



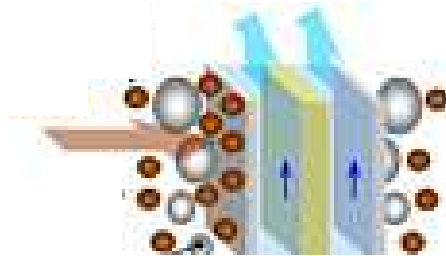
Università degli Studi di
Napoli Federico II



Università degli
Studi di Palermo



Università degli
Studi di Salerno



Corso di Aggiornamento

BioMAc 2013

Bioreattori a Membrane (MBR) per la depurazione delle Acque

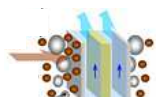
SVILUPPO E DIFFUSIONE DEI SISTEMI MBR

Vincenzo Belgiorno (Università di Salerno)

Palermo, 4-5 Luglio 2013

Sommario

- **Sviluppo e diffusione dei bioreattori a membrane:**
 - L'evoluzione del mercato degli MBR
 - Distribuzione per capacità di trattamento degli impianti
 - I bioreattori a membrane per l'upgrade degli impianti convenzionali
- **Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR**
- **Considerazioni conclusive**



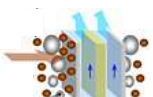
Introduzione

Bioreattori a membrane - MBR

I reattori MBR combinano il processo di degradazione biologica con la filtrazione su membrane

Vantaggi dei sistemi MBR:

- Elevata qualità dell'effluente
- Riduzione aree di ingombro dei reattori
- Produzione limitata di fanghi
- Modularità e possibilità di upgrading di impianti esistenti



Introduzione

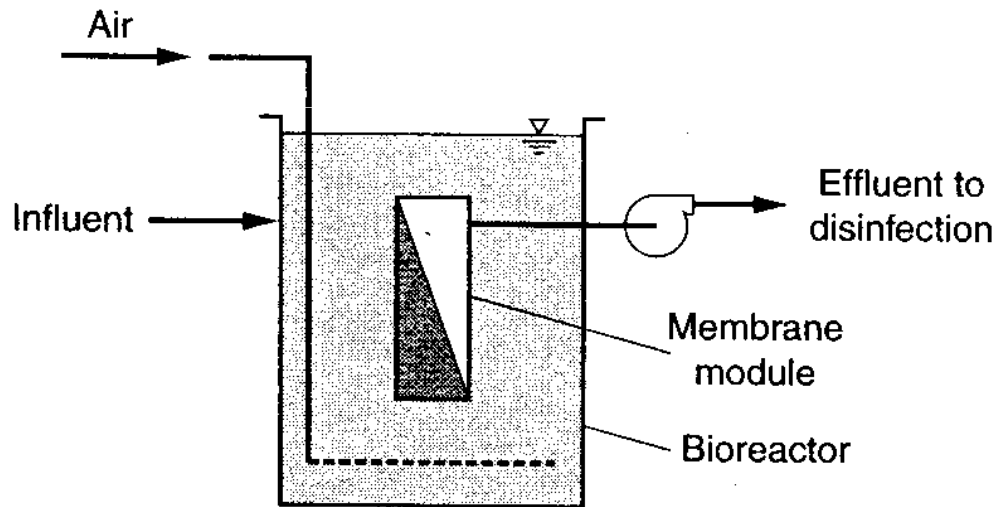
Bioreattori a membrane - MBR

- Il tasso di crescita medio annuo previsto per il mercato globale degli MBR è del 10,5 % con un incremento in valore da 296,0 milioni di dollari nel 2008 a 488,0 milioni di dollari nel 2013 (*Kraume and Drews, 2010*)



Introduzione

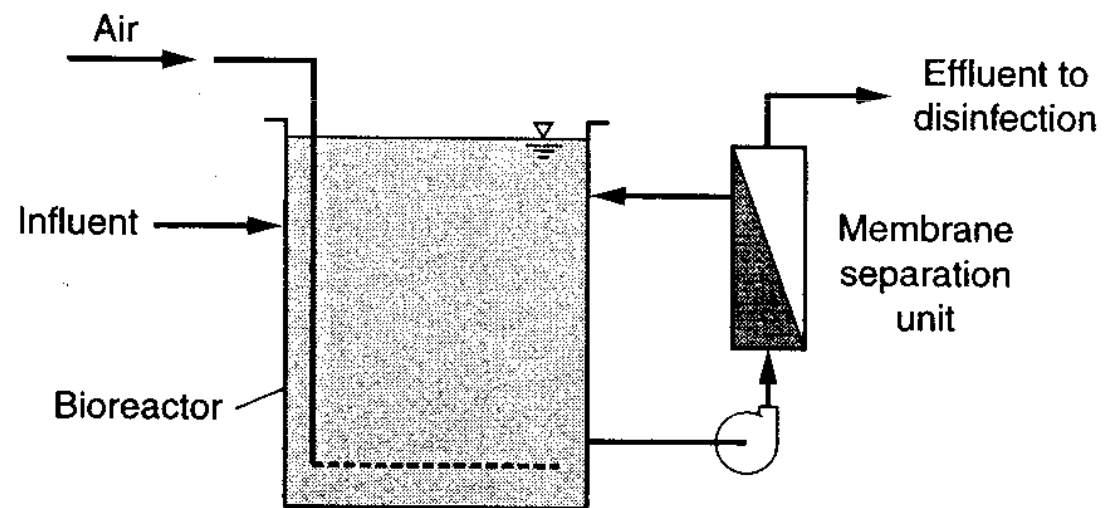
Bioreattori a membrana - MBR



a) MBR integrato con membrana immersa nel reattore

(a)

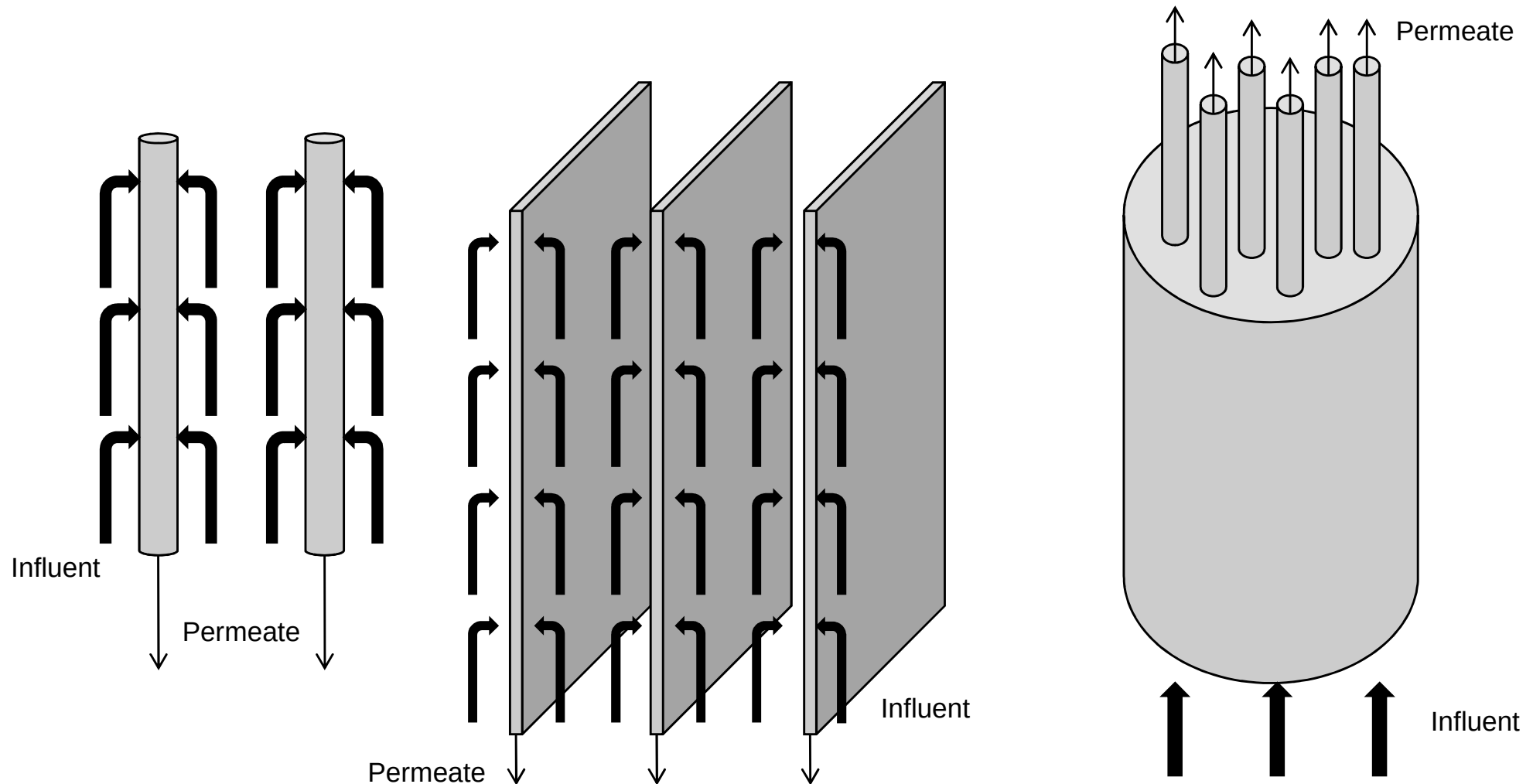
b) MBR con membrana esterna al reattore



(b)

Introduzione

Bioreattori a membrana - MBR



Hollow Fibre - HF

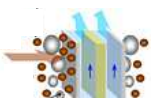
Flat Sheet - FS

Multitubular - MT

Introduzione

Analisi storica

- I primi bioreattori a membrane furono commercializzati negli Stati Uniti alla fine degli anni '60 in configurazione side-stream per il trattamento delle acque di sentina delle navi
- L'introduzione della configurazione sommersa agli inizi degli anni '90 ha reso possibile l'applicazione della tecnologia MBR anche per il trattamento dei reflui civili
- Alla fine del 1996 erano stati installati in Giappone 60 impianti della compagnia giapponese Kubota e negli stessi anni negli Stati Uniti la Zenon Environmental brevettò il ZenoGem[®], sistema MBR con membrane di ultrafiltrazione a fibre cave in configurazione sommersa



Introduzione

Analisi storica

- In Europa, il primo impianto MBR su scala reale per il trattamento di reflui civili fu commissionato a Porlock (UK) nel 1998 (3800 AE) e nel 1999 in Francia a Perthes en Gatinais venne installato un impianto Zenon (4500 AE)



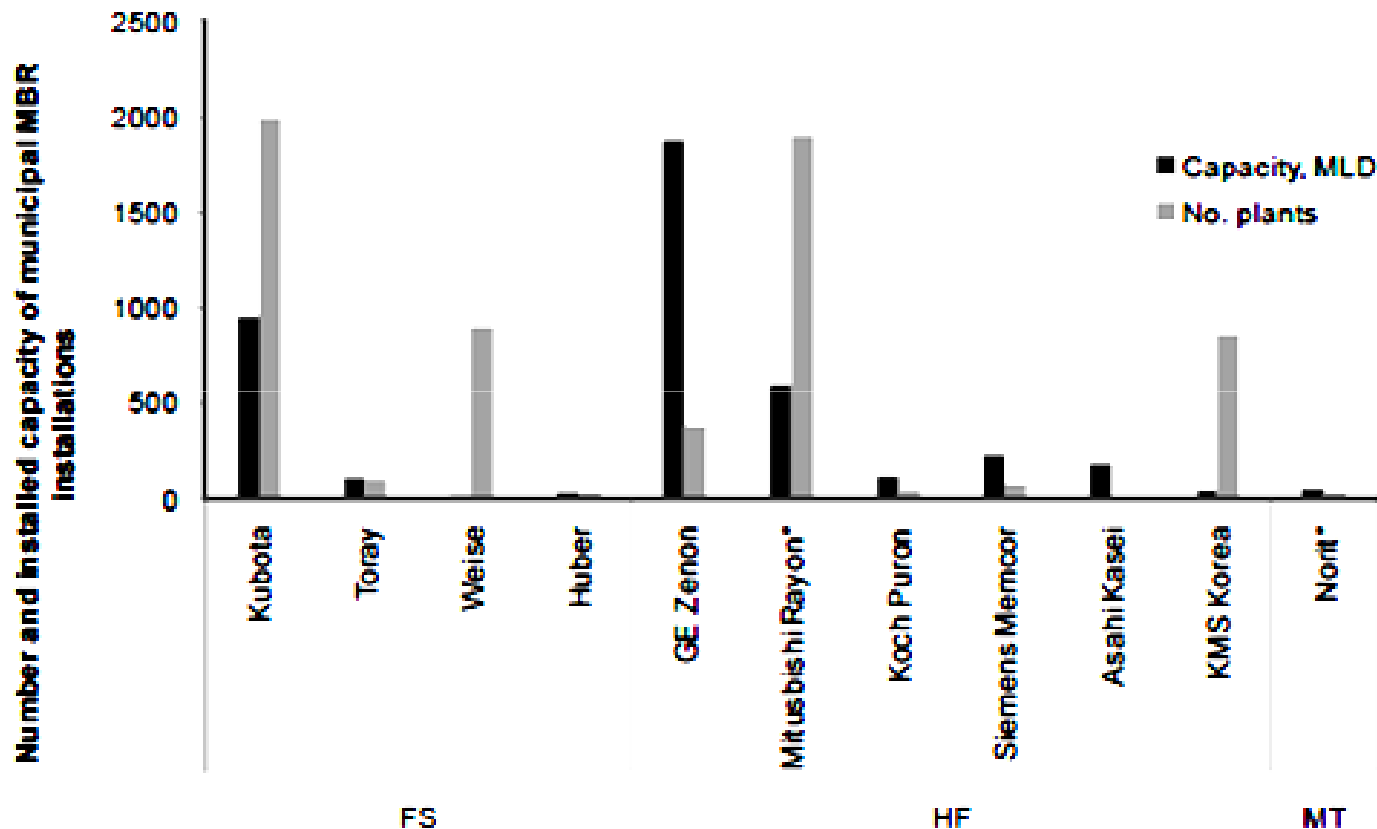
Impianto MBR Porlock - Kubota, UK



Introduzione

Principali aziende produttrici di MBR

- Le prime due aziende produttrici di impianti MBR, Kubota e GE Zenon, conservano ancora oggi il loro predominio sul mercato globale per il trattamento di reflui civili. Una decina di aziende si divide il mercato
- Kubota possiede circa il 20-25% del numero totale di installazioni e GE Zenon circa il 40% (*Judd, 2011*)

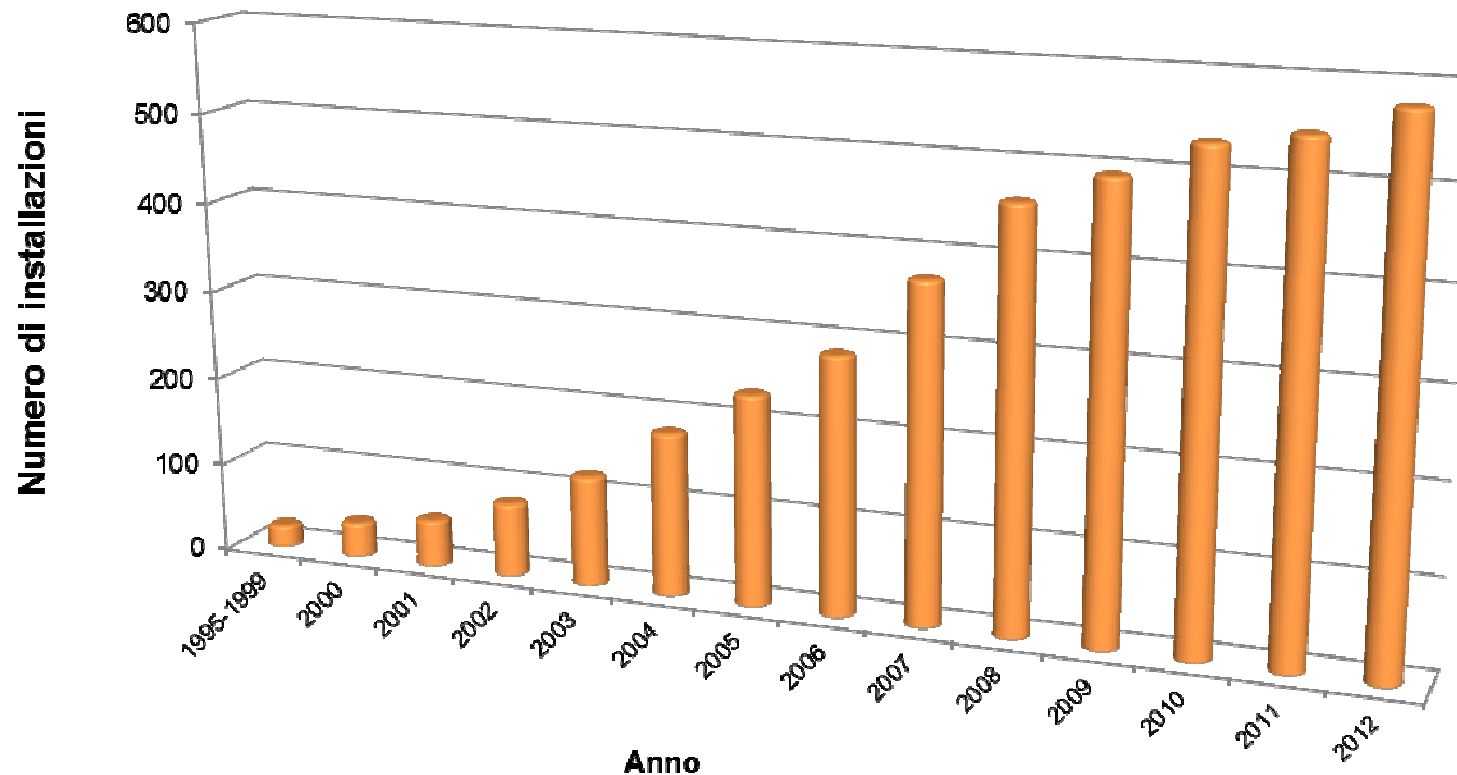


Principali aziende produttrici di impianti MBR (Santos e Judd, 2010)

Sviluppo e diffusione dei bioreattori a membrane

L'evoluzione del mercato degli MBR

- Circa 600 installazioni di impianti MBR delle compagnie produttrici Kubota, Siemens e GE Zenon nell'anno 2012

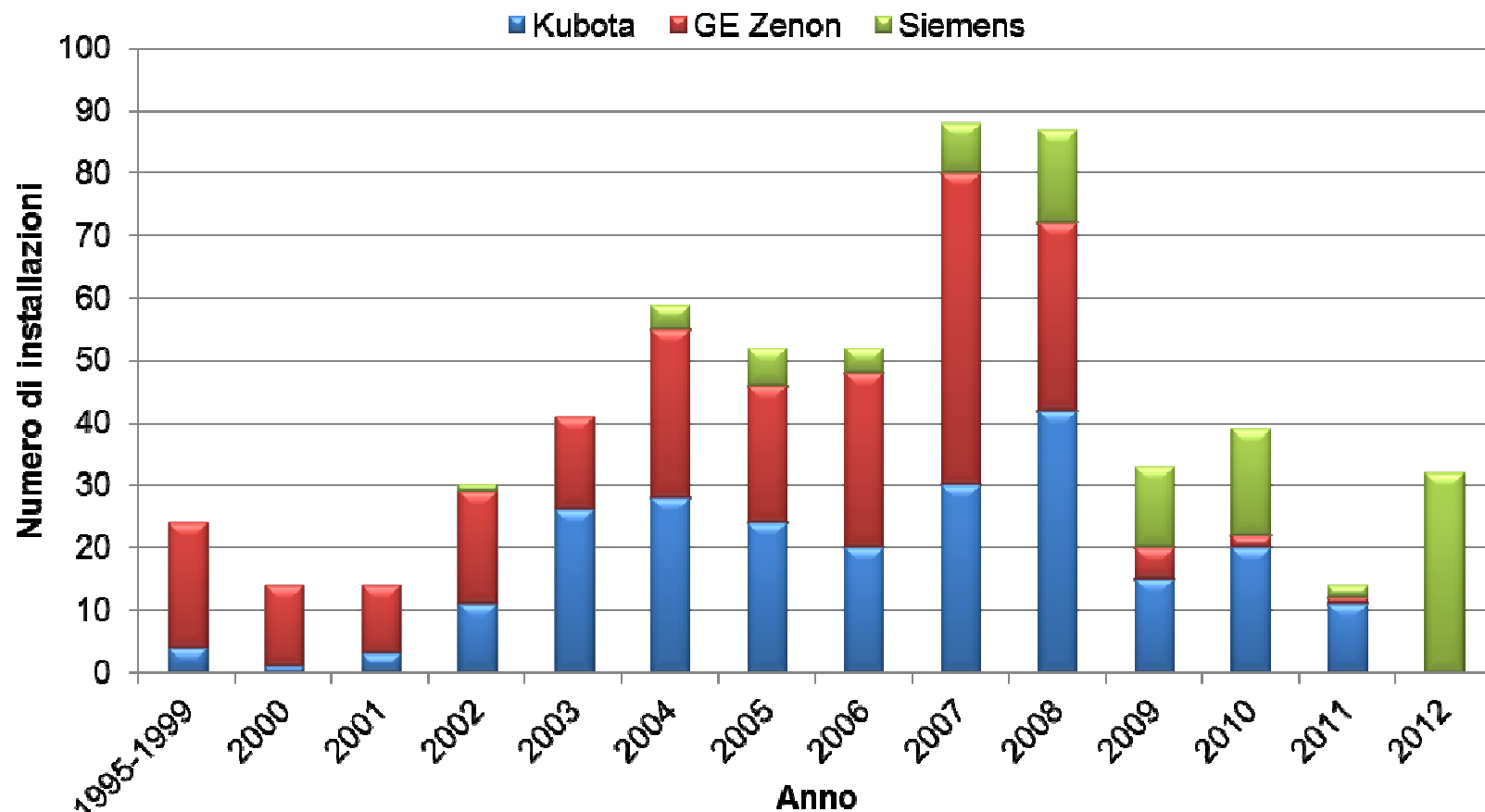


Sviluppo del mercato degli MBR dovuto a tre fornitori, Kubota, GE Zenon e Siemens (Scannapieco et al., 2012)

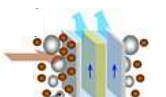
Sviluppo e diffusione dei bioreattori a membrane

L'evoluzione del mercato degli MBR

- Fino al 2008, vi è stata una predominanza delle due aziende produttrici di MBR, Kubota (Giappone) e GE Zenon (USA). Negli anni successivi si può invece osservare una diminuzione del numero di impianti della GE Zenon ed un aumento delle installazioni della Siemens



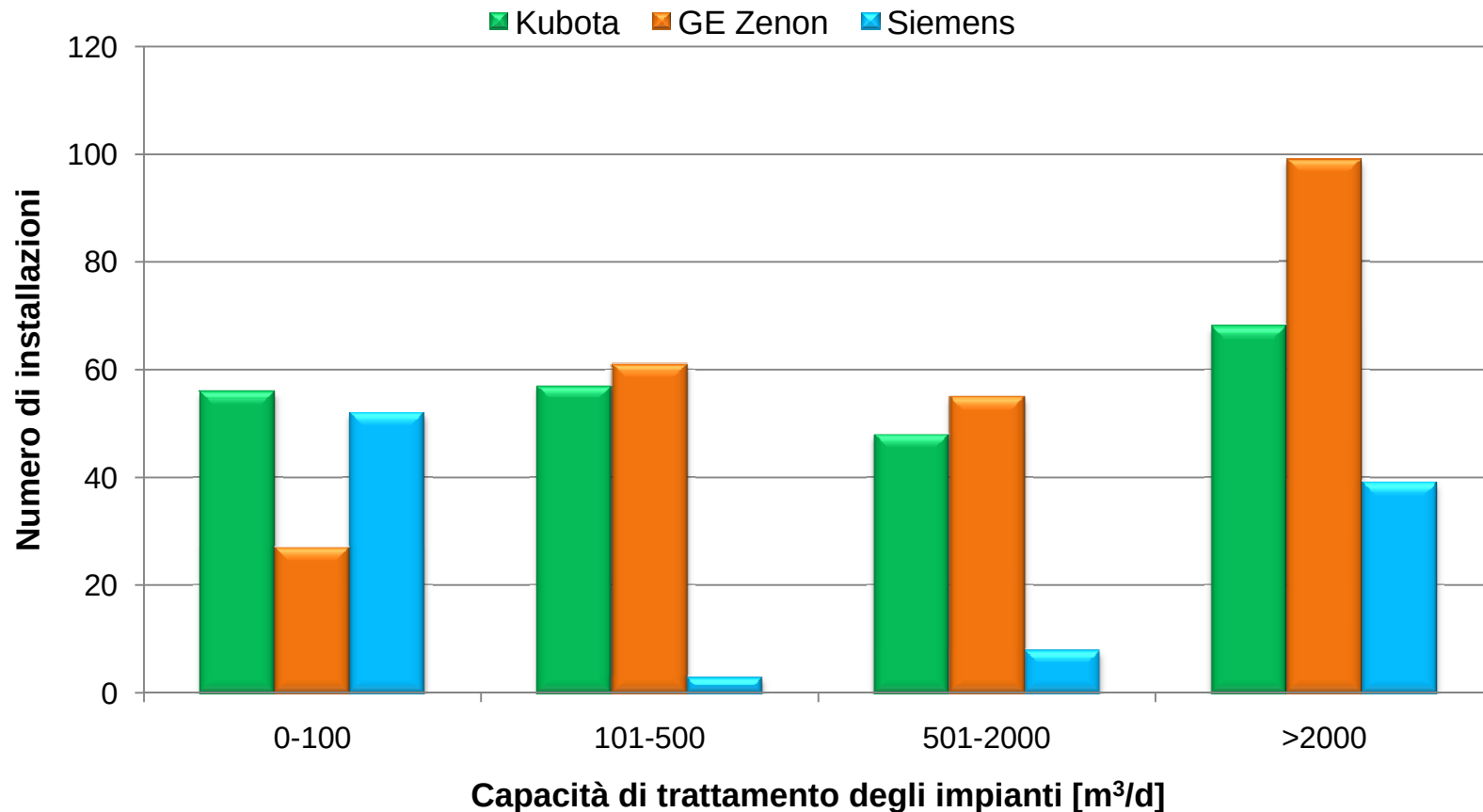
Installazioni annuali di impianti MBR suddivise per aziende produttrici (Scannapieco et al., 2012)



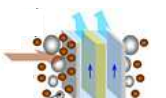
Sviluppo e diffusione dei bioreattori a membrane

Distribuzione per capacità di trattamento degli impianti

- La tecnologia Kubota sembra essere maggiormente utilizzata per impianti di trattamento di bassa capacità a differenza della GE Zenon, che risulta essere più diffusa negli impianti di grandi dimensioni (*Judd, 2011*)



Distribuzione degli impianti MBR in relazione alla loro capacità di trattamento ed all'azienda produttrice (Scannapieco et al., 2012)



Sviluppo e diffusione dei bioreattori a membrane

Distribuzione per capacità di trattamento degli impianti



177000 m³/d - Gwinnett County, GA (GE Zenon)



220000 m³/d – Muscat, Oman (Kubota)



42000 m³/d – Brescia, IT (GE Zenon)



78000 m³/d - Villaggio Olimpico Beijing, Cina (Siemens)

Sviluppo e diffusione dei bioreattori a membrane

Impianto di Swanage, UK

- Area turistica nel Dorset
- 28,000 abitanti equivalenti
- 13,000 m³/d (147 l/s) - 200 l/s di punta



Sviluppo e diffusione dei bioreattori a membrane

Swanage, UK



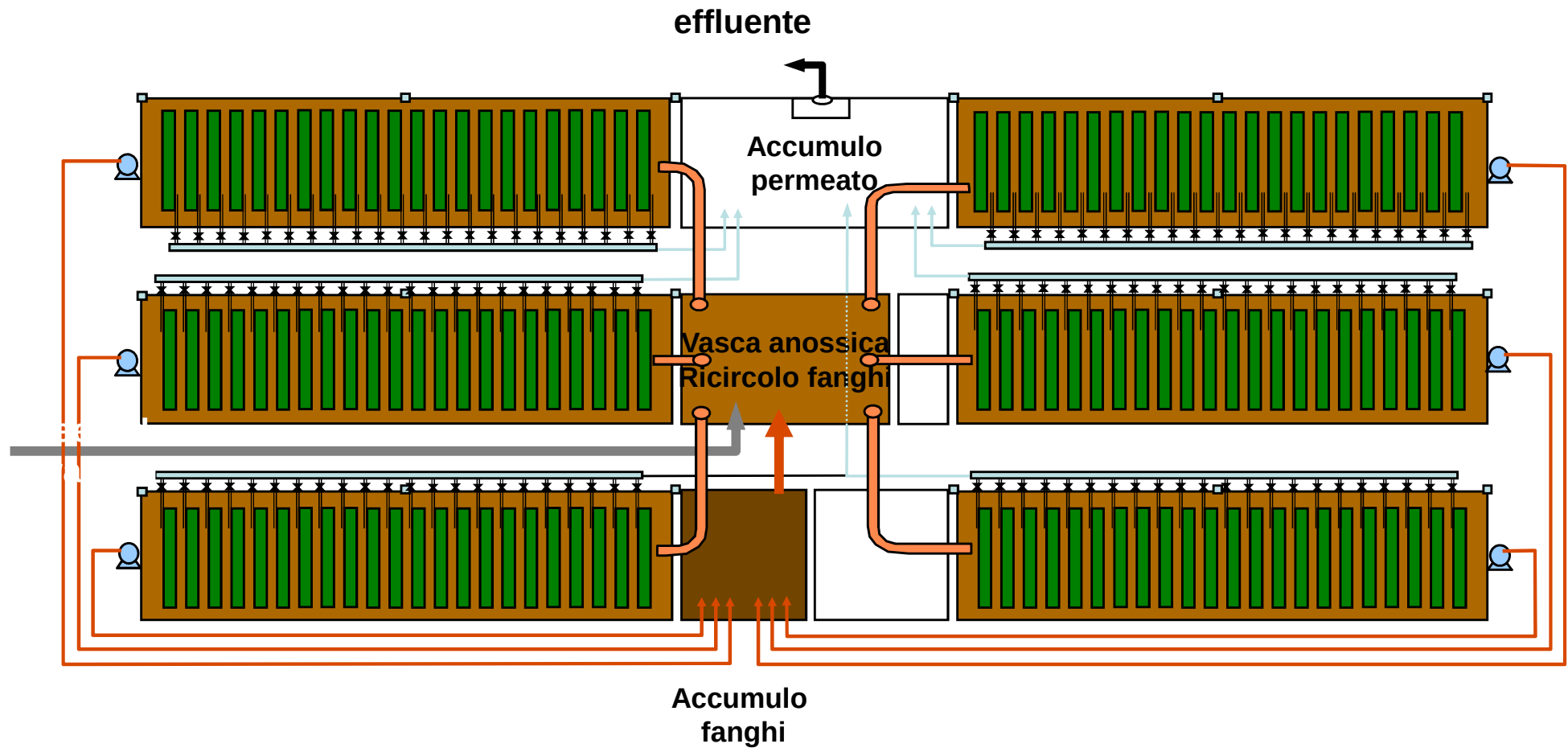
Sviluppo e diffusione dei bioreattori a membrane

Impianto MBR di Swanage, UK



Sviluppo e diffusione dei bioreattori a membrane

Impianto MBR di Swanage, UK



Sviluppo e diffusione dei bioreattori a membrane

Impianto MBR di Swanage, UK



Sviluppo e diffusione dei bioreattori a membrane

Impianto MBR di Swanage, UK



Sviluppo e diffusione dei bioreattori a membrane

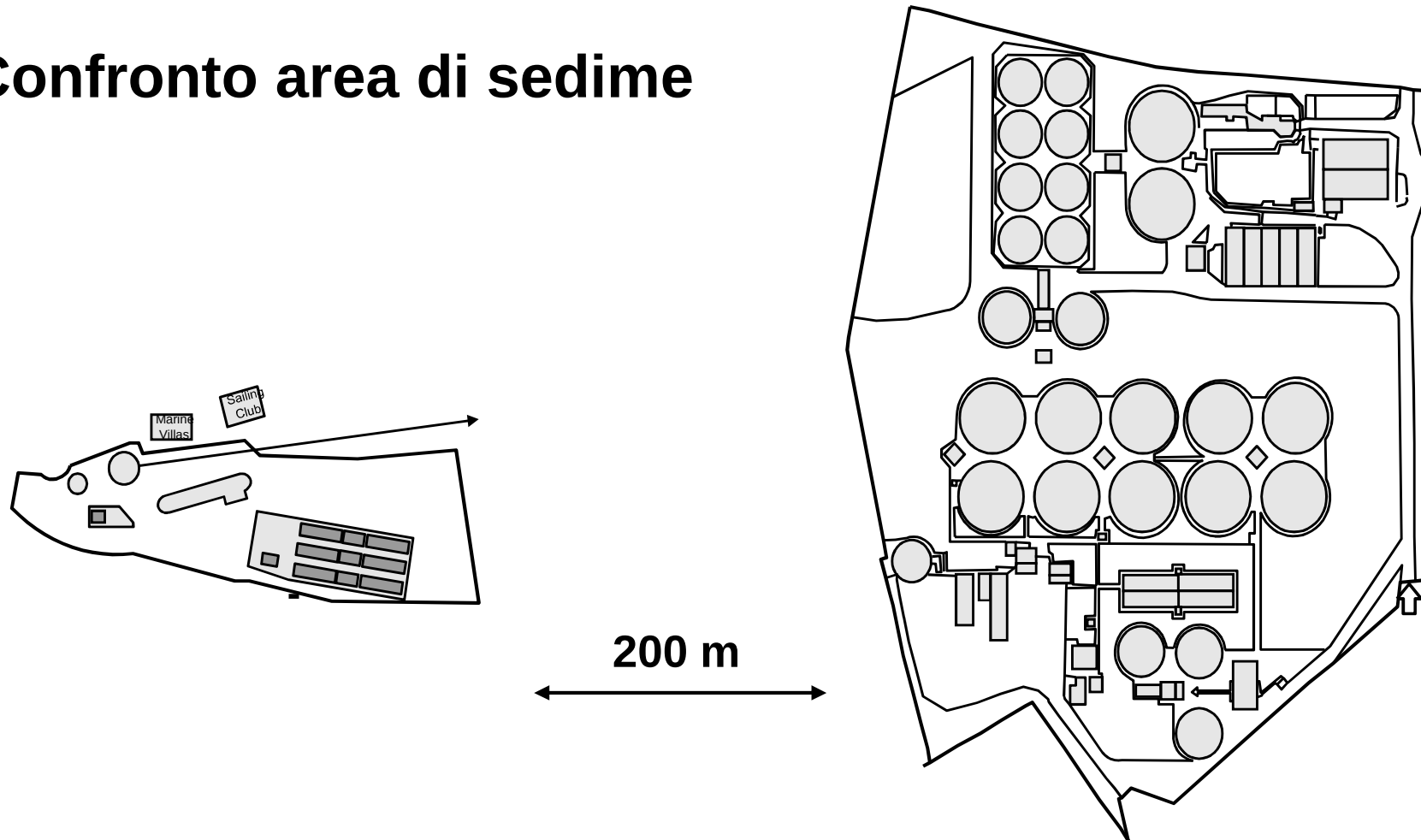
Impianto MBR di Swanage, UK



Sviluppo e diffusione dei bioreattori a membrane

Impianto MBR di Swanage, UK

Confronto area di sedime

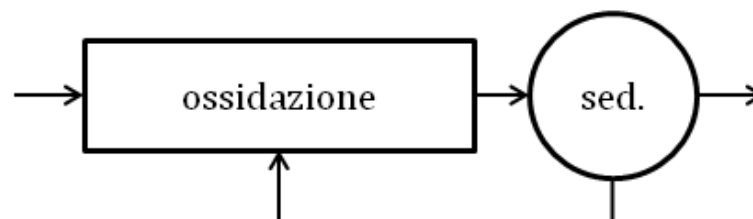


Swanage (28000 pe) - 0.7 ha

Glastonbury (30000 pe) - 4.5 ha

Upgrade degli impianti con tecnologia MBR

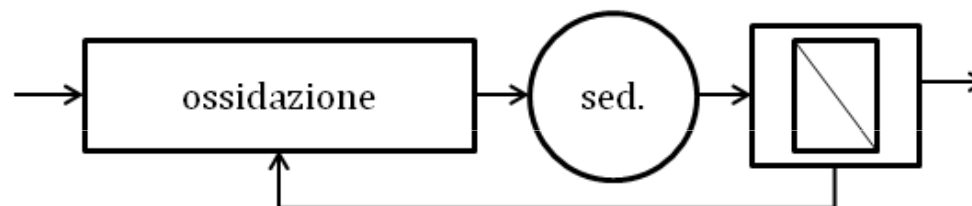
configurazione iniziale



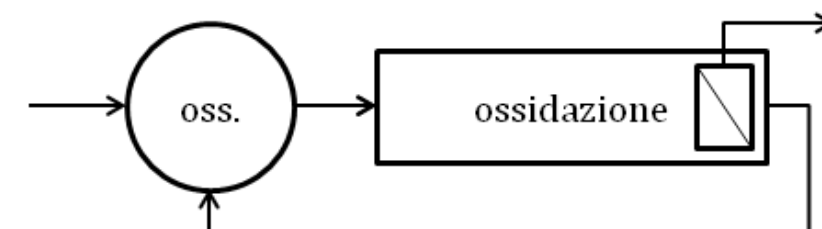
1 - sostituzione della sedimentazione con un'unità di filtrazione esterna



2 - utilizzo del sedimentatore come volume aggiuntivo di ossidazione



3 - posizionamento delle membrane internamente alla vasca di ossidazione

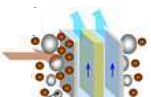


Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR

- Bioreattore a membrane a letto mobile (MB – MBR)
- Combinazione di reattori MBR con processi di ossidazione

avanzata

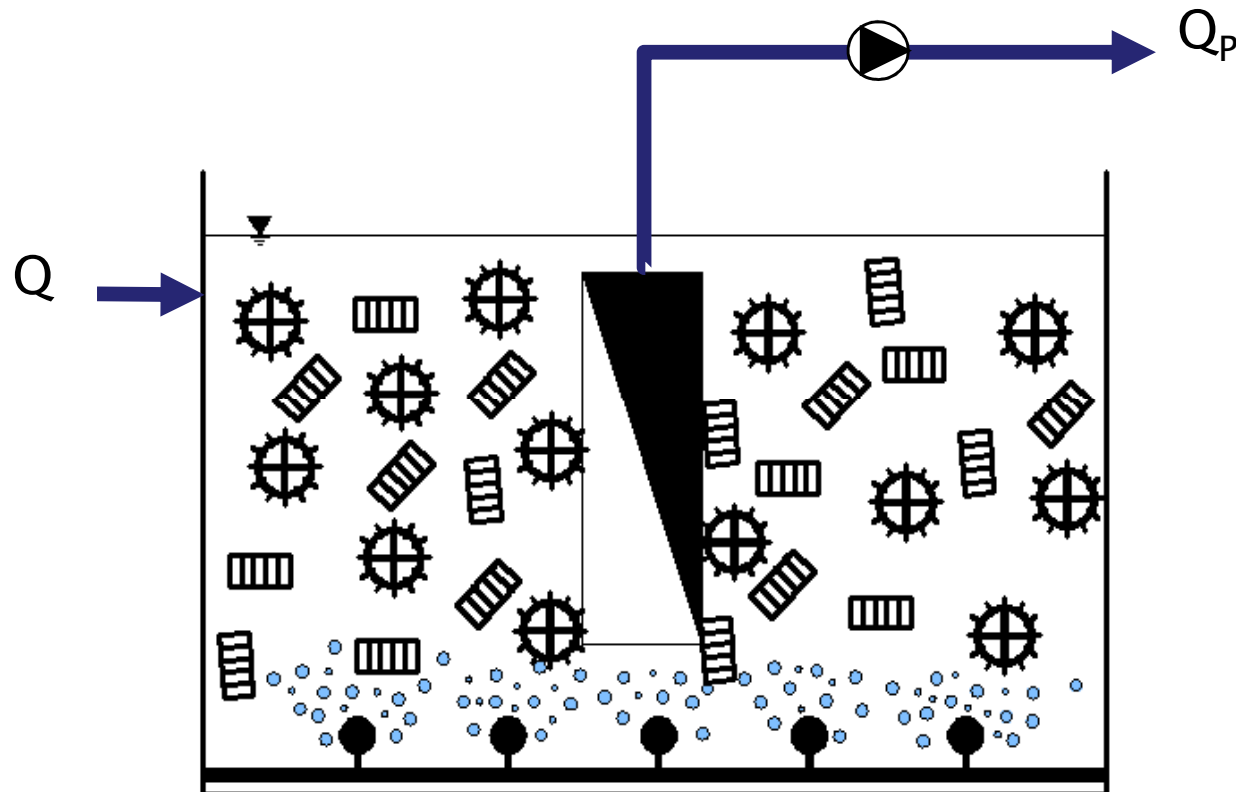
- Bioreattori a membrane anaerobici (AnMBR)
- Elettro bioreattori a membrane (MEBR)



Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR

Bioreattore a membrane a letto mobile (MB – MBR)

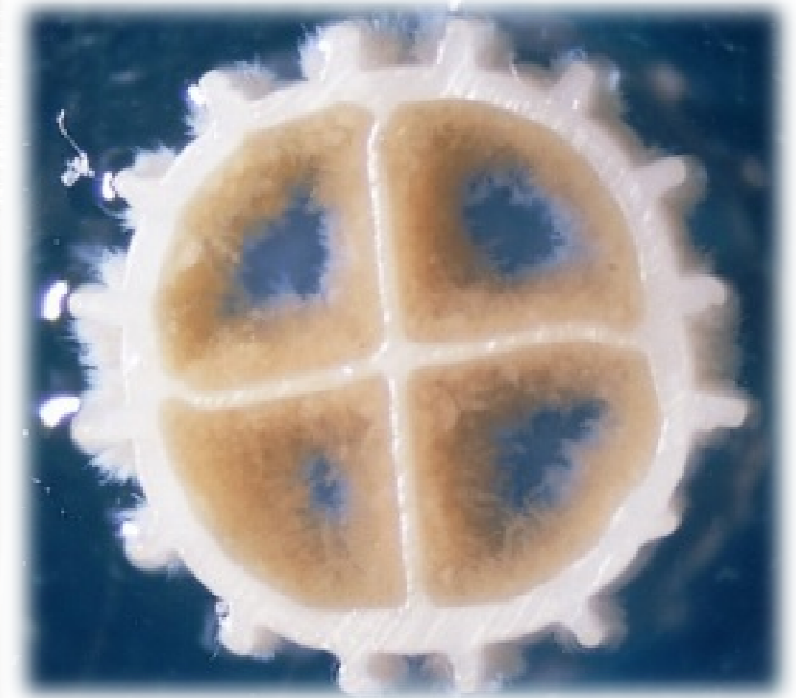
I reattori MB-MBR combinano la tecnologia di filtrazione a membrana con un processo biologico a biomassa adesa mediante l'inserimento di elementi plastici di supporto in percentuali del 10-20% rispetto al volume del reattore (*Khan et al., 2012*)



Reattore MBMBR (adattato da Yang et al., 2012)

Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR

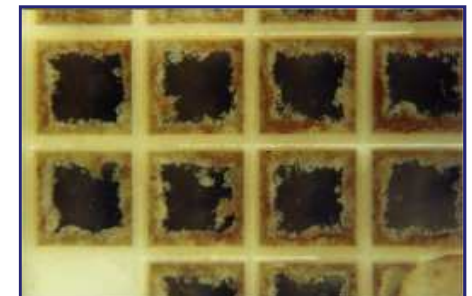
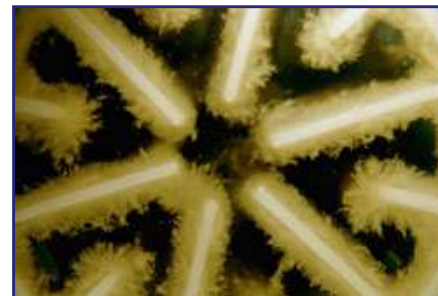
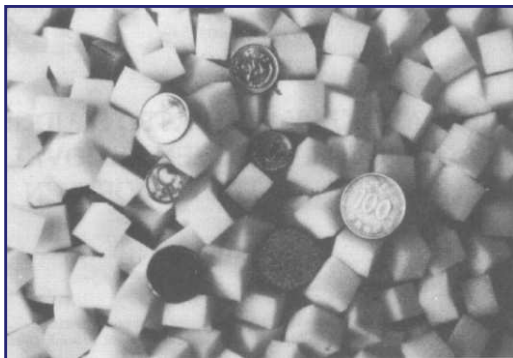
Bioreattore a membrane a letto mobile (MB – MBR)



Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR

Bioreattore a membrane a letto mobile (MB – MBR) – Materiali di supporto

Sistema	Materiale	Dimensioni [mm]	Densità [g/cm ³]	Superficie specifica [m ² /m ³]
<i>Captor</i>	Poliuretano consistenza spugnosa	B=25, L=25, H=12,5	1 (con biomassa)	n.d.
<i>Kaldnes</i>	Cilindri in polietilene rigido	D=10, H=7	0,92-0,96	450
<i>Linpor</i>	Poliuretano consistenza spugnosa	B=12, L=12, H=12	0,95	n.d.
<i>Flocor</i>	Polipropilene	D= 15-20; H= 20-30	0,94-0,98	160

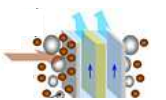


Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR

Bioreattore a membrane a letto mobile (MB – MBR)

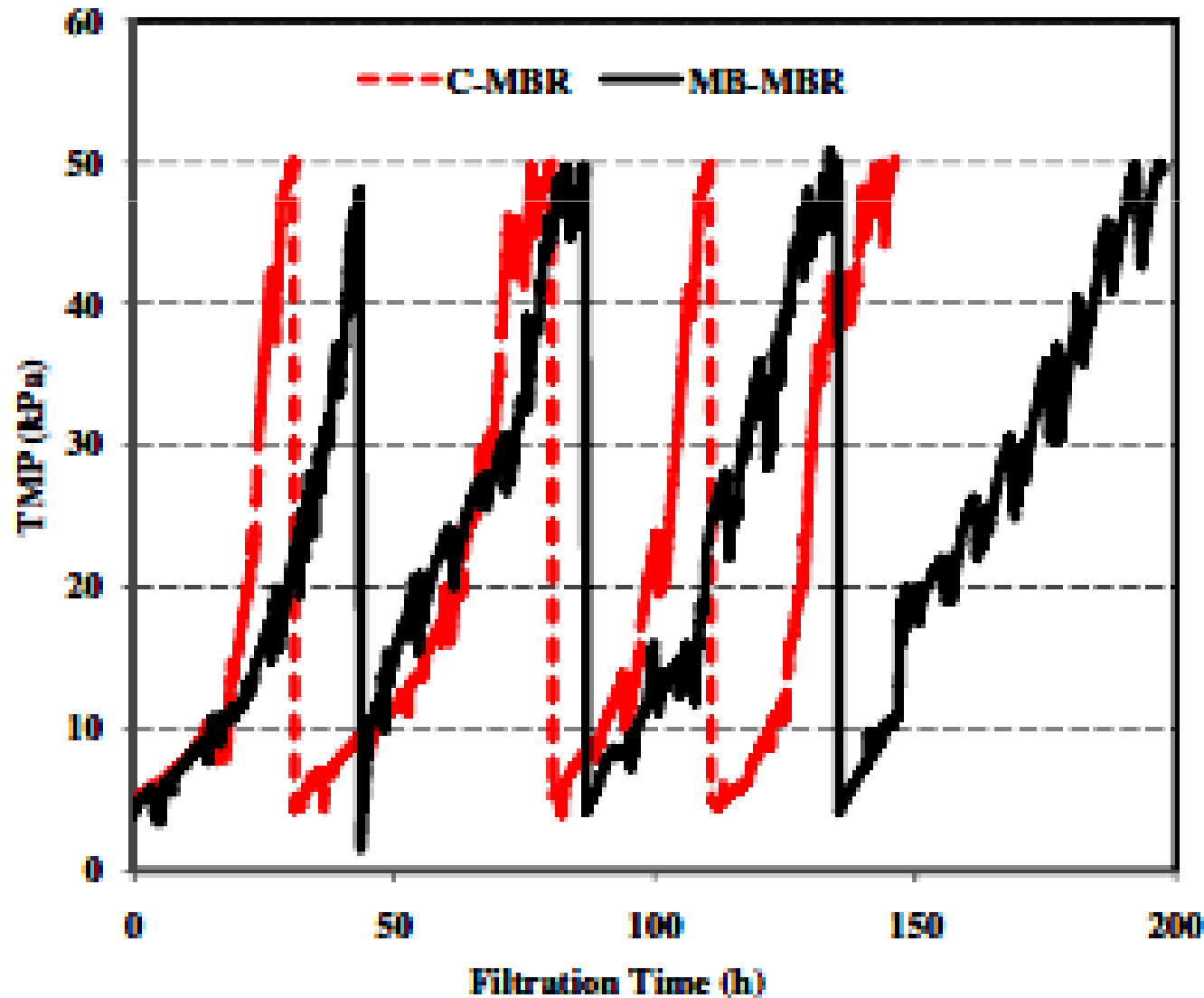
Vantaggi dei sistemi MB-MBR:

- Alte concentrazioni di biomassa
- Riduzione del fouling delle membrane grazie alla collisione tra la superficie della membrana stessa ed i supporti in sospensione (*Hu et al., 2012*)
- Processo simultaneo di nitrificazione e denitrificazione come risultato del gradiente di concentrazione dovuto alla limitata diffusione dell'ossigeno disciolto nella parte più interna del biofilm adeso ai supporti (*Shuai et al., 2009*)

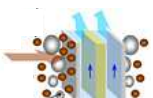


Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR

Bioreattore a membrane a letto mobile (MB – MBR)

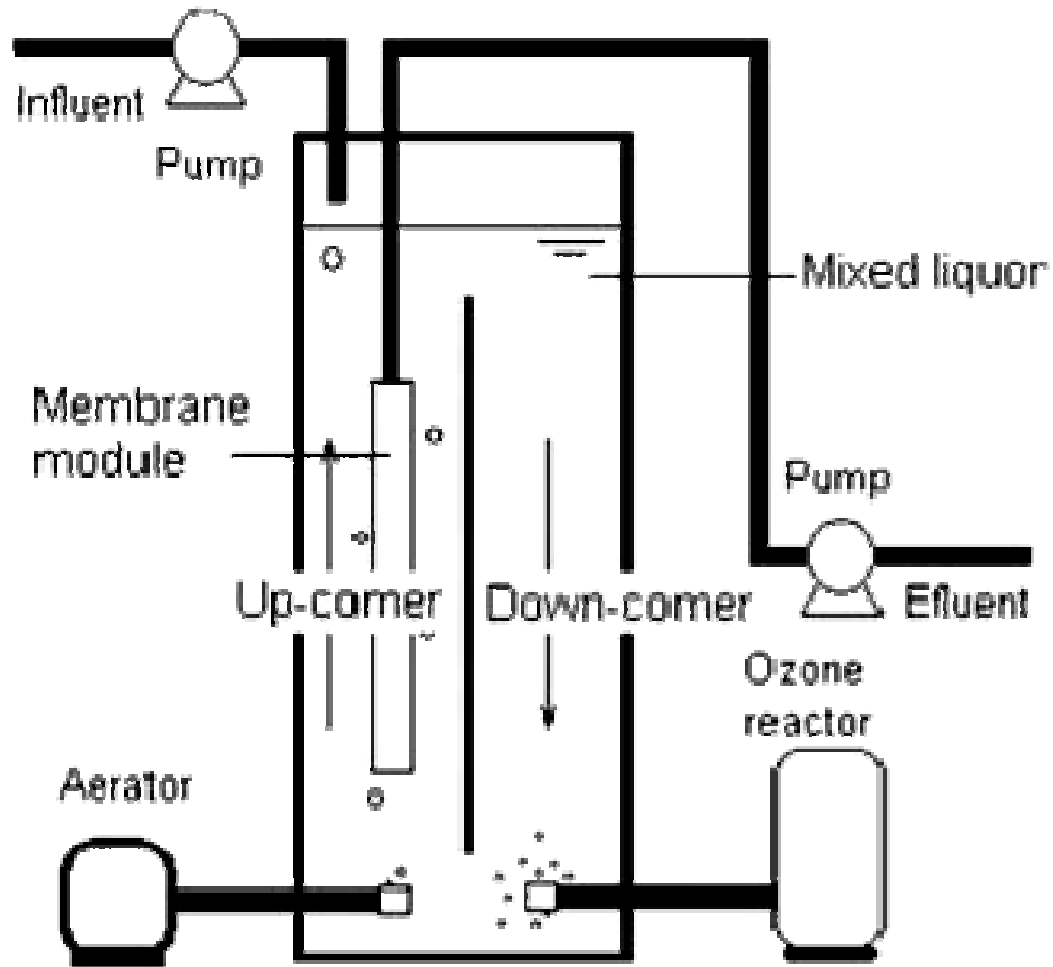


Profili della TMP in un convenzionale reattore MBR (C-MBR) e in un bioreattore a membrane a letto mobile (MB-MBR) (Khan, 2012)



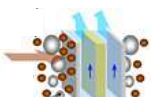
Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR

Combinazione di reattori MBR con processi di ozonizzazione



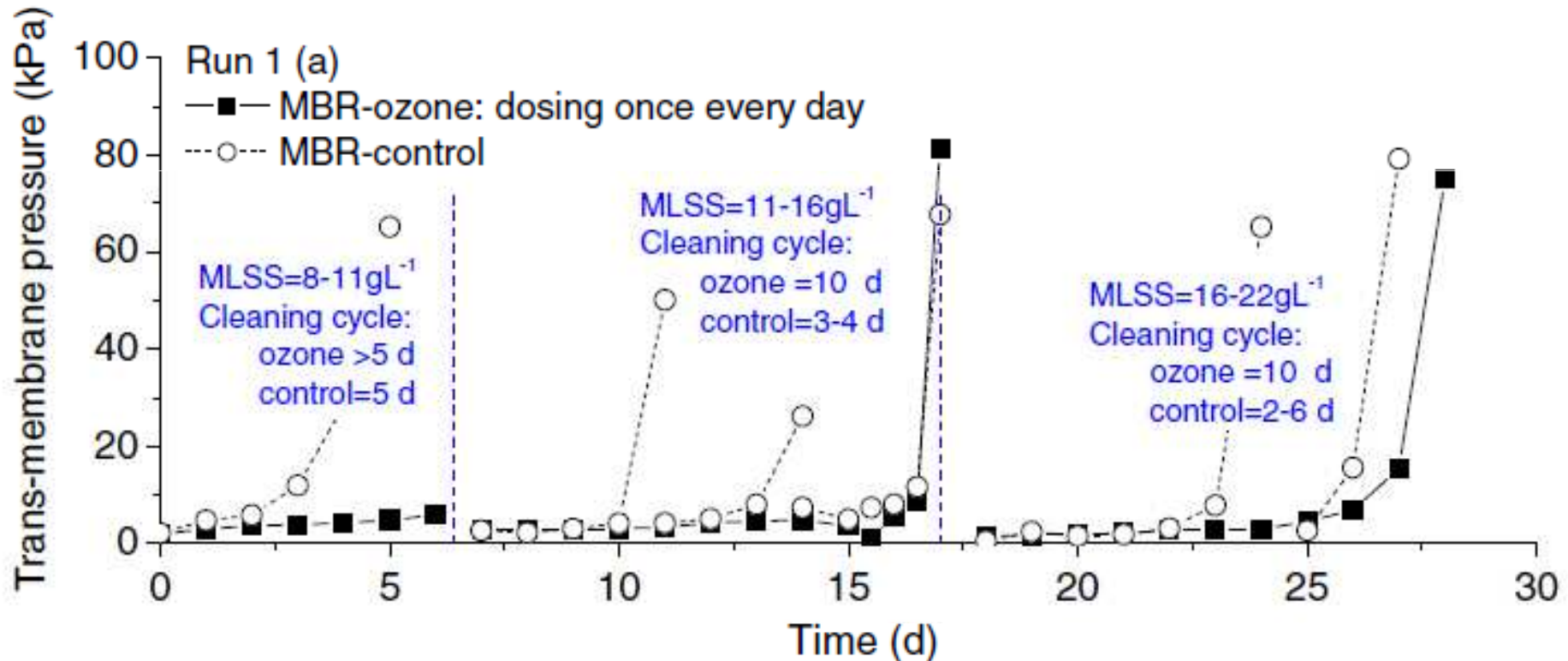
- Dosaggio di ozono $0.25 \text{ mg g}^{-1} \text{ SS}$ (una volta al giorno) (*Wu e Huang, 2010*)
- Ozono iniettato sul fondo del reattore per garantire il massimo contatto con la miscela aerata ed evitare l'erosione della membrana
- Attività microbica non inibita e qualità dell'effluente non deteriorata

Sistema MBR integrato con l'ozono (Wu e Huang, 2010)



Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR

Combinazione di reattori MBR con processi di ozonizzazione

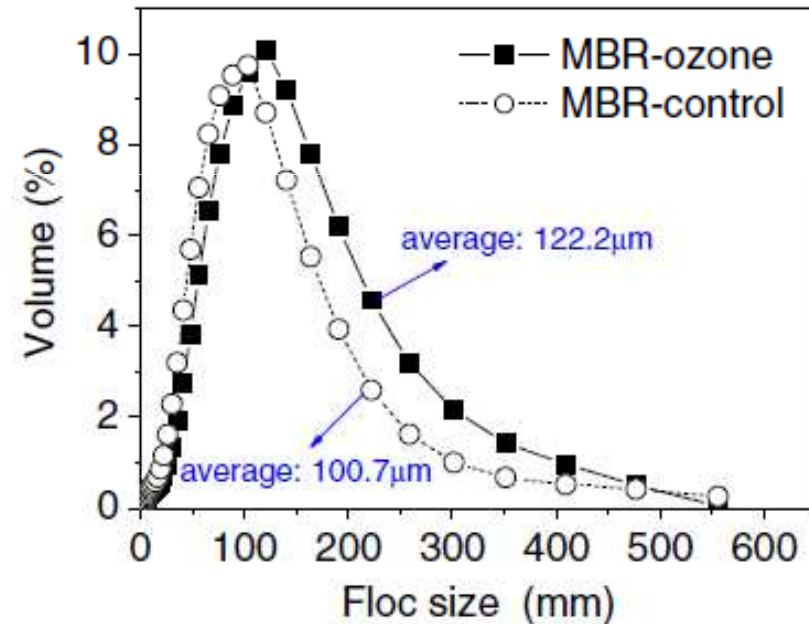
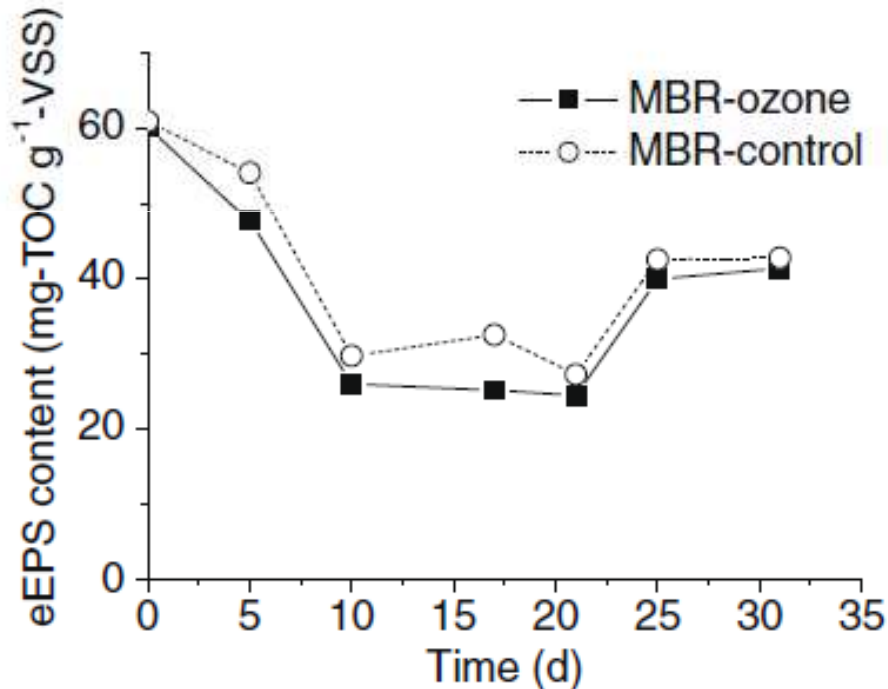


Variazione della pressione di transmembrana nel tempo (Wu e Huang, 2010)

- Raggiungimento di una TMP pari a 50 kPa in 3-5 giorni per il reattore di controllo, in 10 giorni per il reattore MBR combinato con ozono
- Prolungamento dei cicli di lavaggio

Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR

Combinazione di reattori MBR con processi di ozonizzazione

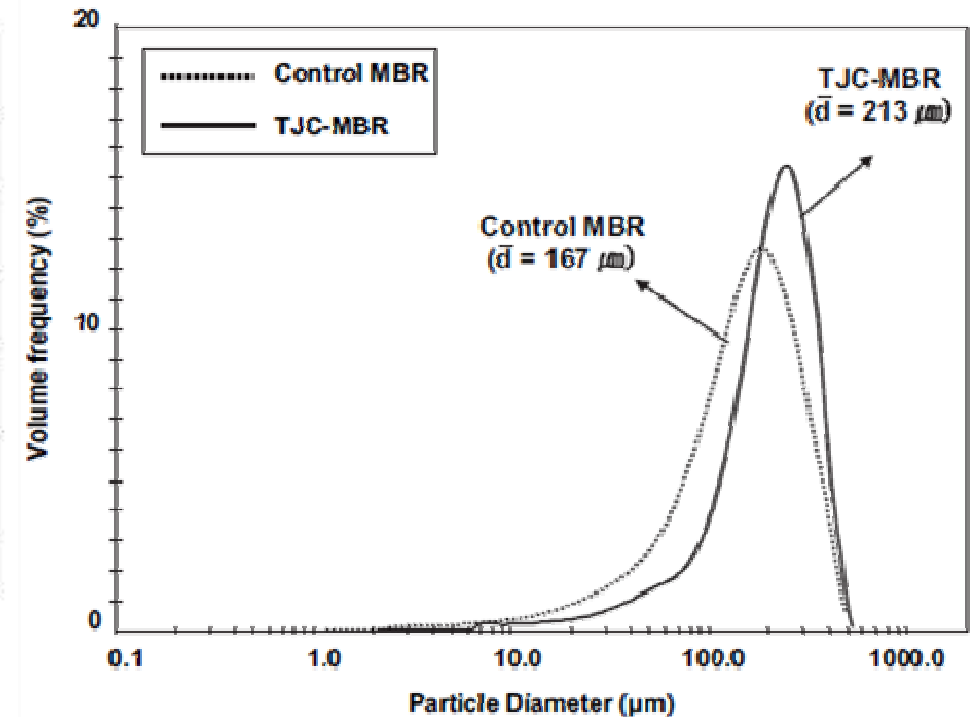
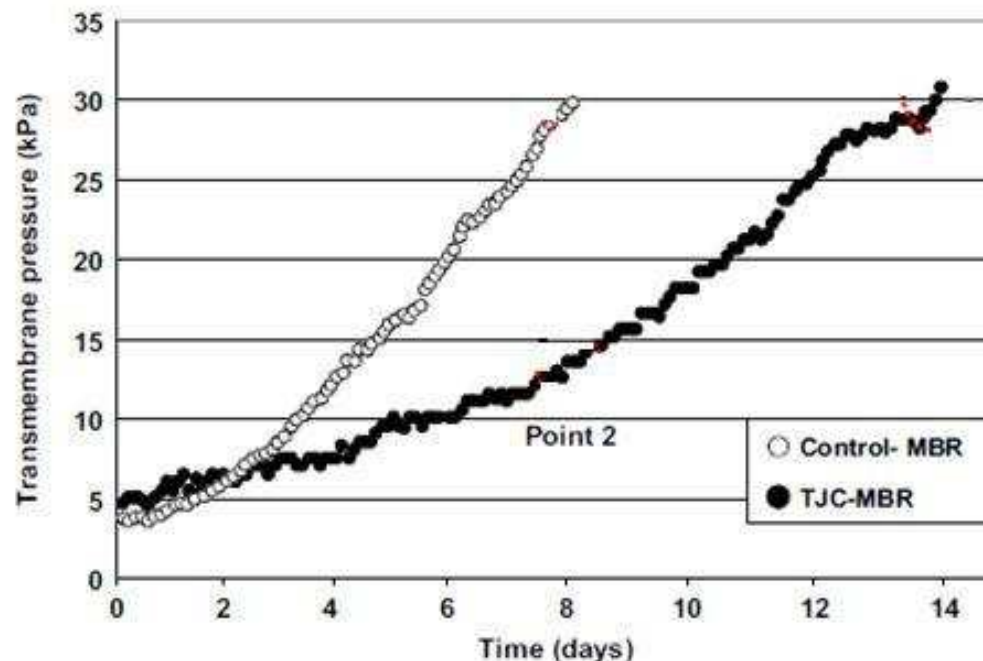


Concentrazione di EPS e distribuzione della dimensione dei fiocchi di fango (Wu e Huang, 2010)

- Riduzione degli EPS nel reattore MBR combinato con ozono
- Maggiore idrofobicità dei fiocchi con una diminuzione della repulsione elettrostatica tra le particelle che tendono così ad aggregarsi e flocculare piuttosto che ad aderire sulla superficie della membrana
- Incremento delle dimensioni dei fiocchi con conseguente riduzione del fouling

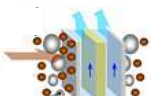
Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR

Combinazione di reattori MBR con processi di ozonizzazione

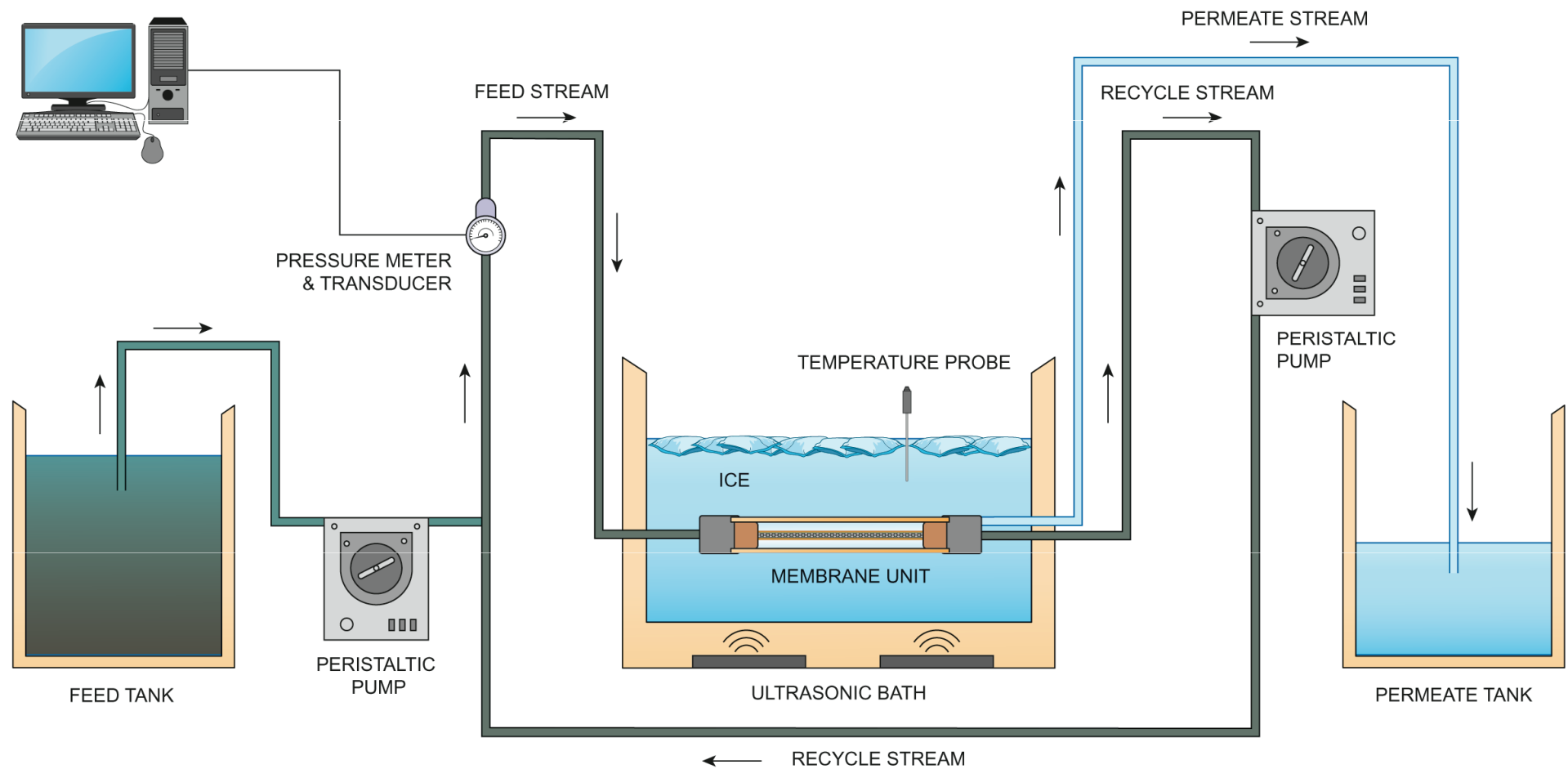


Variazione della TMP e distribuzione della dimensione delle particelle di fango (Hwang et al., 2010)

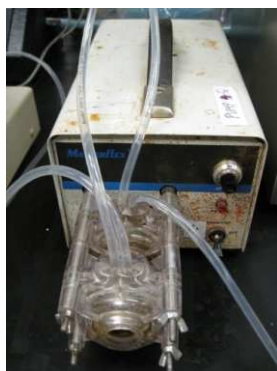
- Le particelle di fango, in seguito al processo di ozonizzazione, risultano caricate positivamente, quando sono riciclate nel reattore MBR e combinate con le particelle negative della miscela areata, la dimensione dei fiocchi aumenta, riducendo così il fouling
- Il biocake ha una maggiore porosità risultando in una maggiore permeabilità della membrana



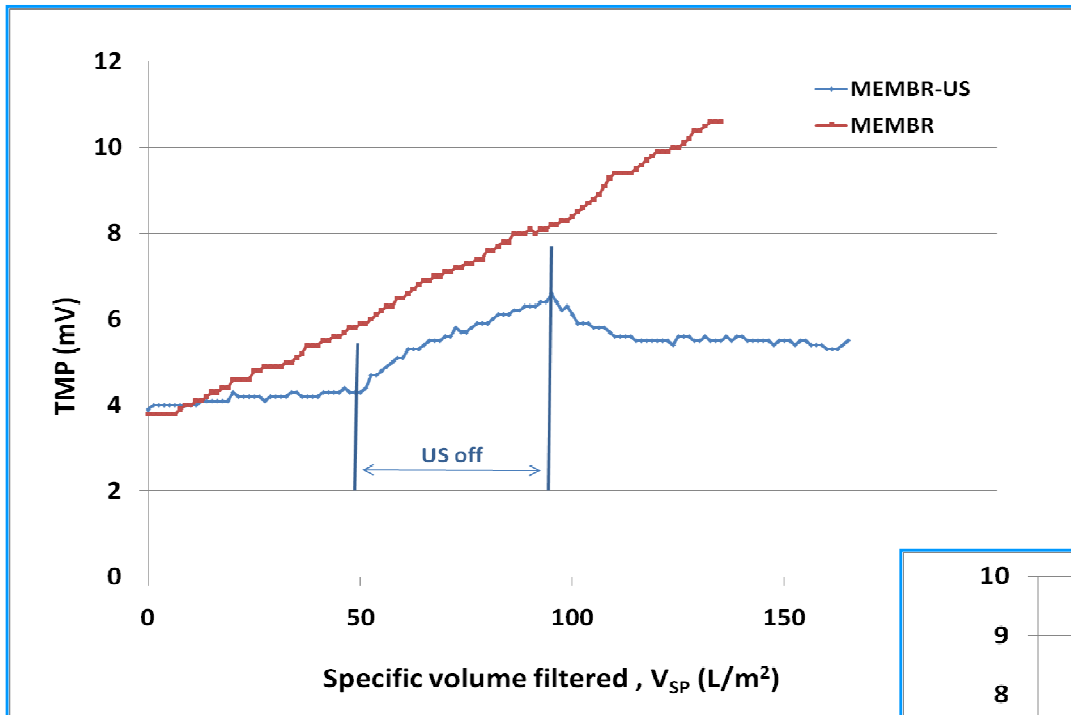
Ultrasuoni e Membrane



Ultrasuoni e Membrane

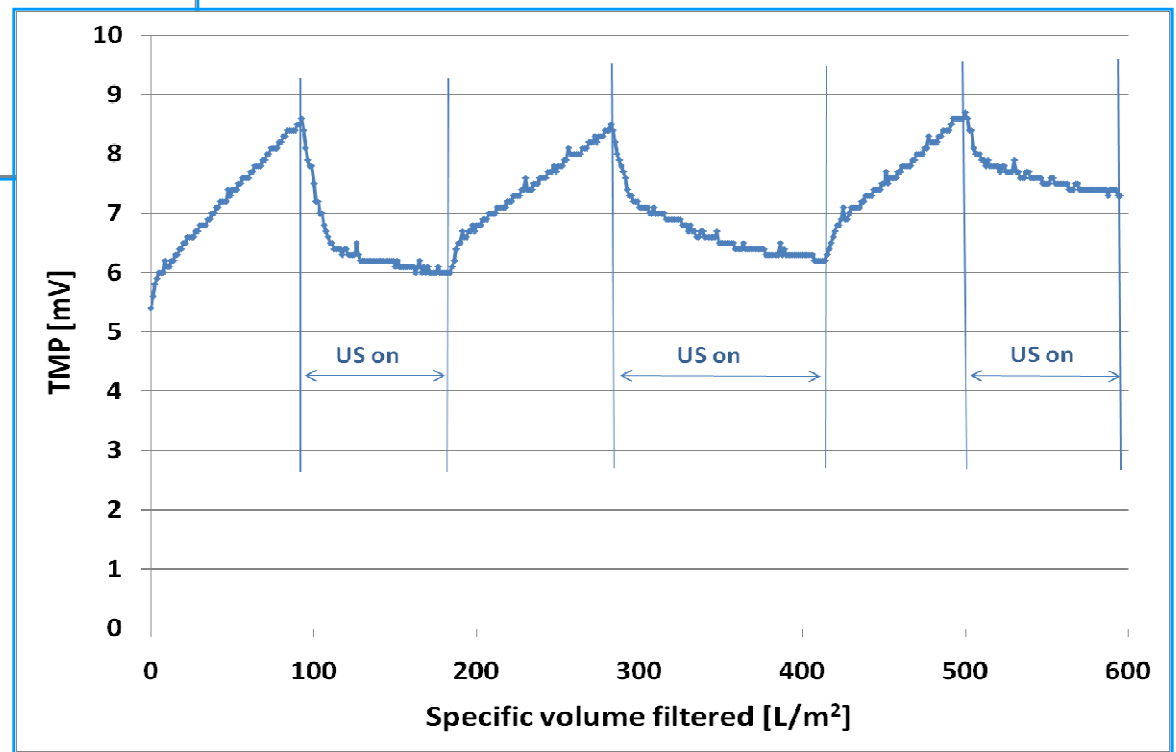


Ultrasuoni e Membrane

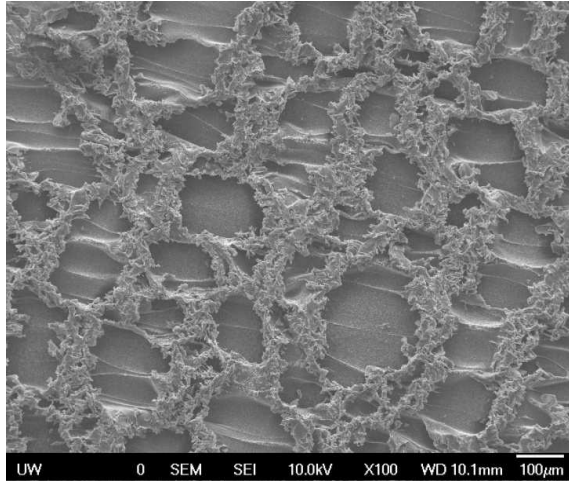


- Flusso alimentato 150L/(m²h)
- w/o controllo della temperatura
- 20minON – 20minOFF-
20minON

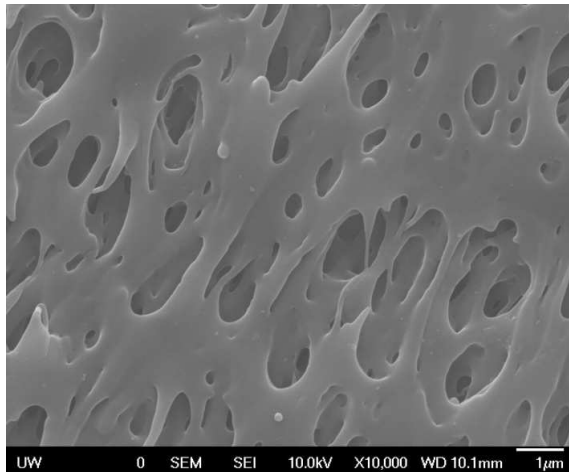
- Flusso alimentato 150L/(m²h)
- w/o controllo della temperatura
- 30minOFF – 30minON



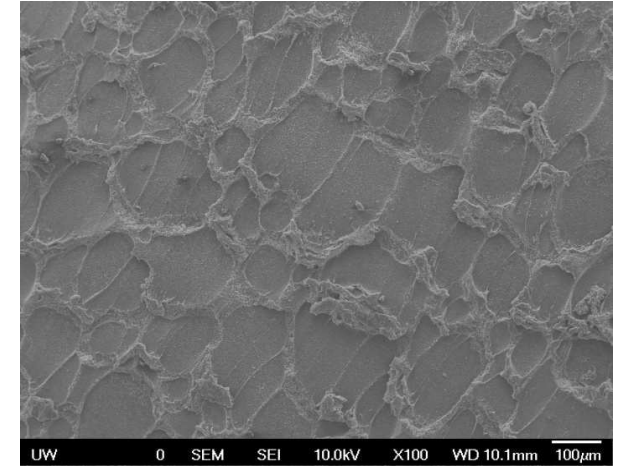
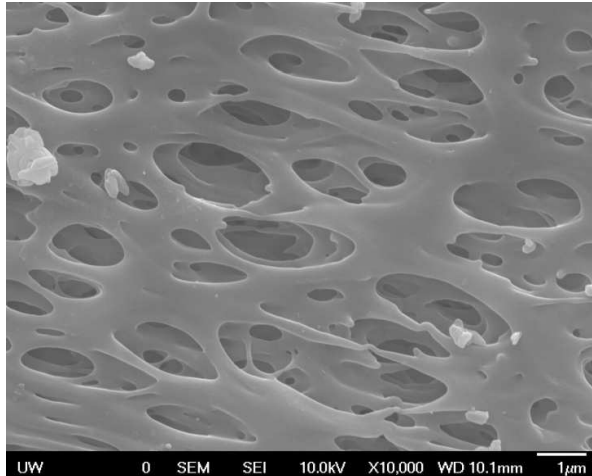
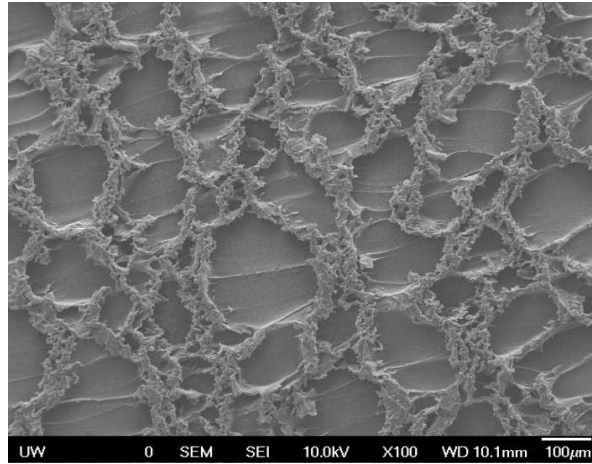
Immagini SEM – US crossflow filtration



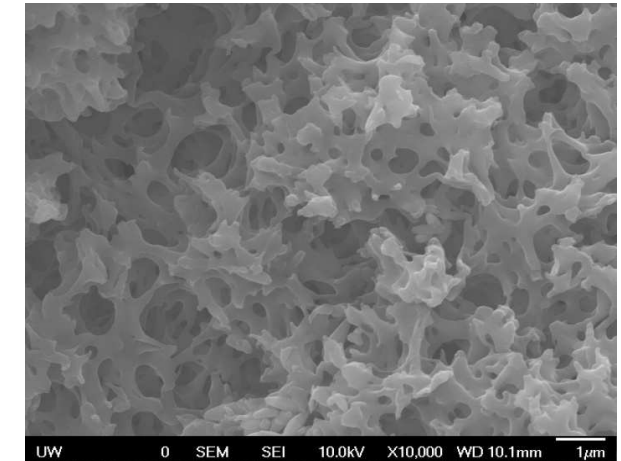
■ Membrana nuova



■ Dopo 1 h di US



■ Dopo 24h di US



Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR

Bioreattori a membrane anaerobici (AnMBR)

Utilizzati inizialmente in configurazione side – stream, nell'ultimo decennio Kubota ha commercializzato un sistema MBR anaerobico con membrane sommerse "KSAMBR" applicato principalmente per il trattamento di reflui dell'industria alimentare



Impianto KSAMBR per il trattamento di acque reflue di distilleria - Giappone, Kubota

Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR

Bioreattori a membrane anaerobici (AnMBR)

Basandosi sulla tecnologia KSAMBR di Kubota, ADI System Inc. ha realizzato un reattore MBR anaerobico ADI- AnMBR



ADI -AnMBR , ADI System Inc.

Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR

Bioreattori a membrane anaerobici (AnMBR)

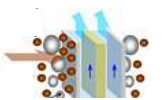
- Primi studi impiegavano membrane ceramiche, membrane polimeriche hanno guadagnato negli ultimi anni maggior interesse nella comunità scientifica e nelle applicazioni commerciali
- Contenimento del fouling mediante rilassamento e insufflazione di biogas prodotto dal processo biologico

Vantaggi dei sistemi AnMBR:

- Alti fattori di carico organico
- Riduzione aree di installazione
- Eccellente qualità degli effluenti
- Produzione di energia

Svantaggi dei sistemi AnMBR:

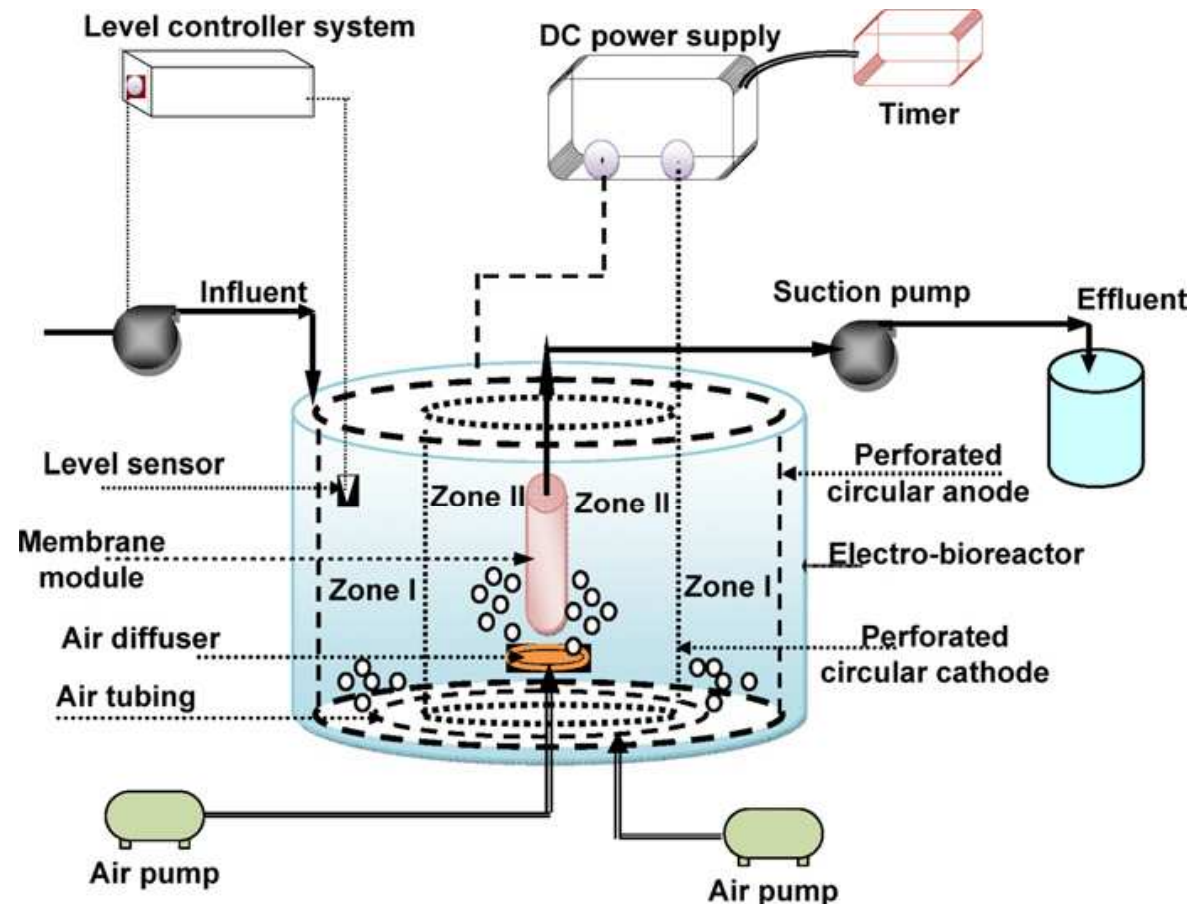
- Utilizzati principalmente per reflui industriali
- Applicazioni per reflui civili solo a scala banco o pilota
- Difficoltà legate al controllo del fouling



Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR

Elettro bioreattori a membrane

Combinazione di un reattore MBR con processi elettrocinetici attraverso l'applicazione di un campo elettrico intermittente tra due elettrodi immersi nel bioreattore



Elettro bioreattore a membrane (Bani-Melhem e Elektorowicz, 2011)

Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR

Elettro bioreattori a membrane (MEBR)

- La superficie dei fiocchi di fango attivo è generalmente caricata negativamente (*Lee et al., 2003; Liao et al., 2001*):
 - ✓ Elettroforesi: forza repulsiva tra la superficie della membrana e le particelle di fango caricate negativamente, che limita la loro adesione sulla superficie della membrana stessa
 - ✓ Utilizzo di anodi in ferro o alluminio: elettrocoagulazione

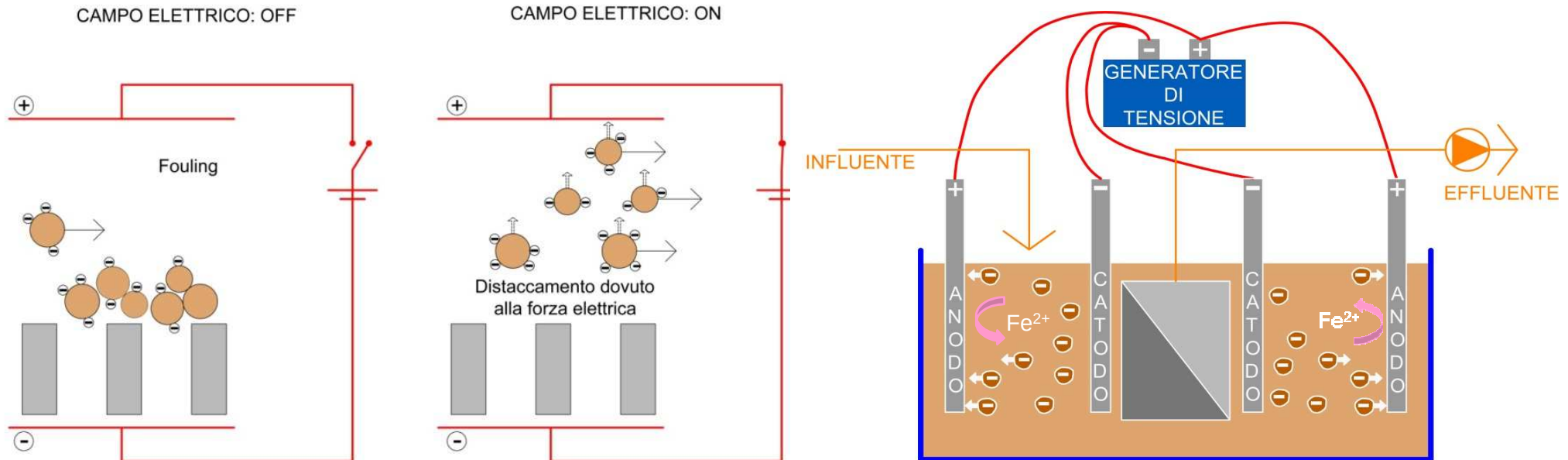
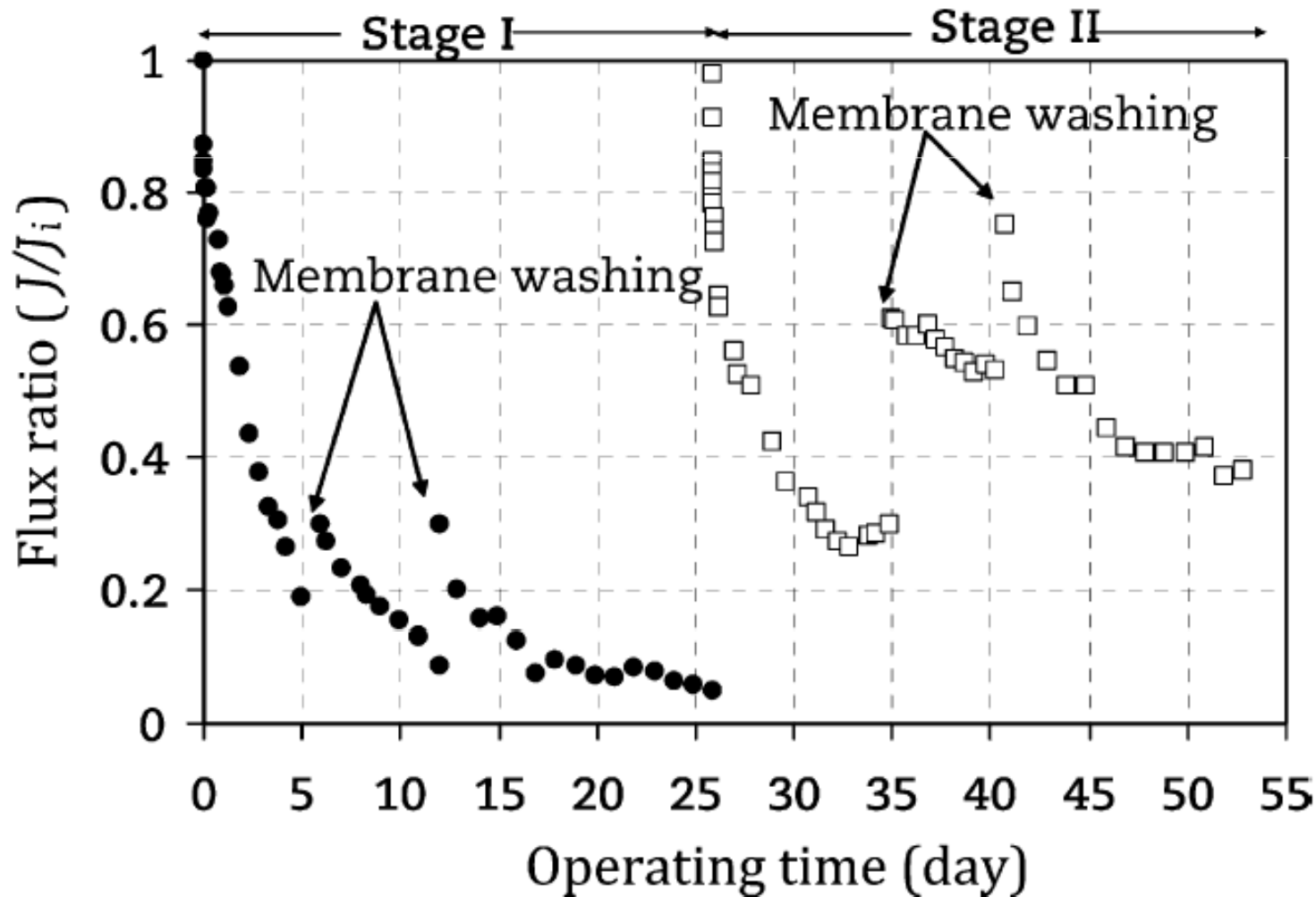


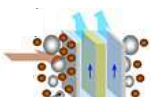
Illustrazione schematica del processo (Adattato da Akamatsu et al., 2010, Bani-Melhem e Elektorowicz, 2011)

Ulteriore sviluppo dei sistemi MBR

Elettro bioreattori a membrane (MEBR)

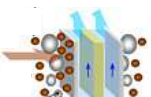


Incremento delle performance del processo (Stage II) grazie al controllo elettrocinetico del fouling – 1V/cm (Bani-Melhem e Elektorowicz, 2011)



Limiti alla diffusione dei bioreattori a membrane

- Costi d'impianto elevati
- Consumi energetici significativi
- Difficoltà d'implementazione ad ampia scala
- Necessità di operatori specializzati
- Mancata standardizzazione dei sistemi
- Necessità di avanzamento tecnologico



Conclusioni

Innovazione tecnologica nella depurazione delle acque:

- spazi necessari ai trattamenti
- fanghi smaltiti
- impatti sui sistemi ambientali

Comporta l'aumento di:

- consumi energetici
- costi di trattamento

Necessità di definire le *necessità reali* del territorio

- Miglioramento del sistema dei controlli
- Miglioramento della qualità della gestione



Vincenzo Belgiorno

Sanitary Environmental Engineering Division

Dipartimento di Ingegneria Civile

Università degli Studi di Salerno

v.belgiorno@unisa.it

