

Biotecnologie innovative per il trattamento avanzato delle acque reflue: i bioreattori anaerobici a membrane

Laura Valentina Riccardi¹

¹Affiliation not available

Abstract

Negli ultimi anni l'inquinamento ambientale rappresenta una tematica di notevole rilievo, dal momento che la salute umana e l'equilibrio dell'ecosistema si basano su una corretta gestione delle varie risorse. In riferimento alle risorse idriche si evince come l'inquinamento delle acque progredisca rapidamente, a causa della continua immissione di sostanze inquinanti nei corpi idrici recettori. È per tale motivo che assume particolare importanza gestire e trattare opportunamente le acque reflue, in modo da poterle smaltire in totale sicurezza, così come previsto dalla normativa vigente. A tal proposito sono state introdotte nuove biotecnologie capaci di assicurare una resa depurativa maggiore, ossia gli impianti MBR (Membrane Biological Reactor). I bioreattori a membrana sono caratterizzati dalla combinazione dei processi di degradazione biologica a fanghi attivi e della filtrazione su membrana. Di recente, tra le varie configurazioni dei sistemi MBR, è stata posta l'attenzione sui bioreattori a membrana operanti in condizioni anaerobiche, in quanto consentono il recupero di biogas.

Introduzione

Gli impianti di trattamento delle acque reflue, dove esistenti, non sempre riescono a garantire un'elevata efficienza di depurazione. L'avanzamento

tecnologico, per ovviare a questo problema, ha permesso di testare nuove tecniche sempre più all'avanguardia. Tra queste si collocano gli impianti MBR, i quali consentono di ottenere elevate efficienze depurative e di garantire la rimozione sia dei contaminanti convenzionali che di quelli emergenti. Questo trattamento avanzato delle acque reflue è costituito dalla combinazione del processo di degradazione biologica a fanghi attivi con un sistema di filtrazione su membrane. Grazie a tali tecniche innovative, gli effluenti trattati riescono a rispettare maggiormente i limiti restrittivi imposti allo scarico nei corpi idrici recettori, e, allo stesso tempo, riescono a rispettare anche gli standard previsti per il riutilizzo a scopi agricoli e/o industriali, nell'ottica di una gestione più razionale della risorsa.

I bioreattori a membrana sono sempre più usati poiché permettono di lavorare con alte concentrazioni di biomassa, di produrre una quantità minore dei fanghi di supero e di potenziare gli impianti esistenti, senza intervenire drasticamente sulle strutture. Un ulteriore vantaggio è rappresentato dai ridotti ingombri planimetrici, dato che la filtrazione su membrana sostituisce il classico sedimentatore secondario presente negli impianti convenzionali a fanghi attivi. Malgrado i molteplici vantaggi, gli elevati costi di investimento e di gestione, principalmente legati al fenomeno del fouling, ne limitano la diffusione.

Il fouling rappresenta lo sporco della superficie interna o esterna della membrana, principalmente causato dall'adsorbimento o dall'accumulo di depositi su di essa ¹. Il fouling viene classificato in varie tipologie ²:

- Fouling removibile: può essere rimosso con la pulizia fisica, tramite il controlavaggio della membrana;
- Fouling irremovibile: può essere rimosso solo tramite la pulizia chimica;
- Fouling irreversibile: non può essere rimosso da alcun tipo di trattamento, motivo per il quale è necessario provvedere alla sostituzione della membrana.

I bioreattori anaerobici a membrana

I bioreattori AnMBR, i quali operano in condizioni anaerobiche, sono caratterizzati dalla produzione di biogas durante il processo di degradazione biologica. In queste tipologie di impianto è preferibile l'uso di membrane ceramiche, poiché comportano minori incrostazioni e maggiore facilità nella pulizia, senza interferire sulla durabilità della membrana. In

base alla collocazione della membrana esistono varie tipologie di configurazioni ³:

- Filtrazione a membrana esterna a flusso incrociato

In questa configurazione il modulo a membrana è posizionato all'esterno del bioreattore e funziona indipendentemente da esso. L'influenza entra nel bioreattore e viene degradato dai microrganismi. L'effluente, invece, viene condotto nell'unità di filtrazione costituita dalla membrana, dove una pompa fornisce la velocità di crossflow e la pressione di transmembrana TMP per migliorare il flusso e prevenire le incrostazioni. Il permeato della membrana rappresenta il prodotto trattato, mentre il retentato viene restituito al reattore continuamente. La prevenzione del fouling in questa configurazione si ottiene con un alto tasso di ricircolo e quindi per valori di TMP alti.

- Filtrazione interna a membrana sommersa

In questa configurazione la membrana è immersa direttamente nel bioreattore, quindi non vi è un continuo ricircolo di retentato. La pressione di transmembrana TMP risulta essere guidata dall'altezza idrostatica del livello del liquido sulla membrana o, nel caso risulti inadeguata, da una pompa di aspirazione ausiliare. In quanto alla pulizia della membrana essa avviene per scuotimento, tramite un sistema di distribuzione del biogas collocato alla base del reattore.

- Filtrazione esterna a membrana sommersa

Questa configurazione rappresenta una combinazione delle due precedenti. La membrana viene

immersa in una vasca secondaria e la pulizia avviene per scuotimento tramite biogas e ricircolo del retentato.

Anche nel caso degli AnMBR il fouling rappresenta un problema che condiziona particolarmente l'efficienza del processo. Principalmente per rimediare al fenomeno del fouling si adottano metodi tradizionali come la pulizia fisica e la pulizia chimica, ma ciò comporta un aumento dell'energia necessaria per il processo, un aumento dei costi operativi e una diminuzione della durabilità delle membrane.

Per risolvere i problemi appena menzionati sono stati introdotti vari metodi, come ad esempio l'uso di tecniche ad ultrasuono ⁵, la vibrazione delle membrane ⁶ e l'aggiunta di sostanze chimiche o adsorbenti, come il carbone attivo in polvere, per migliorare la filtrabilità e ridurre la concentrazione degli agenti sporcanti ⁷.

Come strategia di mitigazione per il fouling in fase di sperimentazione, invece, vi è la combinazione di impianti anaerobici a membrana con i processi elettrochimici (e-AnMBR). L'integrazione dei processi elettrochimici agli AnMBR, oltre ad assicurare un contenimento della formazione del fouling, ha permesso di ottenere un ulteriore miglioramento della qualità degli effluenti e la produzione di idrogeno, fonte primaria per generare energia.

Conclusioni

Nell'ottica di un processo di depurazione che miri ad uno sviluppo sostenibile, gli impianti MBR rappresentano una tecnologia promettente per il trattamento avanzato delle acque reflue. Nonostante il concetto di bioreattore a membrana anaerobico sia stato introdotto all'incirca trenta anni fa, solo recentemente è stato possibile avere un riscontro in merito alla vasta applicazione nel caso di acque reflue per poter recuperare energia e risorse, soprattutto nel caso di reflui industriali.

Questi impianti risultano essere ideali per trattare reflui con un'alta concentrazione di solidi e sostanze organiche, poiché rappresentano una preziosa fonte di energia se trattati con un processo anaerobico.

References

1. Lee, J., Ahn, W. & Lee, C. Comparison of the filtration characteristics between attached and suspended growth microorganisms in submerged membrane bioreactor. *Water Research* **35**, 2435–2445 (2001).
2. Meng, F. *et al.*. Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): Membrane fouling and membrane material. *Water Research* **43**, 1489–1512 (2009).
3. Lew, B., Tarre, S., Beliavski, M., Dosoretz, C. & Green, M. Anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) for domestic wastewater treatment. *Desalination* **243**, 251–257 (2009).
4. Chang, S. Anaerobic Membrane Bioreactors (AnMBR) for Wastewater Treatment. *Advances in Chemical Engineering and Science* **04**, 56–61 (2014).
5. Sui, P., Wen, X. & Huang, X. Feasibility of employing ultrasound for on-line membrane fouling control in an anaerobic membrane bioreactor. *Desalination* **219**, 203–213 (2008).
6. Kola, A., Ye, Y., Ho, A., Le-Clech, P. & Chen, V. Application of low frequency transverse vibration on fouling limitation in submerged hollow fibre membranes. *Journal of Membrane Science* **409-410**, 54–65 (2012).
7. Park, H., Choo, K. & Lee, C. Flux Enhancement with Powdered Activated Carbon Addition in the Membrane Anaerobic Bioreactor. *Separation Science and Technology* **34**, 2781–2792 (1999).
8. Borea, L., Naddeo, V. & Belgiorno, V. Application of electrochemical processes to membrane bioreactors for improving nutrient removal and fouling control. *Environmental Science and Pollu-*

tion Research **24**, 321–333 (2016).

9. Ensano, B. M. B., Borea, L., Naddeo, V., Luna, M. D. G. de & Belgiorno, V. Control of emerging contaminants by the combination of electrochemical processes and membrane bioreactors. *Environmental Science and Pollution Research* **26**, 1103–1112 (2017).

10. Naddeo, V., Scannapieco, D. & Belgiorno, V. Membrane Technology in Wastewater Treatments. *Journal of Hydrogeology and Hydrologic Engineering* **01**, (2012).

11. Prado, M. *et al.*. Removal of emerging contaminant and fouling control in membrane bioreactors by combined ozonation and sonolysis. *International Biodeterioration & Biodegradation* **119**, 577–586 (2017).

12. Naddeo, V., Belgiorno, V., Zarra, T. & Scannapieco, D. Dynamic and embedded evaluation procedure for strategic environmental assessment. *Land Use Policy* **31**, 605–612 (2013).

13. Borea, L. *et al.*. Wastewater treatment by membrane ultrafiltration enhanced with ultrasound: Effect of membrane flux and ultrasonic frequency. *Ultrasonics* **83**, 42–47 (2018).

14. L. Borea *et al.*. Microbial fuel cell technology as a downstream process of a membrane bioreactor for sludge reduction. *Chemical Engineering Journal* **326**, 222–230 (2017).

15. Naddeo, V. *et al.*. Removal of contaminants of emerging concern from real wastewater by an innovative hybrid membrane process – UltraSound Adsorption and Membrane ultrafiltration (USAMe®). *Ultrasonics Sonochemistry* **68**, 105237 (2020).

16. Borea, L. *et al.*. Are pharmaceuticals removal and membrane fouling in electromembrane bioreactor affected by current density?. *Science of The Total Environment* **692**, 732–740 (2019).

17. Pervez, M. *et al.*. A critical review on nanomaterials membrane bioreactor (NMs-MBR) for wastewater treatment. *npj Clean Water* **3**, (2020).

18. Secondes, M. F. N., Naddeo, V., Belgiorno, V. & Ballesteros, F. Removal of emerging contam-

inants by simultaneous application of membrane ultrafiltration activated carbon adsorption, and ultrasound irradiation. *Journal of Hazardous Materials* **264**, 342–349 (2014).

19. Ensano, B. M. B. *et al.*. Combination of Electrochemical Processes with Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment and Fouling Control: A Review. *Frontiers in Environmental Science* **4**, (2016).

20. Cairone, S. Nuovi processi biologici a membrane per la depurazione sostenibile delle acque reflue. (2021) doi:10.22541/au.161185838.80607936/v1.

21. Vassallo, V. Trattamento avanzato delle acque reflue urbane mediante bioreattori a membrane autoformanti per il controllo dei contaminanti emergenti . (2020) doi:10.22541/au.158921776.60948769.

Figure Captions

Figure 1. Acqua depurata (Unplash)

Figure 2. Configurazione con membrana esterna a flusso incrociato ⁴

Figure 3. Configurazione con membrana interna sommersa⁴

Figure 4. Configurazione con membrana esterna sommersa ⁴

Figures

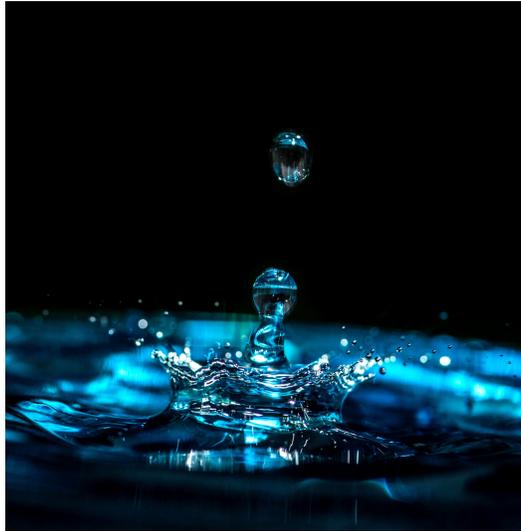


Figure 1: Acqua depurata (Unplash)

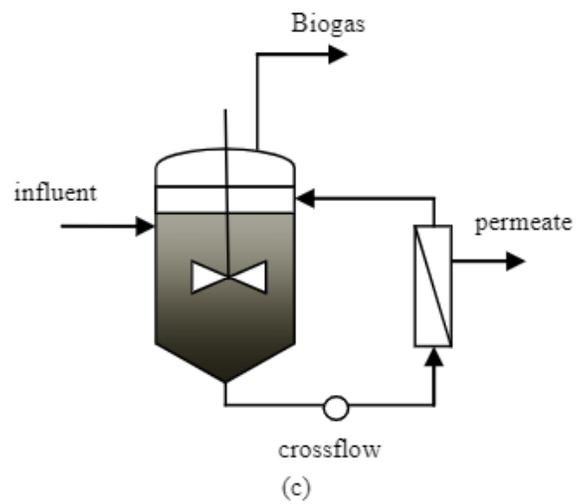


Figure 2: Configurazione con membrana esterna a flusso incrociato ⁴

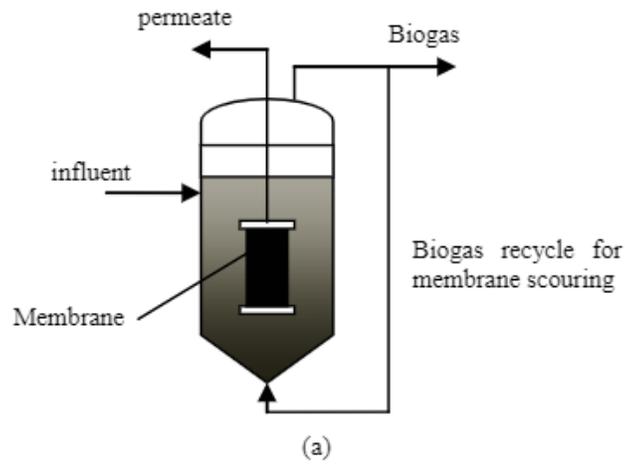


Figure 3: Configurazione con membrana interna sommersa⁴

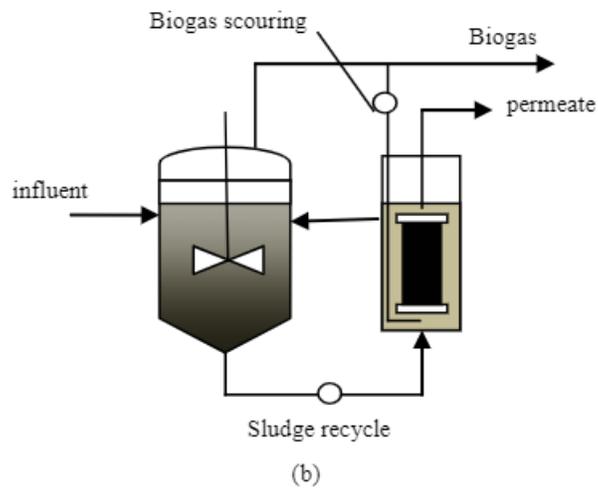


Figure 4: Configurazione con membrana esterna sommersa⁴