della tecnologia MBR in quanto determina una perdita di efficienza della membrana. Si definisce pore blocking, quando le particelle hanno dimensioni inferiori a quelle dei pori e ne provocano l'occlusione parziale o totale. Si definisce cake deposition la formazione di uno strato di particelle caratterizzate da dimensioni più grandi di quella dei pori della membrana ³. Il fouling può essere classificato in fouling reversibile se rimosso con la pulizia fisica, irreversibile se rimosso solo tramite la pulizia chimica e irrecuperabile se si sviluppa in tempi più lunghi e non può essere rimosso da alcun tipo di trattamento, motivo per il quale in seguito all'accumulo di questa aliquota nel tempo, è necessario provvedere alla sostituzione della membrana stessa ⁴. Il fouling inoltre presenta una serie di impatti negativi come: la riduzione del flusso di permeato, l'aumento della pressione di transmembrana (TMP), gli elevati consumi energetici dovuti all'insufflazione di aria che ne rallenta il processo e frequenti pulizie della membrana fin quando non è necessaria la sostituzione della membrana stessa ⁵. I principali precursori del fouling sono sostanze viscoso definite Sostanze Polimeriche Extracellulari (EPS), se legate ai fiocchi, e Prodotti Microbici Solubili (SMP), se liberamente presenti nel surnatante ⁶. Altro gruppo, è quello delle Particelle Esopolimeriche Trasparenti (TEP) ⁷. Le EPS e gli SMP si compongono di polisaccaridi, proteine, lipidi, acidi nucleici e altri composti polimerici, che possono provenire dalla lisi cellulare, da metaboliti microbici o componenti dei reflui non metabolizzati ⁸. I polisaccaridi e le proteine sono considerati le principali frazioni responsabili della formazione del fouling ⁹. Per quanto riguarda le TEP, sono particelle trasparenti e che mostrano le caratteristiche dei gel. Le TEP non solo contengono polisaccaridi, ma possono anche includere proteine, lipidi, aminoacidi, elementi traccia e metalli pesanti. Ciò suggerisce che il TEP può essere una fonte di nutrienti e

siti di attaccamento per i microrganismi. Si tratta di grandi particelle organiche che si trovano solo nell'acqua di mare, nell'acqua di superficie e, secondo recenti studi, nelle acque reflue ¹⁰.

Attività sperimentale

Gli obiettivi dell'attività sperimentale riguardano la modellazione virtuale tridimensionale di un impianto operante in modalità convenzionale a fanghi attivi (CAS) e un impianto con tecnologia innovativa tramite processi MBR. La modellazione è stata ultimata con la realizzazione dei prototipi mediante stampa 3D. Entrambi gli impianti sono dimensionati per 6500 abitanti equivalenti. La linea di impianto MBR è costituita da una sezione a fanghi attivi ad aerazione prolungata prevedente il trattamento con filtrazione finale mediante fibre cave. La superficie a disposizione si suddivide in zone cui corrispondono diversi stadi biologici: Predenitrificazione, Ossidazione-Nitrificazione e Filtrazione finale a membrana. La predenitrificazione consiste nella denitrificazione con zona anossica in testa allo stadio di ossidazione-nitrificazione. A monte dello stadio di denitrificazione sarà fatto confluire sia un opportuno flusso di fango di ricircolo, sia un definito flusso di miscela aerata prelevati all'uscita dello stadio di filtrazione finale a membrane. In questa fase avviene l'assorbimento dell'ossigeno prelevato dai nitrati, che verranno prodotti nello stadio di ossidazione-nitrificazione, da parte di microrganismi eterotrofi facoltativi quali batteri tipo *Pseudomonas*, con produzione di azoto molecolare. La fase di ossidazione-nitrificazione prevede la metabolizzazione del BOD5 e del COD da parte dei microrganismi eterotrofi con produzione di anidride carbonica ed acqua, l'ossidazione dello ione ammonio a nitrito da parte dei batteri *Nitrosomonas* e l'ossidazione del nitrito a nitrato da parte dei batteri *Nitrobacter*. Avendo previsto la tipologia ad aerazione prolungata, il fango è soggetto a tempi di aerazione particolarmente lunghi da subisce una stabilizzazione analoga a quella ottenibile con la digestione aerobica separata. La vasca di filtrazione finale a membrana è costituita da due linee in parallelo. Ogni linea è formata da un comparto all'interno del quale saranno alloggiati tre moduli di filtrazione a membrane del

tipo a fibre cave per un totale di sei moduli. Il sistema di aerazione del modulo a membrana genera un flusso d'aria verso l'alto che serve per prevenire il fouling o intasamento della membrana. Lo spurgo dei fanghi di supero deve essere effettuato dal fondo delle vasche a membrana in modo che tramite la stessa linea di supero possa essere eseguito anche il drenaggio delle vasche in occasione delle procedure di lavaggio ad immersione.

Nel trattamento convenzionale a fanghi attivi il fango viene separato in componente solida e liquida nella vasca di sedimentazione, processo che prende il nome di chiarificazione. Il sedimentatore presenta un tubo direzionato verso l'alto, posto al centro della vasca, da cui il liquame entra in vasca. Il tubo è contornato da un deflettore cilindrico che spinge il flusso verso il basso per facilitare la sedimentazione. Sul fondo in corrispondenza del centro, troveremo la zona di raccolta. Il fondo del sedimentatore presenta una pendenza verso il centro per consentire al fango sedimentato di confluire nella zona di raccolta. Lo stramazzo è presente perimetralmente alla vasca e i sedimenti sono rimossi con un eiettore idrostatico che segue l'andamento del fondo.

I file di modellazione 3D realizzati con Solidworks sono stati divisi in diverse parti per procedere alla realizzazione dei gcode. Il software ultimaker cura, utilizzato per la generazione dei gcode, ha permesso di ottimizzare i modelli in modo da ottenere una maggiore precisione del dettaglio. La scala di realizzazione adottata per i prototipi è di 1:50, necessaria per una corretta visualizzazione degli elementi interni alle vasche. Il materiale utilizzato per la stampa è l'Acido Polilattico, meglio noto come PLA. Questa bioplastica è biodegradabile e compostabile quindi si degrada rapidamente nel terreno una volta raggiunte le condizioni di temperatura e umidità necessarie.

Conclusioni

In conclusione, è possibile affermare che gli impianti MBR rappresentano una promettente tecnologia, per una depurazione che miri ad uno sviluppo sostenibile a salvaguardia dell'uomo e

dell'ambiente. La tecnologia MBR a differenza degli CAS consente di ottenere una migliore qualità dell'effluente, minore produzione di fango e riduzione delle superfici occupate. Inoltre, l'installazione degli impianti MBR risulta conveniente per applicazioni depurative dove lo spazio disponibile è poco e dove il potenziamento dell'impianto si rende necessario per adeguamenti normativi. La modellazione degli impianti MBR e CAS ha permesso di osservare immediatamente il minore ingombro planimetrico dell'impianto MBR rispetto al CAS. Inoltre, possiamo osservare che l'adozione di software di progettazione avanzata come Solidworks e di software per la realizzazione di stampe 3D come Ultimaker cura, contribuiscono ad un miglioramento nell'ambito della progettazione di opere civili e di trattamento sanitario-ambientale.

References

1. Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment.
2. Bioreattori A Membrane Per Il Trattamento Delle Acque Reflue. 9781471750977. Hefte - 2013 — Haugenbok.
3. Li, H. & Chen, V. Membrane Fouling and Cleaning in Food and Bioprocessing. in *Membrane Technology* 213–254 (Elsevier, 2010). doi:10.1016/b978-1-85617-632-3.00010-0.
4. Radjenović, J., Matošić, M., Mijatović, I., Petrović, M. & Barceló, D. Membrane Bioreactor (MBR) as an Advanced Wastewater Treatment Technology. in *Emerging Contaminants from Industrial and Municipal Waste* 37–101 (Springer Berlin Heidelberg, 2008). doi:10.1007/698₅₀93.
5. Chang, I.-S., Clech, P. L., Jefferson, B. & Judd, S. Membrane Fouling in Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment. *Journal of Environmental Engineering* **128**, 1018–1029 (2002).
6. Wang, X.-M. & Li, X.-Y. Accumulation of biopolymer clusters in a submerged membrane bioreactor and its effect on membrane fouling. *Water Research* **42**, 855–862 (2008).

7. Berman, T. & Holenberg, M. Don't fall foul of biofilm through high TEP levels. *Filtration & Separation* **42**, 30–32 (2005).
8. Flemming, H.-C. & Wingender, J. Relevance of microbial extracellular polymeric substances (EPSs) - Part I: Structural and ecological aspects. *Water Science and Technology* **43**, 1–8 (2001).
9. Rosenberg, S., EVENBLIJ, H., TEPOELE, S., WINTGENS, T. & LAABS, C. The importance of liquid phase analyses to understand fouling in membrane assisted activated sludge processes—six case studies of different European research groups. *Journal of Membrane Science* **263**, 113–126 (2005).
10. Passow, U. & Alldredge, A. L. A dye-binding assay for the spectrophotometric measurement of transparent exopolymer particles (TEP). *Limnology and Oceanography* **40**, 1326–1335 (1995).

Figure Captions

Figure 1. Sezione impianto MBR

Figure 2. Sezione impianto convenzionale a fanghi attivi (CAS)

Figure 3. Prototipi realizzati mediante stampa 3D

Figures

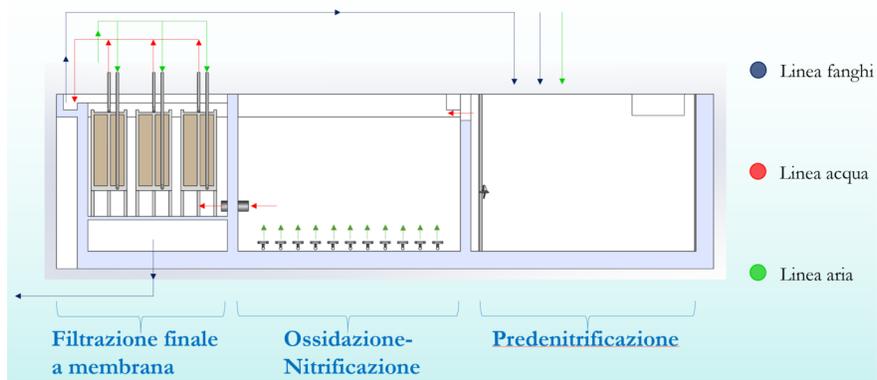


Figure 1: Sezione impianto MBR

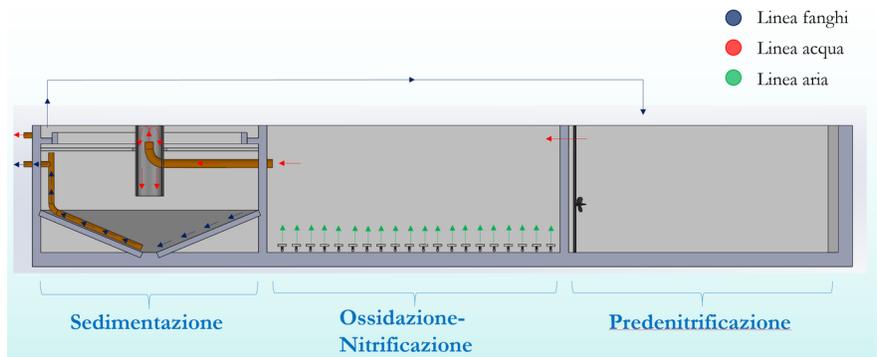


Figure 2: Sezione impianto convenzionale a fanghi attivi (CAS)

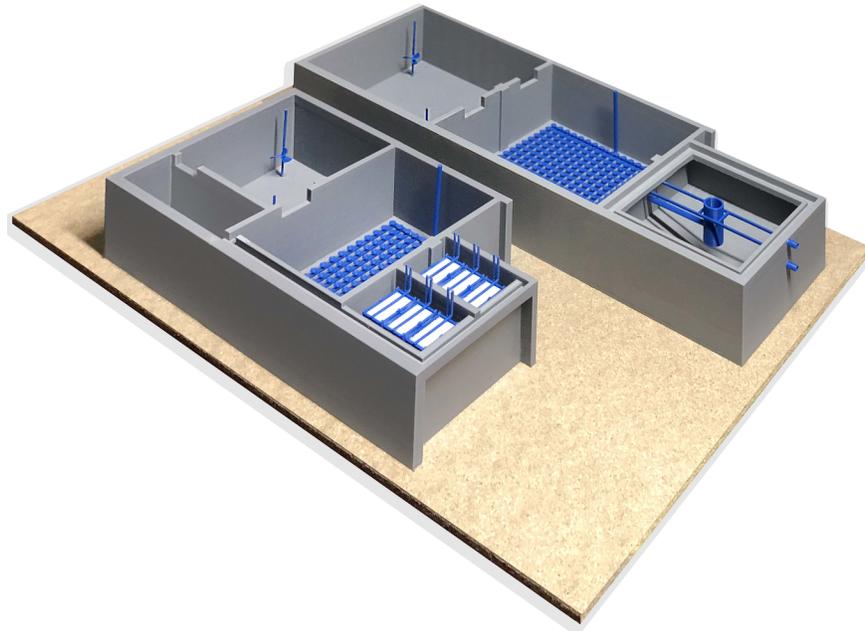


Figure 3: Prototipi realizzati mediante stampa 3D