

Il trattamento delle acque reflue attraverso le innovazioni del progresso scientifico

William Stampati¹

¹Affiliation not available

Abstract

Le risorse idriche sono sempre più viste come un bene da tutelare e preservare, necessità che contrasta con la sempre più crescente domanda di quest'ultime per i più svariati impieghi. L'urgenza di trovare un punto di incontro, che cercasse di coniugare sia l'aspetto produttivo che quello ambientale, ha spinto negli anni la ricerca scientifica ad affinare i metodi convenzionali utilizzati per il trattamento delle acque reflue mirando al recupero e conseguente riutilizzo dell'acqua. Dall'impiego dei fanghi attivi si è passati agli impianti di trattamento a membrana, poi migliorati tramite l'implementazione di processi elettrochimici. Un ulteriore livello di efficienza si è raggiunto tramite i bio-reattori a membrana dinamica auto formante, evolutosi ulteriormente in bio-reattori a membrana dinamica auto formante incapsulati raffinati successivamente tramite processi elettrochimici. Le condizioni naturali sempre più drastiche hanno determinato l'evolversi di strumentazioni ed impianti sempre più efficienti, sfruttando al massimo ciò che il contesto offre riciclandolo e ottimizzando gli sprechi.

L'evoluzione tecnologica per il trattamento delle acque reflue

La scarsità della risorsa idrica che sta emergendo in alcune zone del pianeta, anche per i cambiamenti climatici in atto, attribuisce un ruolo fondamentale al riutilizzo – in condizioni sicure ed efficienti – delle acque reflue trattate. L'industria è il maggiore utilizzatore di acqua in Europa (53%),

seguita dall'agricoltura (26%), anche se si prevede che l'uso agricolo possa aumentare notevolmente nei prossimi anni. Secondo il report *Water Reuse Europe Review* (2018), l'acqua recuperata potrebbe soddisfare molti usi industriali e irrigui; tuttavia, in Europa viene riutilizzato meno del 3% delle acque reflue urbane disponibili (Sabino De Gisi, 2019). Quando parliamo di risorse idriche, una delle prime tecnologie sviluppate per il trattamento delle acque reflue è stata quella a fanghi attivi (CAS) limitato dal punto di vista del riuso della materia. Negli anni 70' si sono sviluppati moltissimo i sistemi MBR che hanno presto trovato un'applicazione per il trattamento delle acque reflue industriali. L'aumento demografico della popolazione, l'industrializzazione, la scarsità d'acqua e l'aumento dei limiti normativi restrittivi per il rilascio delle acque reflue nell'ambiente concorrono ad aumentare l'importanza e la convenienza dell'applicazione di MBR per il trattamento delle acque reflue (Naddeo, 2021). Questi sistemi vengono subito integrati nell'impiantistica industriale soprattutto per via della varietà di inquinanti trattati tra cui i farmaci (Besha et al., 2017), contaminanti biologici come il SARS-CoV-2 data la sua accentuata possibilità di trasmissibilità attraverso mezzi idrici (Buonerba et al., 2021; Corpuz et al., 2020) e il contenimento dell'emissione di gas serra (Naddeo et al., 2021; Naddeo e Korshin, 2021; Pahunang et al., 2021). I sistemi MBR sono stati anche migliorati attraverso l'introduzione di processi elettrochimici che combinati ai processi biologici determinano gli impianti (eMBRs). I processi che si verificano sono quelli di elettro-foresi, elettro-osmosi ed elettro-coagulazione. (Benny Marie B. Ensano, 2016)

Ciò che ha spinto la ricerca ad affinare la tipologia impiantistica per il trattamento delle acque è il fatto che l'applicazione dei sistemi MBR richiedono materie e infrastrutture economicamente dispendiose, impensabili da utilizzare su una scala vasta perché comporterebbe delle diseconomie. Altra criticità riguarda il fouling di membrana, accumulo e deposito di biomassa che ostacola il processo di filtrazione se non ben controllato e revisionato. Le concentrazioni di solidi sospesi nel liquido misto (MLSS) si riferiscono principalmente alla tecnologia MBR piuttosto che all'applicazione, con concentrazioni di solidi superiori a 10 g/L favorite per le membrane FS e MT e inferiori a questa soglia per le membrane HF (Judd, 2016). Tutto ciò comporta ulteriori costi di

manutenzione che vanno ad incrementare i già alti costi dell'impiantistica (Suárez et al., 2015).

Le problematiche dei sistemi a membrana semplice sono state tecnologicamente superate con l'innovazione apportata dai sistemi a membrana auto formante (SFDM) dove un ruolo fondamentale è svolto dalle sostanze presenti nel refluo. I vantaggi apportati da questa tecnologia tra cui l'alta capacità di trattamento, il basso fabbisogno energetico e l'abbattimento dei costi determinato dal materiale di supporto della membrana (Xiong et al., 2016), come una rete di materiale inerte, plastica, tessuto non tessuto con una dimensione dei pori in un intervallo di 10-500 μm (Millanar-Marfa et al., 2021), hanno scosso in maniera rilevante la comunità scientifica a tal punto da orientare il pensiero politico all'utilizzazione di queste tecnologie per il trattamento delle acque reflue civili (Salerno et al., 2017).

Recentemente è stato effettuato un nuovo studio dal SEED (Fabiano Castrogiovanni, 2021) Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale dell'università di Salerno, che ha permesso di superare le debolezze dei SFDMBR sviluppando un nuovo tipo di impianto, i bio-reattori a membrana dinamica incapsulata (ESFDMBR). Lo strato esterno del pannello, formato sulla parte superiore della rete esterna, è quello che è direttamente esposto all'aerazione e al liquido sfuso nel reattore. Questa architettura innovativa per SFDM, per la prima volta, ha proposto la possibilità di trattenere la biomassa filtrante attiva vivente tra due maglie di supporto ad alta porosità, creando uno strato filtrante incapsulato stabile e compatto di SFDM successivamente ottimizzato dall'affiancamento dei processi elettrochimici a quelli biologici e filtranti sviluppando gli elettro-bioreattore a membrana dinamica incapsulata (e-ESFDMBR).

Bioreattori a membrana (MBR) e bioreattori a membrana auto-formante (ESFDMBR): caratteristiche e differenze strutturali.

I bio-reattori a membrana (MBR) derivano dalla combinazione dei classici processi a biomassa sospesa (fanghi attivi) con i processi di filtrazione su membrane ultra o microporose, a seconda delle dimensioni dei pori. I vantaggi legati a questa tecnologia vanno ricercati nella possibilità di eliminare il materiale sedimentato a valle del comparto biologico e tutti i vincoli di gestione e di utilizzo ad essa connessa (Gianni Andreottola, 2016). Rispetto ai tradizionali processi un comparto di filtrazione su membrana comporta: una notevole riduzione dell'ingombro, l'indipendenza dalle fluttuazioni di carico idraulico, decremento dei fanghi di supero, superamento del sedimento fangoso in superficie, miglioramento delle caratteristiche dello scarico. Nella configurazione dei bio-reattori a membrana immersa (i-MBR), l'elemento di filtrazione è installato nel recipiente principale del bioreattore o in un serbatoio separato. I moduli sono posizionati sopra il sistema di aerazione e svolgono due funzioni, la fornitura di ossigeno e la pulizia delle membrane. Le membrane possono essere un foglio piatto o tubolare o una combinazione di entrambi e possono incorporare un sistema di contro lavaggio online che riduce il fouling superficiale della membrana pompando il permeato della membrana. È necessaria anche un'aerazione aggiuntiva per fornire aria di lavaggio atta a ridurre il fouling. Di solito, la configurazione interna/sommersa è usata per applicazioni su larga scala a bassa resistenza. Al fine di ottimizzare il volume del reattore e minimizzare la produzione di fango, i sistemi MBR sommersi operano tipicamente con concentrazioni di MLSS comprese tra 12000 mg/L e 20000 mg/L, quindi offrono una buona flessibilità nella selezione del tempo di ritenzione del fango di progetto. È obbligatorio prendere in considerazione che un contenuto troppo alto di solidi sospesi nel Mixed liquor può rendere il sistema di aerazione poco efficace e il flusso utile di acqua trattata dalla membrana diminuirebbe.

L'MBR immerso è stata la configurazione preferita grazie al suo basso livello di consumo ener-

getico, all'alta efficienza di biodegradazione e al basso tasso di fouling rispetto ai bioreattori a membrana a flusso laterale; questo tipo di configurazione è adottato nel settore industriale tra cui tessile, alimentare e delle bevande, petrolio e gas, minerario, produzione di energia, cellulosa e carta alla luce dei suoi benefici.

Quando parliamo di bio-reattori a membrana auto-formante incapsulati (ESFDMBR) si intende un'estensione dei bio-reattori a membrana auto-formante (SFDMBR) con l'aggiunta di due armature ante/post membrana in PVC che ha l'obiettivo di filtrare nella fase iniziale gli inquinanti presenti nel refluo che apportavano una scarsa qualità del filtraggio nella fase iniziale. La particolarità principale di questi sistemi è l'autoformazione di uno strato biologico filtrante (la membrana dinamica, DM) su supporto inerte per mezzo delle sostanze presenti nell'acqua da filtrare, in particolare modo colloidali e sostanze organiche con alto peso molecolare (Fan, B. & Huang, X, 2002; Guan et al., 2018, Salerno et al., 2017). Questo processo coinvolge diversi meccanismi fisico-chimici e biologici: bloccaggio dei pori, deposito particelle, formazione di uno strato biologico noto come 'cake'. I processi di formazione di questa membrana biologica dinamica non sono immediati e ovviamente dipendono dalla porosità del materiale di supporto, dalle particelle del fango attivo e dal tipo di refluo.

Conclusioni

L'articolo ha l'obiettivo di illustrare quali sono le principali differenze e punti chiave tra le tipologie impiantistiche dedicate al trattamento delle acque reflue in diversi aspetti industriali e civili: fanghi attivi, MBR/eMBR, SFDMBR, ESFDMBR/e-SFDMBR. In sintesi, è possibile affermare che nel corso di alcuni decenni sono stati effettuati progressi significativi per rispondere alle varie problematiche insite al tipo di problematica in esame. L'urgenza ambientale, con le sue criticità,

ha dato un grande input al progresso scientifico nella direzione delle green politics anche se molto spesso l'innovazione è vista sempre con differenza dai poteri governativi, dovuta fondamentalmente al timore di alterare equilibri socioeconomici definiti nel tempo a scapito, spesso, di un quadro d'insieme più grande.

References

1. Errami, M. & Garner, H. A tale of two citations. *Nature* **451**, 397–399 (2008).
2. Castrogiovanni, F. *et al.*. Innovative encapsulated self-forming dynamic bio-membrane bioreactor (ESFDMBR) for efficient wastewater treatment and fouling control. *Science of The Total Environment* **805**, 150296 (2022).
3. De Gisi, S., Galasso, M., Notarnicola, M. & De Feo, G. Tecnologie non convenzionali per il trattamento delle acque reflue urbane nell'ottica dell'economia circolare. *Geologia dell'Ambiente - Italian Magazine of Environmental Geology* **1**, 27–35 (2019).
4. Besha, A. T. *et al.*. Removal of emerging micropollutants by activated sludge process and membrane bioreactors and the effects of micropollutants on membrane fouling: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering* **5**, 2395–2414 (2017).
5. Buonerba, A. *et al.*. Coronavirus in water media: Analysis, fate, disinfection and epidemiological

applications. *Journal of Hazardous Materials* **415**, 125580 (2021).

6.Pahunang, R. R. *et al.*. Advances in technological control of greenhouse gas emissions from wastewater in the context of circular economy. *Science of The Total Environment* **792**, 148479 (2021).

7.Naddeo, V. One planet, one health, one future: The environmental perspective. *Water Environment Research* **93**, value here (2021).

8.Naddeo, V. & Taherzadeh, M. J. Biomass valorization and bioenergy in the blue circular economy. *Biomass and Bioenergy* **149**, 106069 (2021).

9.Naddeo, V. & Korshin, G. Water, energy and waste: The great European deal for the environment. *Science of The Total Environment* **764**, 142911 (2021).

10.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**, 57 (2016).

11.Judd, S. J. The status of industrial and municipal effluent treatment with membrane bioreactor technology. *Chemical Engineering Journal* **305**, 37–45 (2016).

12.Suárez, A., Fernández, P., Ramón Iglesias, J., Iglesias, E. & Riera, F. A. Cost assessment of membrane processes: A practical example in the dairy wastewater reclamation by reverse osmosis. *Journal of Membrane Science* **493**, 389–402 (2015).

13.Xiong, J., Fu, D., Singh, R. P. & Ducoste, J. J. Structural characteristics and development of the cake layer in a dynamic membrane bioreactor. *Separation and Purification Technology* **167**, 88–96 (2016).

14.Millanar-Marfa, J. M. J. *et al.*. Self-forming Dynamic Membranes for Wastewater Treatment. *Separation & Purification Reviews* **0**, 1–17 (2021).

- 15.Saleem, M., Alibardi, L., Cossu, R., Lavagnolo, M. C. & Spagni, A. Analysis of fouling development under dynamic membrane filtration operation. *Chemical Engineering Journal* **312**, 136–143 (2017).
- 16.Fan, B. & Huang, X. Characteristics of a Self-Forming Dynamic Membrane Coupled with a Bioreactor for Municipal Wastewater Treatment. *Environmental Science & Technology* **36**, 5245–5251 (2002).
- 17.Guan, D., Dai, J., Watanabe, Y. & Chen, G. Changes in the physical properties of the dynamic layer and its correlation with permeate quality in a self-forming dynamic membrane bioreactor. *Water Research* **140**, 67–76 (2018).
- 18.Salerno, C., Vergine, P., Berardi, G. & Pollice, A. Influence of air scouring on the performance of a Self Forming Dynamic Membrane BioReactor (SFD MBR) for municipal wastewater treatment. *Bioresource Technology* **223**, 301–306 (2017).
- 19.Secondes, M. F. N., Naddeo, V., Belgiorno, V. & Ballesteros, F. Removal of emerging contaminants by simultaneous application of membrane ultrafiltration, activated carbon adsorption, and ultrasound irradiation. *Journal of Hazardous Materials* **264**, 342–349 (2014).
- 20.Naddeo, V., Borea, L. & Belgiorno, V. Sonochemical control of fouling formation in membrane ultrafiltration of wastewater: Effect of ultrasonic frequency. *Journal of Water Process Engineering* **8**, e92–e97 (2015).
- 21.Borea L, B. V., Naddeo V. Application of electrochemical processes to membrane bioreactors for improving nutrient removal and fouling control. *Environ Sci Pollut Res Int.* **24**, 321–333 (2017).
- 22.Control of emerging contaminants by the combination of electrochemical processes and membrane bioreactors. *Environ Sci Pollut Res* **26**, 1103–1112 (2019).

23. Prado, M. *et al.*. Removal of emerging contaminant and fouling control in membrane bioreactors by combined ozonation and sonolysis. *International Biodeterioration & Biodegradation* **119**, (2016).
24. Ibrahim, Y., Abdulkarem, E., Naddeo, V., Banat, F. & Hasan, S. W. Synthesis of super hydrophilic cellulose-alpha zirconium phosphate ion exchange membrane via surface coating for the removal of heavy metals from wastewater. *Science of The Total Environment* **690**, 167–180 (2019).
25. Borea, L. *et al.*. Wastewater treatment by membrane ultrafiltration enhanced with ultrasound: Effect of membrane flux and ultrasonic frequency. *Ultrasonics* **83**, 42–47 (2018).
26. Naddeo, V., Belgiorno, V., Borea, L., Secondes, M. & Ballesteros Jr, F. Control of fouling formation in membrane ultrafiltration by ultrasound irradiation. *Environmental technology* **36**, 1–25 (2014).
27. Borea, L. *et al.*. Microbial fuel cell technology as a downstream process of a membrane bioreactor for sludge reduction. *Chemical Engineering Journal* **326**, 222–230 (2017).
28. 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).
29. Preparation of novel polyvinylidene fluoride (PVDF)-Tin(IV) oxide (SnO₂) ion exchange mixed matrix membranes for the removal of heavy metals from aqueous solutions. *Separation and Purification Technology* (2020) doi:10.1016/j.seppur.2020.117250.
30. 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).
31. Millanar, J. *et al.*. Fouling Mitigation and Wastewater Treatment Enhancement through the Application of an Electro Moving Bed Membrane Bioreactor (eMB-MBR). **8**, 1–13 (2018).

- 32.Abdallah, H. *et al.*. Amino-functionalized mesoporous nano-silica/polyvinylidene fluoride composite as efficient ultrafiltration membrane. *Desalination and water treatment* **205**, 63 (2020).
- 33.Naddeo, V. & Korshin, G. Water, energy and waste: The great European deal for the environment. *Science of The Total Environment* **764**, 142911 (2020).
- 34.Naddeo, V., Belgiorno, V., Zarra, T. & Scannapieco, D. Dynamic and embedded evaluation procedure for strategic environmental assessment. *Land Use Policy* **31**, 605–612 (2013).
- 35.Scannapieco, D., Naddeo, V. & Belgiorno, V. Sustainable power plants: A support tool for the analysis of alternatives. *Land Use Policy* **36**, 478–484 (2014).
- 36.Nesticò, A., Elia, C. & Naddeo, V. Sustainability of urban regeneration projects: Novel selection model based on analytic network process and zero-one goal programming. *Land Use Policy* **99**, 104831 (2020).
- 37.Nicolau, A. *et al.*. Multi-parametric water quality monitoring approach according to the WFD in the Evros transboundary river basin: Priority pollutants. in (2006).
- 38.Naddeo, V., Cesaro, A., Mantzavinos, D., Fatta-Kassinos, D. & Belgiorno, V. Water and wastewater disinfection by ultrasound irradiation-a critical review. *Global Nest Journal* **16**, 561–577 (2014).

Figure Captions

Figure 1. L'importanza del riuso delle risorse idriche (fonte: unsplash.com)

Figure 2. *Pulizia della membrana nel quadro economico dei bio-reattori* (fonte: Adri@x @x tempboxaa@spacefactor Γ19aΓ@spacefactornSu@x@x tempboxaa@spacefactor Γ19aΓ@spacefactorrez, 20

Figure 3. *Fouling di membrana* (fonte: esemag.com)

Figure 4. Fotografie di una membrana autoformante a diversi intervalli di tempo dall'ultima pulizia (fonte: P. Vergine, 2019.

Figure 5. Varie tipologie di impianti MBR (fonte: G.Viviani, 2013)

Figure 6. Processo di formazione dello strato di cake

Figures



Figure 1: L'importanza del riuso delle risorse idriche (fonte: unsplash.com)

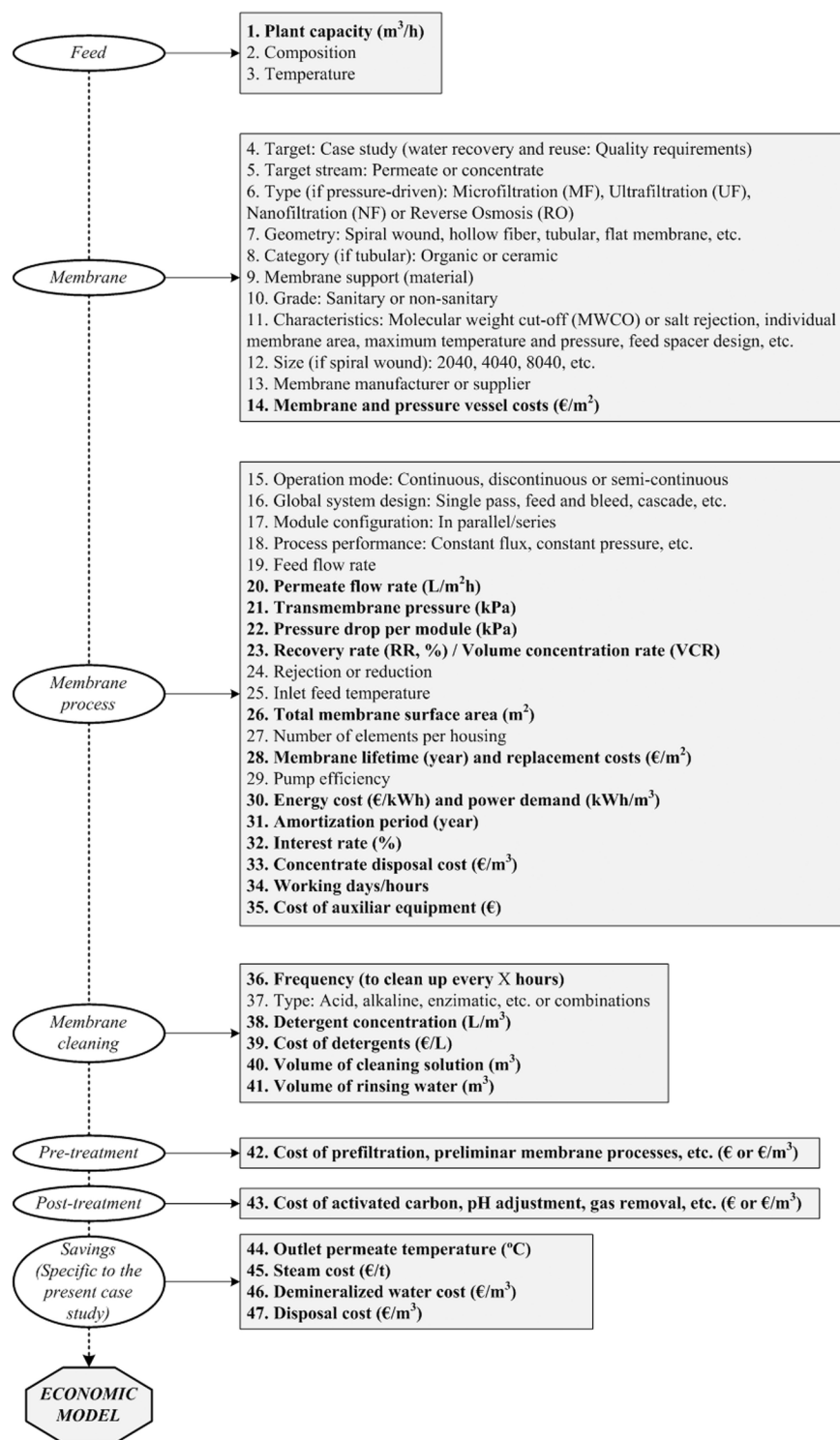


Figure 2: Pulizia della membrana nel quadro economico dei bio-reattori (fonte: Adri@x @x

tempboxaa@spacefactor Γ19aΓ@spacefactor n.Su@x@xtempboxaa@spacefactor Γ19aΓ@spacefactor rez, 20



Figure 3: *Fouling di membrana (fonte: esemag.com)*

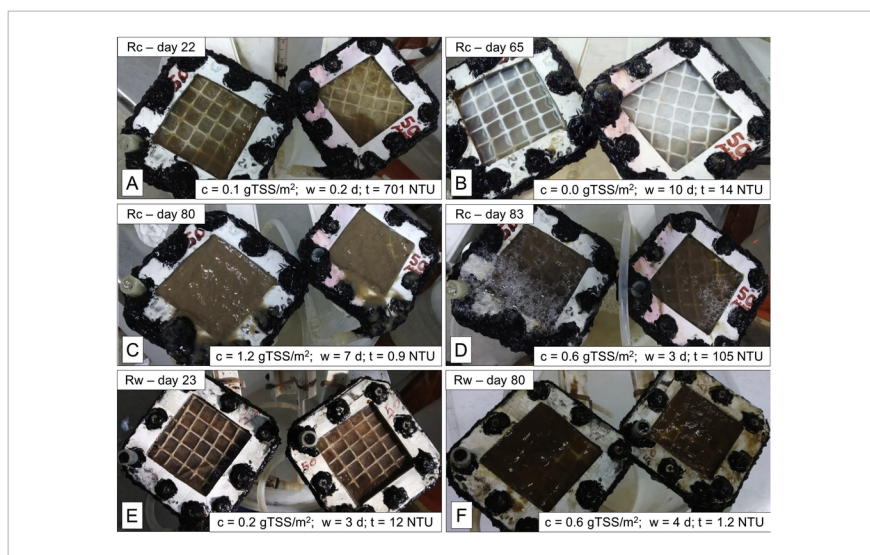


Figure 4: Fotografie di una membrana autoformante a diversi intervalli di tempo dall'ultima pulizia (fonte: P. Vergine, 2019).

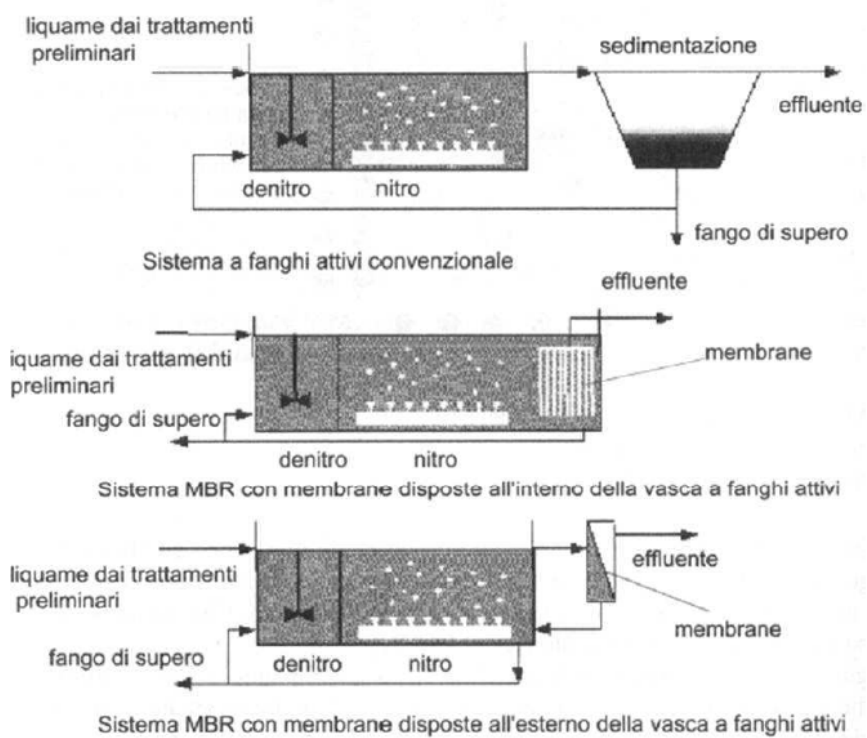


Figure 5: Varie tipologie di impianti MBR (fonte: G.Viviani, 2013)

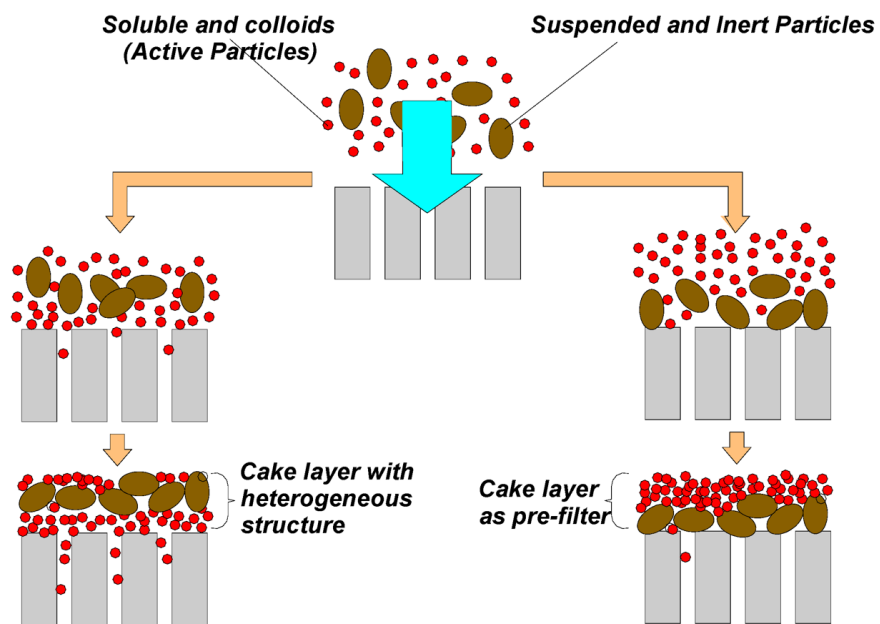


Figure 6: Processo di formazione dello strato di cake