

La nuova era del trattamento delle acque reflue: l'eMBR è la tecnologia del futuro?

Sara Angela Cantarella¹

¹Affiliation not available

Abstract

Da qualche decennio la comunità scientifica è impegnata nella ricerca delle tecnologie più adatte alla rimozione dei cosiddetti contaminanti emergenti dagli effluenti degli impianti di trattamento delle acque reflue esistenti. Tali impianti, infatti, non sono stati progettati per la rimozione di questi microinquinanti di recente scoperta e non si rivelano quindi efficienti in tal senso. Sono numerose le tecnologie che si stanno studiando a scala di laboratorio e tra queste vi è quella che prevede la combinazione di processi elettrochimici e filtrazione su membrana: la tecnologia eMBR, la quale sembra inserirsi bene nel contesto del trattamento delle acque reflue nei prossimi anni considerando i notevoli risultati ottenuti in termini di rimozione di specifici inquinanti e di upgrade di tecnologie sperimentate.

I nuovi orizzonti della ricerca scientifica

La presenza, ormai consolidata, dei contaminanti emergenti (ECs) nelle acque reflue e nelle acque superficiali e sotterranee è al centro della ricerca scientifica volta, appunto, all'individuazione delle migliori tecnologie in grado di rimuovere tali microinquinanti dalle acque dati i rischi che essi comportano per la salute umana e per gli organismi acquatici.

I convenzionali impianti di trattamento delle acque reflue, ossia quelli attualmente utilizzati, non si sono rivelati in grado di rimuovere tali microinquinanti innanzitutto perché essi non sono mai stati monitorati in quanto non esiste una normativa che li disciplina ¹ e poi perché caratteristica principale di tali ECs è la loro concentrazione molto bassa dell'ordine dei ng/L fino a qualche µg/L ^{2,3,4}. ⁵ hanno infatti riscontrato in uno studio specifico una concentrazione di Carbamazepina negli effluenti degli impianti di trattamento convenzionali dell'ordine di centinaia di ng/L e una concentrazione di Diclofenac variabile da "140 ng/L a 1480 ng/L". Si



Figure 1: Acqua in un generico corpo idrico

rende, quindi, necessaria l'individuazione di trattamenti specifici che siano in grado di considerare le molteplici proprietà chimiche di cui godono tali composti da cui deriva una variabilità in termini di successo di rimozione del singolo trattamento ¹. In tal senso in alcuni studi sono stati applicati processi di ossidazione con ozono, come nel caso dello studio di ⁶ dal quale è però emerso che il raggiungimento di una percentuale soddisfacente di rimozione dei prodotti farmaceutici richiede una concentrazione di ozono elevata e una conseguente formazione rilevante di sottoprodotti, oltre che costi insostenibili. Altri metodi di ossidazione prevedono, invece, una fotocatalisi con TiO_2 e $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$. Tali metodi consentono di ottenere percentuali di rimozione molto elevate ⁷, ma richiedono tempi eccessivamente lunghi e ancora comportano lo sviluppo di sottoprodotti. In alcuni studi si è proposta, quale soluzione di rimozione di composti farmaceutici, il processo di foto-Fenton e di foto-Fenton modificato, in cui si è cercato di ovviare alla necessità di un pH acido richiesto dal processo di Fenton, aggiungendo agenti complessanti a pH neutro ⁷. I risultati ottenuti sono stati estremamente soddisfacenti, ma anche in questo caso sono i costi elevati il principale fattore limitante. ⁸ hanno, invece, realizzato un nuovo adsorbente, ibrido di nanotubi di carbonio granulare (CNT)/allumina che ha mostrato un'elevata rimozione di Carbamazepina e Diclofenac oltre che la possibilità di riutilizzo dell'adsorbente con conseguente riduzione dal punto di vista economico. Soluzioni promettenti sono anche quelle che prevedono l'utilizzo di una membrana di nanofiltrazione e di osmosi inversa. La seconda ha consentito di ottenere una rimozione superiore rispetto alla prima, ma anche consumi energetici maggiori ¹. Sicuramente la tecnologia maggiormente studiata a scala di laboratorio è quella che prevede l'utilizzo dei bioreattori a membrana (MBR) in cui si combinano processi di degradazione biologica con filtrazione su membrane. Tale tecnologia comporta

una riduzione nella frequenza di lavaggio chimico della membrana rispetto all'MBR convenzionale e questo ha consentito di prolungare la vita utile della membrana stessa. Tale importante risultato è dovuto alla riduzione del fouling della membrana, favorita dal processo di elettrocoagulazione che ha contribuito alla formazione di fiocchi di dimensioni maggiori riducendo quindi la velocità di trasporto attraverso la membrana ¹¹, dal processo di elettroforesi che ha contrastato la deposizione dei foulants caricati negativamente sulla superficie della membrana spingendoli verso l'anodo ¹², e dal processo di elettrosmosi in cui la parte liquida caricata positivamente è stata spostata verso il catodo e quindi fatta passare attraverso la membrana ¹⁰. Anche in termini di rimozione di inquinanti convenzionali ¹⁰ hanno evidenziato che l'utilizzo di un eMBR consente di ottenere percentuali superiori al 90%, con una rimozione quasi totale di COD, DOC e fosforo e percentuali soddisfacenti nel caso dell'azoto ammoniacale. Sono stati, inoltre, studiati gli effetti di questo sistema in termini di rimozione di prodotti farmaceutici con particolare riferimento alle tre tipologie "maggiormente rilevate negli effluenti degli impianti di trattamento convenzionali": Diclofenac, Carbamazepina e Amoxicillina ¹⁰. In questo caso è all'effetto combinato dell'applicazione del campo elettrico e della filtrazione attraverso membrana che vanno attribuite le elevate efficienze di rimozione ottenute. Il campo elettrico difatti favorisce innanzitutto l'assorbimento di composti farmaceutici disciolti grazie alla formazione di coagulanti da parte del catodo e dell'anodo e poi, grazie al processo di elettrocoagulazione, si ha un incremento delle dimensioni delle molecole dei farmaci che favorisce la loro ritenzione da parte della membrana. Va, infine, sottolineato che nello studio di ¹⁰ si è avuta una particolare attenzione alla riduzione del consumo energetico utilizzando una modalità di funzionamento del campo elettrico intermittente, secondo quanto evidenziato dallo studio di ¹³.

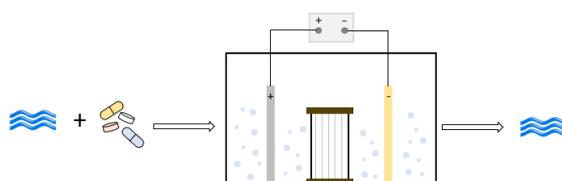


Figure 3: Schematizzazione eMBR

Lo sviluppo futuro

Gli importanti risultati di cui si è discusso sono, però, attualmente limitati alla ricerca scientifica, ma fanno presagire quelle che sono le potenzialità di questo tipo di sistema. L'eMBR si presenta come un probabile sostituto

dei convenzionali sistemi di trattamento delle acque ¹⁰ in quanto consente di ottenere un duplice risultato: da un lato elevate efficienze di rimozione, dall'altro il superamento della problematica del fouling, caratteristica dell'MBR. Per quanto riguarda il futuro di questa tecnologia, la comunità scientifica sembra essere interessata ad approfondire le ricerche in tal senso e in alcuni studi si propone di esplorare strade diverse che potrebbero ampliare ulteriormente i confini di questo sistema. Sicuramente il traguardo più immediato sarà l'applicazione della tecnologia al trattamento di acque reflue reali che consentirà di verificare se l'eMBR costituisce effettivamente una svolta nelle modalità di trattamento delle acque reflue.

References

1. Bolong, N., Ismail, A. F., Salim, M. R. & Matsuura, T. A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal. *Desalination* **239**, 229–246 (2009).
2. Hartig, C., Storm, T. & Jekel, M. Detection and identification of sulphonamide drugs in municipal waste water by liquid chromatography coupled with electrospray ionisation tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* **854**, 163–173 (1999).
3. Kasprzyk-Hordern, B., Dinsdale, R. M. & Guwy, A. J. Multi-residue method for the determination of basic/neutral pharmaceuticals and illicit drugs in surface water by solid-phase extraction and ultra performance liquid chromatography–positive electrospray ionisation tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* **1161**, 132–145 (2007).
4. Kasprzyk-Hordern, B., Dinsdale, R. M. & Guwy, A. J. The removal of pharmaceuticals personal care products, endocrine disruptors and illicit drugs during wastewater treatment and its impact on the quality of receiving waters. *Water Research* **43**, 363–380 (2009).
5. Zhang, Y., Geißen, S. & Gal, C. Carbamazepine and diclofenac: Removal in wastewater treatment plants and occurrence in water bodies. *Chemosphere* **73**, 1151–1161 (2008).
6. Androzzzi, R. Carbamazepine in water: persistence in the environment ozonation treatment and preliminary assessment on algal toxicity. *Water Research* **36**, 2869–2877 (2002).
7. Klammerth, N., Malato, S., Agüera, A. & Fernández-Alba, A. Photo-Fenton and modified photo-Fenton at neutral pH for the treatment of emerging contaminants in wastewater treatment plant effluents: A comparison. *Water Research* **47**, 833–840 (2013).
8. Wei, H. *et al.*. Regenerable granular carbon nanotubes/alumina hybrid adsorbents for diclofenac sodium and carbamazepine removal from aqueous solution. *Water Research* **47**, 4139–4147 (2013).

9. Wintgens, T., Gallenkemper, M. & Melin, T. Endocrine disrupter removal from wastewater using membrane bioreactor and nanofiltration technology. *Desalination* **146**, 387–391 (2002).
10. 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).
11. Hong, H. *et al.*. Thermodynamic analysis of membrane fouling in a submerged membrane bioreactor and its implications. *Bioresource Technology* **146**, 7–14 (2013).
12. Chen, J. P., Yang, C. Z., Zhou, J. H. & Wang, X. Y. Study of the influence of the electric field on membrane flux of a new type of membrane bioreactor. *Chemical Engineering Journal* **128**, 177–180 (2007).
13. 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).
14. Errami, M. & Garner, H. A tale of two citations. *Nature* **451**, 397–399 (2008).
15. Zhang. Carbamazepine and diclofenac: Removal in wastewater treatment plants and occurrence in water bodies. *Chemosphere* **73**,
16. Petrovic, M. Analysis and removal of emerging contaminants in wastewater and drinking water. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **22**, 685–696 (2003).