

II-095 - APPLICAZIONE DEI PROCESSI CON MEMBRANE NEL TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE

Giordano Urbini⁽¹⁾

Professore Ordinario in Ingegneria Sanitaria e Ambientale presso il Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale dell'Universit  degli Studi di Pavia

Fabio Conti

Professore Associato in Ingegneria e Ambientale presso il Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale dell'Universit  degli Studi di Pavia

Elisa Gazzola

Collaboratrice presso il Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale dell'Universit  degli Studi di Pavia

Roberta Moroni

Collaboratrice presso il Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale dell'Universit  degli Studi di Pavia

Indirizzo⁽¹⁾: Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale, Universit  degli Studi di Pavia, via Ferrata, 1–Pavia –27100–Italia–Tel.(0382505314) –Fax (0382505589) – e-mail:urbini@unipv.it

RIASSUNTO

I campi di applicazione dei processi a membrana si sono estesi, nell'ultimo decennio, a molti settori industriali e civili, nel trattamento delle acque reflue concentrate e diluite; in tutti i casi questi processi forniscono effluenti di elevata qualit , idonei a varie forme di riutilizzo e con costi recentemente pi  competitivi. La seguente nota si propone di presentare lo stato dell'arte della tecnologia a membrana applicata al trattamento dei reflui urbani negli impianti di depurazione, al trattamento dei reflui industriali e del percolato di discarica. L'impiego di tali tecnologie risulta particolarmente significativa anche alla luce delle crescenti problematiche di scarsit  della risorsa idrica e della qualit  delle acque superficiali.

PAROLE CHIAVE: membrane, microfiltrazione, ultrafiltrazione, osmosi inversa, depurazione acque.

INTRODUZIONE

L'applicazione dei processi a membrana nel trattamento delle acque ha suscitato nell'ultimo decennio una crescente attenzione sia nel campo dei processi industriali, sia nel settore del trattamento delle acque di approvvigionamento e dei reflui.

I principali vantaggi offerti dai processi con membrana rispetto ai convenzionali trattamenti delle acque di scarico possono riassumersi nell'alta efficienza del processo associata ad elevata qualit  del prodotto finale e conseguente ridotto impatto ambientale dello scarico trattato.

I processi con membrana permettono la realizzazione di impianti compatti, di dimensioni ridotte rispetto a quelli convenzionali e per questo preferibili laddove la forte urbanizzazione induce all'utilizzo di spazi modesti per la realizzazione di nuovi impianti o per l'ampliamento di processi esistenti, sia nel trattamento delle acque civili che in specifici processi industriali.

La relazione presenta lo stato dell'arte della tecnologia a membrana esaminando le sue recenti applicazioni nel campo del trattamento degli scarichi municipali e industriali, nei processi per il riutilizzo delle acque e nel trattamento dei percolati di discarica, identificando anche i principali produttori di sistemi a membrane nel mercato mondiale.

L'interesse   stato in particolare rivolto alle applicazioni su scala reale in impianti esistenti, pur non trascurando gli innovativi risultati ottenuti dalle attivit  di ricerca di settore. Si rimanda invece a testi specialistici (vedi bibliografia) l'approfondimento sui principi generali di funzionamento dei processi di microfiltrazione, ultrafiltrazione e osmosi inversa, sulle tipologie di membrane utilizzate, sui vantaggi e i limiti di tali tecnologie.



CRITERI DI RICERCA

L'indagine  stata svolta nel primo trimestre 2002 e ha riguardato sia i risultati tecnologici conseguiti nei processi con membrane, attraverso la consultazione di testi e riviste di settore, database specialistici e rendiconti di attivit di ricerca, sia le applicazioni del processo ai settori specifici del trattamento di reflui civili e industriali.

Il campo di osservazione ha interessato non solo la realt italiana e europea, ma anche quella americana ed asiatica evidenziando applicazioni caratteristiche delle diverse aree geografiche: negli USA la diffusione dei processi con membrana ha riguardato in modo preminente i sistemi di approvvigionamento delle acque, mentre in Europa le applicazioni sono state rivolte in maggior misura al trattamento delle acque reflue, sia civili che industriali.

Nel mondo asiatico un forte interesse  presente in Giappone dove, la forte urbanizzazione e la modesta disponibilit idrica hanno portato applicazioni dei processi a membrana a tutti i settori di trattamento delle acque, oltre che una ricchissima attivit di sperimentazione e ricerca.

Applicazione dei processi con membrane nel trattamento delle acque di scarico

L'applicazione dei sistemi con membrane nei processi di trattamento delle acque  stata oggetto di ricerca e sperimentazione fin dagli anni '70 ma ha avuto per parecchi anni scarse realizzazioni per via degli elevati impegni economici richiesti dalle prime tecnologie a membrana.

Negli ultimi anni, grazie anche all'abbassamento dei costi di realizzazione, i processi con membrane hanno trovato applicazioni industriali e municipali importanti per portate trattate, abitanti serviti e i capitali impegnati.

In diversi settori industriali l'utilizzo di sistemi di filtrazione a membrana, come osmosi inversa, nanofiltrazione e ultrafiltrazione rappresentano una valida alternativa ai tradizionali sistemi di filtrazione e di trattamento chimico delle acque, garantendo un'elevata qualit dell'effluente finale e incrementando l'efficienza del processo. Le membrane trovano inoltre applicazioni specifiche in campo biomedico (emodialisi, plasmaferesi), nell'industria agro-alimentare per la concentrazione o chiarificazione dei succhi di frutta, del mosto, vino, birra, aceto, per la bonifica microbica di matrici naturali come il latte o di frazionamento chimico dei costituenti del siero del latte, ecc.

Nel campo dell'ingegneria sanitaria ambientale i bioreattori dotati di membrana permettono di risolvere una serie di problemi presenti nei tradizionali processi a fanghi attivi legati ai trattamenti di sedimentazione secondaria, mentre impianti ad osmosi inversa sono stati realizzati per il trattamento dei percolati di discarica.

L'ultrafiltrazione inoltre ha trovato un campo d'impiego ottimale nel trattamento di acque di scarico ad elevato contenuto di oli emulsionati o di contaminanti organici ad elevato peso molecolare. Le membrane utilizzate sono dotate di piccolissimi pori che hanno diametro variabile tra 0,002 e 0,1 micron e sono in grado di trattenere solventi a basso peso molecolare e ioni.

Infine la tecnologia a membrana viene con successo utilizzata nei cosiddetti sistemi di approvvigionamento non convenzionali, come i processi di desalinazione dell'acqua di mare, di purificazione di acque contaminate da agenti biologici, chimici o radioattivi o di riutilizzo delle acque di scarico.

Trattamento dei reflui civili

Nei processi biologici per il trattamento di reflui organici concentrati, il raggiungimento di alte efficienze di rimozione degli inquinanti  legato alla capacit di mantenere elevate e stabili concentrazioni di biomassa specializzata all'interno del reattore.

Una tale condizione consente di ridurre considerevolmente il volume dei reattori e, operando con lunghi tempi di ritenzione del fango, di promuovere la degradazione di substrati complessi. Un'elevata efficienza del



processo di separazione fango/surnatante è una condizione necessaria per poter effettuare il ricircolo della biomassa ottenendo contemporaneamente alte concentrazioni della stessa nel reattore e un effluente ben chiarificato.

Negli impianti biologici convenzionali la separazione della biomassa avviene mediante la sedimentazione per gravità degli aggregati batterici in sospensione del mixed liquor o cresciuti sulla superficie di supporti mobili di materiale inerte, all'interno dello stesso reattore o in unità esterne.

I fenomeni che sono alla base dei processi di sedimentazione sono influenzati sia da fattori fisiologici propri dei microrganismi sia da fattori ambientali; per esempio, in taluni casi, a causa della composizione dei reflui da trattare o per condizioni di carico variabile, il processo di sedimentazione per gravità può risultare poco efficiente e creare problemi di fughe di fango.

In quest'ottica si è giustificato l'inserimento di moduli a membrana in schemi di processo con reattori biologici: l'obiettivo primario così conseguito è l'ottenimento di elevate concentrazioni di biomassa nel reattore, indipendentemente da tutti i fattori fisiologici e ambientali che possono influenzare le caratteristiche di aggregazione e di adesione dei microrganismi.

Questo sistema consente di operare con elevati tempi di residenza dei solidi sospesi; inoltre, la sostituzione del tradizionale stadio di sedimentazione secondaria con uno stadio di filtrazione su membrana può incrementare significativamente il rendimento del processo e potenziare la qualità dell'effluente finale rispetto ad un tradizionale trattamento a fanghi attivi.

Lo schema di processo che si ottiene è caratterizzato da una maggiore compattezza rispetto ai tradizionali impianti a fanghi attivi e questo aspetto risulta particolarmente importante laddove esistono limitazioni di spazio per l'adeguamento di impianti esistenti o per la realizzazione di nuovi impianti.

La combinazione della filtrazione su membrana con un reattore biologico è nota come bioreattore a membrane (MBR); esistono due possibili configurazioni del sistema:

- Bioreattori a membrana a stadi separati, in cui la filtrazione su membrana avviene a valle del reattore a fanghi attivi in unità esterne al reattore e si realizza un continuo ricircolo dei solidi sospesi trattenuti dalle membrane grazie al flusso di ricircolo;
- Bioreattori a membrana sommersa o immersa, in cui i moduli a membrana sono inseriti all'interno del reattore biologico; in questo caso, il deflusso del fango con l'effluente viene impedito attraverso un'opportuna disposizione del corpo filtrante all'interno del comparto ossidativo.

Nella tabella che segue vengono presentati i valori dei parametri operativi di alcuni sistemi MBR a stadi separati e a membrana sommersa.

Fonte	Configurazione	Flusso (l/d)	COD iniziale (mg/l)	HRT (h)	MLSS (mg/l)	COD rimosso (%)	Dimens. Pori (μm)	Flusso ($\text{l/m}^2\text{d}$)	Pressione applicata (KPa)
Benitez	Sommerse	20,8	> 1.000	10,5	25.000	63-88	0,1	-	20
Shimizu	Sommerse	901	200	12	3.000	-	0,1-0,5	407,5	30
Zhang (a)	Stadi separati	400.000	80-130	0,5	4.700	-	-	-	-
Zhang (b-1)	Sommerse	60,6	300	1	2.500	-	-	-	-
Zhang (b-2)	Stadi separati	400.000	350	0,5	8.000	-	-	-	-
Zhang (b-3)	Stadi separati	50.000	2.320	2,8	14.500	-	-	-	-
Zhang (b-4)	Stadi separati	50.000	4.000	4,5	15.000	-	-	-	-
Pound	Sommerse	16.900	356	2	5000 - 15.000	95	0,2	815	4,4
Yamamoto	Sommerse	7,2	250	4	14.000 - 16.000	90-93	0,1	24,45	1,89
Yamamoto	Sommerse	1,5	1.000	20	14.000	92	0,1	4,89	5,8-8,7
Yamamoto	Sommerse	1,5	4.660	20	36.000	99	0,1	-	-
Yamamoto	Sommerse	1,5	9.900	20	47.000	63	0,1	3,67	10,2
Cicek	Stadi separati	160	325	6	12.200	99	0,2	1.997	4,4-5,8

Tab. 1: confronto fra sistemi MBR

I bioreattori a membrane sommerse (sMBR) sono, tra i sistemi MBR, i più usati nel trattamento dei reflui urbani; il sistema ha subito progressive evoluzioni che hanno portato all'ottimizzazione dei tempi di ritenzione idraulica, del rendimento del processo di degradazione organica, della fornitura di ossigeno per i processi aerobici e della miscelazione del mixer liquor, e alla riduzione dei fenomeni di polarizzazione e sporcamento delle membrane.

Nella tabella 2 vengono riportati alcuni casi di impianti di trattamento (acque reflue civili, industriali, percolato di discarica) realizzati con sistema sMBR BIOSEP[®] (prodotto e brevettato dal gruppo francese Vivendi Water) realizzati in Francia.

Settore	Località	Flusso (m ³ /d)	COD (Kg _{cod} /d)	Avviamento
Reflui urbani	Perthes en Gatinais	1.400 max		1999
	Ile d'Yeu	2.200 max		In avviamento
	Thelus	185 medio		2001
Percolato	Bressuire	120	290	1995
	Boves	50	75	1999
Industrie chimiche	Persan	350	1.450	2000/2001
	Le Meux	220	1.600	2001
	Rambouillet	500	6.000	2000
	Semalens	360	1.700	1999
	Marans	70	4.200	1996
			300	2.100
Industrie cartiera	Mulhouse	900	3.600	1998
Industrie automobilistiche	Hambach	225	300	1997
Aziende alimentari	Luneray	380	5.750	Inizio 2001
	Granville	280	1.200	2001
	Rennes	200	300	In avviamento

Tab. 2: impianti con sistema sMBR

Tra questi, l'impianto di depurazione dei reflui urbani di Perthes en Gatinais è stato progettato per soddisfare le esigenze di una popolazione equivalente di 4.500 abitanti e tratta una portata media giornaliera pari a 900 m³/d con i seguenti carichi in ingresso:

Parametri	SST (Kg/d)	COD (Kg/d)	N _{tot} (Kg/d)	P _{tot} (Kg/d)
	315	675	67,5	18

L'impianto combina il tradizionale sistema a fanghi attivi con un trattamento di ultrafiltrazione su 5 moduli a cassetta di membrane immerse, secondo lo schema riportato nella figura 1.

L'acqua reflua in ingresso subisce un primo trattamento di vagliatura; un regolatore di portata invia al comparto biologico un flusso massimo di 85 m³/h; la portata in eccesso viene inviata provvisoriamente ad un comparto di stoccaggio (volume pari a 220 m³) e re-immessa successivamente nella linea di depurazione.

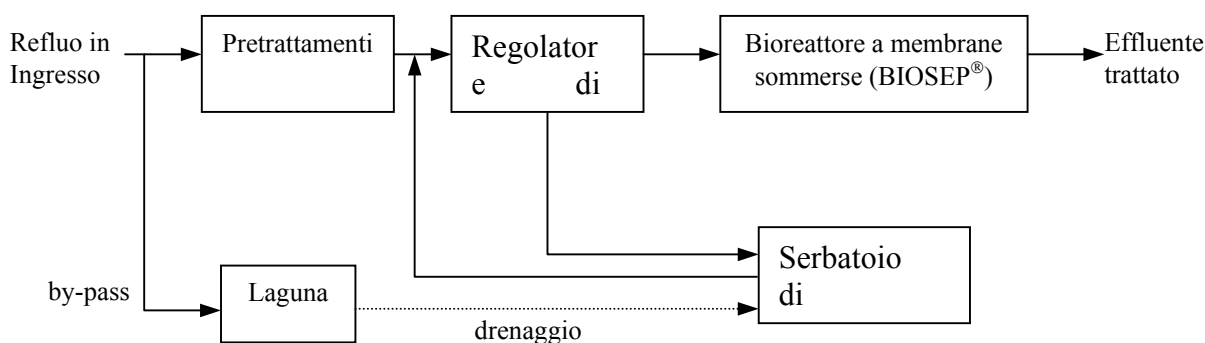


Fig. 1: schema del trattamento dei reflui nel depuratore di Perthes en Gatinais

Le caratteristiche dell'effluente depurato sono riportate nella tabella seguente.

Parametri	Media giornaliera	2 ore
COD (mg/l)	< 40	< 55
BOD ₅ (mg/l)	< 5	< 20
SST mg/l)	< 5	< 5
N _(totale) (mg/l)	< 10	< 15
Fosforo _{totale} (mg/l)	< 2,5	< 5

Tab. 3: caratteristiche dell'effluente depurato dell'impianto di Perthes en Gatinais

Nel reattore è presente anche un'unità di estrazione del fango in eccesso che consente di mantenere la concentrazione di MLSS compresa tra 10 e 15 g/l; il fango, dopo un trattamento di disidratazione e stabilizzazione, viene riutilizzato in agricoltura come ammendante.

I costi totali di investimento dell'impianto sono stati di 1.406.000 €, così ripartiti:

➤ Opere civili	25.000 €	37%
➤ Attrezzature	645.000 €	46%
➤ Automazione elettrica	206.000 €	15%
➤ Altri costi	30.000 €	2%
➤ Totale	1.406.000 €	100%

Per quanto riguarda i costi per le attrezzature del bioreattore, gli oneri maggiori derivano dai moduli a membrana costituenti le 5 unità a cassetta che incidono sul totale per il 62%.

I costi di gestione dipendono invece dal consumo di energia elettrica, richiesta in quantità di 350.000 kWh/anno, e dal sistema di aerazione delle membrane che deve funzionare in continuo.

In tabella 4 si riportano invece le realizzazioni impiantistiche con sistema sMBR ZenoGem® (prodotto e brevettato dalla società ZENON); i bioreattori ZenoGem® utilizzano moduli a cassette di membrane a fibre cave con filtrazione "outside-in".

Località/ Impianto	Portata (m ³ /d)	Tipo di refluo	Processo	Avviam.	Parametri			
					BOD	TSS	NH ₃	
Rodingen (Germania)	3.240	Acqua reflua civile	Tratt.Biologico Fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.)	1999	in	133	-	24
					out	8	-	2
Leipzig (Germania)	4.320	Acqua reflua civile	Tratt.Biologico Fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.)	2000	in	170	-	32
					out	5	-	1
Son Granot (Germania)	35	Acque centro turistico	Tratt.Biologico Fanghi attivi	2000	in	450	80	45
					out	50	1	2
AquaFin (Germania)	100	Acqua reflua civile	Tratt.Biologico Fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.)	1999	in	120	-	30
					out	2	-	2
Kommunale Wasserwerke Leipzig (Germania)	60	Acqua reflua civile	Tratt.Biologico Fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.)	1997	in	200	-	45
					out	2	-	2
Villeroy & Boch	26	Acque centro turistico	Tratt.Biologico Fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.)	1999	in	800	-	90
					out	5	-	3
Aqua System AG	163	Acque centro turistico alpino	Tratt.Biologico Fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.)	2000	in	440	-	41
					out	3	-	2

Località/ Impianto	Portata (m ³ /d)	Tipo di refluo	Processo	Avviam.		Parametri		
						BOD	TSS	NH ₃
Degremont S.A.-Les Diablerets	24	Acque centro turistico alpino	Tratt.Biologico Fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.)	2000	in	1750	-	375
					out	10	-	
ASM Brescia (in costruzione)	38.000	Acqua reflua civile	Tratt.Biologico Fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.)	2002	in	250	-	50
					out	15	-	2
Cremore, Clearview Township (Canada)	1.400	Refluo civile	Tratt.Biologico Fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.) con limiti restrittivi sull'ammoniaca e con rimozione chimica del fosforo e ispessimento fanghi con sistema di microfiltrazione	2000	in	251	272	32
					out	5	5	1
Milton (Canada)	1.003 –2.006	Effluente da sedimentatori primari di trattamento acque reflue	Tratt.Biologico (Nitrificazione) con rimozione chimica del fosforo	1997	in	125	95	15
					out	1	1,5	0,28
Port McNicoll	2.418-6.048; 3.618-9.048	Refluo civile	Tratt.Biologico Fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.) con limiti restrittivi sull'ammoniaca e con rimozione chimica del fosforo	2000	in	185	353	40
					out	5	5	1
Anthem, Desert Hills (Arizona) I FASE	1.893-3.785	Refluo civile	Tratt.Biologico Fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.)	1998	in			
					out			
Anthem, Desert Hills (Arizona) II FASE	11.355	Refluo civile	Tratt.Biologico Fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.)	2000	in			
					out			
American Canyon (California)	9.462- 14.383	Refluo civile	Trattamento a fanghi attivi	2001	in	200	220	28
					out	10	5	1
City of Corona (California)	4.163	Refluo civile	Trattamento a fanghi attivi	2001	in	273	273	28
					out	5	5	1
Laguna County (California)	1.893	Refluo civile con elevata concentraz. di sali disciolti	Trattamento a fanghi attivi	2000	in	200	240	32
					out	5	5	1
Lone Tree Wastewater treatment plant (Colorado) I FASE	3.785-5.678	Scarico da centro residenziale, commerciale, industriale	Trattamento biologico a fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.)	1998	in	235	2265	36
					out	3	3	0,3
Lone Tree Wastewater treatment plant (Colorado) II FASE	3.420	Scarico da centro residenziale, commerciale, industriale	Trattamento biologico a fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.)	2000	in			
					out			
Key Colony (Florida Keys)	1.287-3.217	Refluo civile	Tratt. Biologico a fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.)	1999	in	127	117	22
					out	2	2	0,5
LeHigh (Florida)	1.893-2.839	Scarico centro commerciale	Tratt. Biologico a fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.)	1999	in	100	80	21
					out	2	0,5	0,1
Cohasset (Massach.)	1.514-3.936	Reflui civili	Tratt. Biologico a fanghi attivi (Nitrif./Denitrif.)	2000	in	252	252	28
					out	10	10	1

Tab. 4: impianti con sistema sMBR



Numerose realizzazioni impiantistiche prevedono a valle della filtrazione su membrane uno stadio di disinfezione mediante trattamento con raggi UV.

Questa tecnologia è diffusa soprattutto in Europa e in principal modo nel Regno Unito, dove viene impiegata per il trattamento e la disinfezione degli scarichi costieri in prossimità di zone di balneazione o habitat di molluschi e crostacei; un tipico sistema di trattamento è composto da:

- trattamenti primari;
- trattamenti secondari con processi biologici di rimozione della sostanza organica;
- trattamenti terziari di filtrazione su membrana e raggi UV, per l'eliminazione di virus e batteri.

Questo tipo di processo viene tra l'altro utilizzato nell'impianto di Swanage, uno dei più grandi impianti di trattamento a membrane attualmente in funzione nel mondo, che serve circa 30.000 a.e. con un flusso medio di 12.700 m³/d..

Riutilizzo degli scarichi, ricarica delle falde e bonifica dei territori

In molte parti del mondo la disponibilità d'acqua è diventata un ostacolo alla crescita e allo sviluppo del territorio. Uno studio ha recentemente stimato che entro il 2025 circa un terzo della popolazione mondiale vivrà in regioni a forte scarsità di acqua.

Il problema è sottovalutato dalle popolazioni dei paesi più sviluppati che sono generalmente ignare della progressiva riduzione delle risorse idriche.

Una chiave per risolvere il problema è rappresentata da quelle nuove tecnologie che permettono il riutilizzo delle acque di scarico, la ricarica delle riserve idriche naturali, la bonifica dei territori asciutti.

In Medio Oriente, ad esempio, l'approvvigionamento idrico avviene attraverso la dissalazione delle acque del mare anche se si sta facendo strada l'idea di ricavare acqua pulita dalle acque di scarico.

Progetti di quest'ultimo tipo sono oggetto di indagine in molti paesi che soffrono di scarsità di acqua e già esistono diverse realizzazioni impiantistiche che si basano sulla oramai nota combinazione dei processi biologici con l'ultrafiltrazione su membrana.

Il processo a membrane viene in questi casi utilizzato a valle del processo biologico, come trattamento terziario; molto spesso viene inserito a valle di processi biologici già esistenti e consente di ottenere acqua di qualità adeguata per successivi trattamenti a osmosi inversa, per usi industriali, o fruibile per irrigazione di aree verdi o attività agricole.

Di seguito vengono riportati i risultati del primo anno di funzionamento di un sistema di ultrafiltrazione realizzato in Polonia per il trattamento del liquame in uscita dai trattamenti secondari di un impianto di depurazione urbano, al fine di riutilizzare tali acque nel sistema di raffreddamento di una centrale elettrica. L'impianto ha una capacità nominale di 5.400 m³/d.

Parametri	Numero di analisi	Effluente secondario	Filtrato
Solidi sospesi (mg/l)	75	6-32	< 1
Torbidità (NTU)	10	10-50	< 1
Indice SDI	31	-	0,9-2,4
BOD ₅ (mg/l)	70	2-32	< 2
Coliformi fecali (cfu/100ml)	18	3-600	< 4
TKN(mg/l)	15	0,9-2,8	0,3-1,2
COD(mg/l)	7	35-51	27-34
Ferro _{tot} (mg/l)	18	0,07-1,1	0,02-0,2

Tab. 5: risultati conseguiti con trattamento di ultrafiltrazione

Il trattamento di ultrafiltrazione ha consentito di rimuovere completamente solidi sospesi e torbidità e di ottenere un filtrato con un indice di tendenza all'intasamento (SDI) compreso tra 0,9 e 2,4, adatto anche per alimentare un sistema ad osmosi inversa.

Si ottiene inoltre una soddisfacente rimozione del BOD che passa da concentrazioni di 2-32 mg/l a concentrazioni inferiori a 2 mg/l grazie alla rimozione dei solidi sospesi e al processo di biodegradazione della sostanza organica residua che si realizza sulle superfici delle membrane.

In tabella 6 vengono invece riportati gli effetti economici prodotti da un impianto di trattamento mediante ultrafiltrazione e osmosi inversa dell'acqua in uscita all'impianto biologico di una azienda tessile della provincia di Bergamo (Italia), al fine di un suo riutilizzo all'interno del sistema produttivo. L'azienda ha un consumo annuale d'acqua di 540.000 m³, distinti in acqua di raffreddamento, acqua demineralizzata, acqua addolcita e altri usi interni alla fabbrica.

Dopo l'uso l'acqua viene raccolta in due flussi: quello dell'acqua di raffreddamento (circa 230.000 m³) e quello di tutte le acque inquinate (370.000 m³), che vengono inviate al trattamento biologico dell'azienda e poi ad un ulteriore trattamento biologico in impianto esterno alla fabbrica; Quest'ultimo verrà sostituito dal nuovo impianto con tecnologia a membrana per il riutilizzo delle acque, tuttora in fase di studio (figura 2).

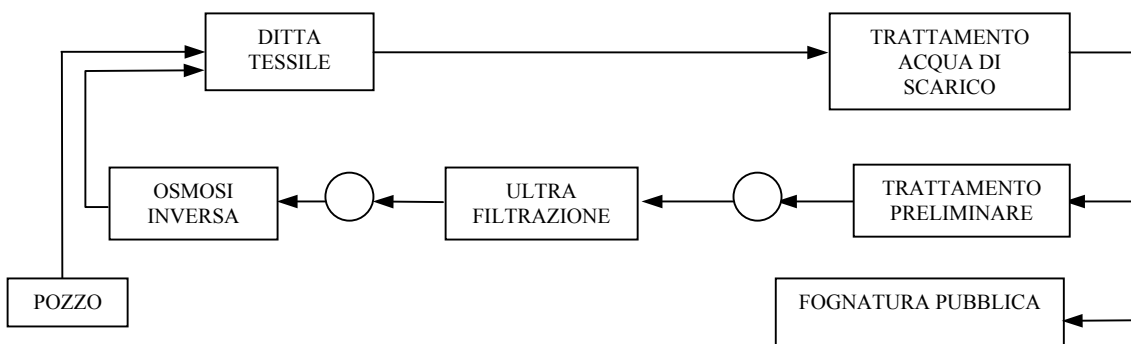


Fig. 2: schema del processo

Nella tabella vengono, in particolare, paragonati i futuri costi conseguenti ad una portata di riutilizzo di 175.000 m³/anno e 350.000 m³/anno.

Acqua recuperata	Caso A: 175.000 m ³ /anno		Caso B: 350.000 m ³ /anno	
	Costo Attuale (€/anno)	Costo Futuro (€/anno)	Costo Attuale (€/anno)	Costo Futuro (€/anno)
Pompaggio acqua	16.220	0	32.540	0
Resine a scambio ionico	11.780	360	23.600	720
Trattamento esterno	40.700	0	81.440	0
Ultrafiltrazione	0	2.480	0	4.960
Osmosi inversa	0	5.060	0	10.160
Totale	68.800	7.800	137.600	15.860

Tab. 6: valutazioni economiche del processo

Infine, in figura 3 viene riportato lo schema a blocchi di una prossima realizzazione impiantistica nella zona costiera di Veurne-Ambacht, (Belgio); si tratta di un nuovo sistema di approvvigionamento idrico per le zone in espansione basato sulla ricarica artificiale degli acquiferi (“Surface Infiltration”), in grado di estendere la fornitura idrica oltre il limite naturale di pompaggio.

Il sistema consentirà di infiltrare nell’acquifero 2,5 milioni di m³ d’acqua all’anno, con un risparmio di 1 milione di m³ di acqua sotterranea naturale ed è il primo progetto su grande scala di questo tipo realizzato in Europa.

La produzione di acqua per l’infiltrazione superficiale sfrutterà gli effluenti del vicino impianto di trattamento reflui di Wulpen, che verranno sottoposti a prefiltrazione, microfiltrazione, osmosi inversa e disinfezione con raggi UV, e poi inviati ad un’area di infiltrazione. L’acqua filterà attraverso il sottosuolo fino all’acquifero, da cui verrà estratta e sottoposta ad aerazione in modo che l’ossigeno reagisca con il ferro e il manganese, di cui l’acqua si è arricchita per contatto con la matrice solida, e si formino ossidi rimovibili mediante filtrazione su sabbia.

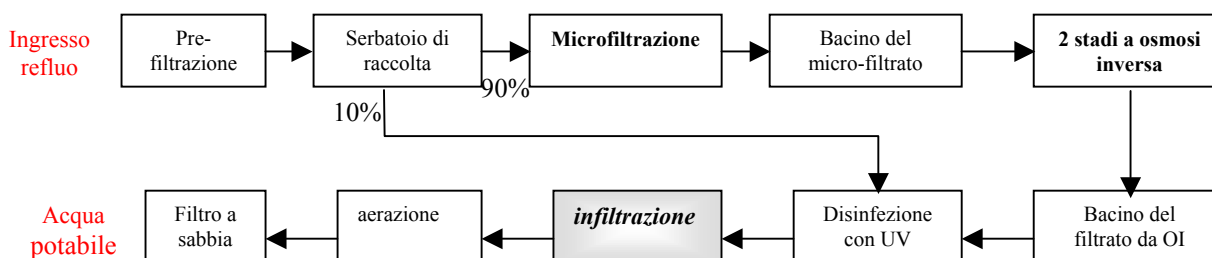


Fig. 3: schema del processo di trattamento

Trattamento dei percolati di discarica

La produzione di percolato è uno degli aspetti più critici per la progettazione e l'esercizio di una discarica controllata e può essere fonte di importanti problemi ambientali.

Il percolato di discarica presenta elevato contenuto di ammoniaca, contaminanti organici (elevati valori di COD e BOD), idrocarburi alogenati, metalli pesanti e sali inorganici (come cloruro di sodio, carbonati e solfati), in concentrazioni variabili in base al tipo di rifiuto (urbani o industriali) e all'età della discarica; in ogni caso è classificato come rifiuto pericoloso.

Fino alla seconda metà degli anni '90 (ma spesso ancora oggi) il problema è stato nella maggior parte dei casi risolto con il semplice conferimento del percolato agli impianti di depurazione, dove, diluito con i reflui urbani, veniva sottoposto ai tradizionali trattamenti di depurazione delle acque di scarico.

Poiché la miscelazione del percolato con i reflui urbani non altera l'efficienza del processo di trattamento e la qualità dell'effluente finale solo se la miscela ha un contenuto di percolato molto basso (1-5%), esso deve essere mantenuto fortemente diluito; per questo motivo diventa necessario sottoporre il percolato a pretrattamenti, convenzionalmente costituiti in flocculazione chimica, sedimentazione e filtrazione, prima del suo conferimento in impianti di depurazione delle acque.

Nell'ultimo decennio si sono invece avute parecchie realizzazioni di impianti specifici di trattamento del percolato, nei quali il trattamento biologico a fanghi attivi con nitrificazione e denitrificazione (che può essere seguito da adsorbimento su carbone attivo o ossidazione con ozono) viene combinato con processi di filtrazione su membrane in grado di rimuovere sali e inquinanti inorganici, i quali possono produrre un bioaccumulo nell'ecosistema (figura 4).

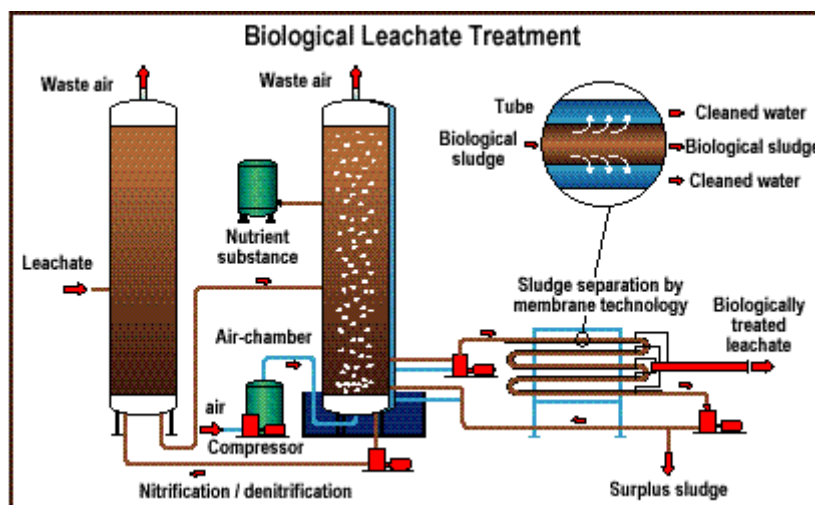


Fig. 4: sistema di trattamento del percolato

Nell'ambito dei trattamenti con membrana un forte interesse è stato rivolto al processo di osmosi inversa, utilizzata sia a valle di pretrattamenti biologici che come unica forma di trattamento.

La qualità del permeato non dipende in questo caso dalle caratteristiche qualitative del percolato da trattare e il sistema è flessibile in riferimento alle variazioni quantitative del carico in ingresso; inoltre la natura fisica del processo elimina il problema della formazione di sottoprodotti estranei al refluo da trattare, propria invece dei trattamenti chimico e biologico.

Il principio di operatività consiste nella filtrazione tangenziale (cross-flow filtration) che, grazie a elevati valori di pressione e velocità del flusso di alimentazione, permette di separare il permeato depurato e il concentrato limitando l'ostruzione dei pori delle membrane filtranti.

I parametri chimici di riferimento per valutare la qualità del permeato sono la conducibilità e il COD; tramite installazione di un conduttivimetro ed un misuratore di COD campionanti il permeato via via prodotto, è possibile fissare le soglie di concentrazione.

Al fine di incrementare ulteriormente le soglie di concentrazione e di ridurre il volume del concentrato, si può far seguire lo stadio di osmosi inversa da uno stadio di evaporazione, spinta sino al raggiungimento del punto di equilibrio tra massima concentrazione e costi di esercizio.

L'elevata qualità dell'effluente finale (sia nel caso di sola osmosi inversa che in quello di osmosi inversa + evaporazione) permette lo scarico diretto nei corpi recettori, in conformità ai limiti normativi di scarico, mentre il concentrato può essere di nuovo posto in discarica oppure incenerito.

Uno dei sistemi di trattamento del percolato più utilizzati si basa su processi di osmosi inversa ad alta pressione che utilizzano la tecnologia DTM dei moduli tubolari a disco.

Essa consente di rimuovere inquinanti organici e inorganici inclusi i metalli pesanti, operando a pressioni comprese tra 6.894 KPa, nello stadio iniziale, fino a valori superiori a 13.788 KPa nello stadio finale.

Il sistema DTM (figura 5) presenta una particolare configurazione di processo che rende l'osmosi inversa più adatta al trattamento primario dei percolati rispetto a quelle tradizionali.

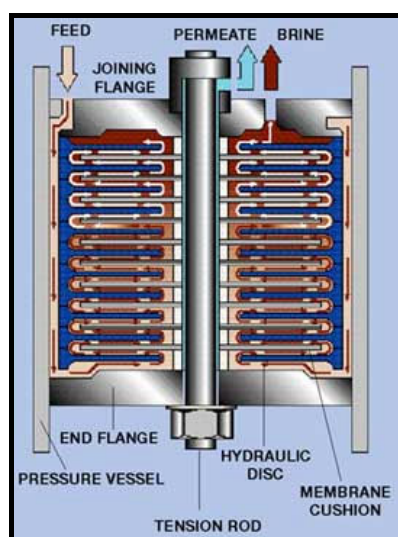


Fig. 5: modulo tubolare a disco

Esso viene, tra l'altro, attualmente impiegato nella la discarica municipale di Savannah, in Georgia, allo scopo di rimuovere i contaminanti dal percolato e renderlo riutilizzabile.

Il processo ha una capacità di 15.1 l al minuto e sostiene un flusso di circa 29.500-37.800 l di percolato al giorno, con una produzione di permeato depurato di 26.500 l, che viene riutilizzato per l'irrigazione del territorio circostante, mentre il concentrato viene inviato in discarica controllata per lo smaltimento.

Lo schema di trattamento viene riportato nella figura che segue.

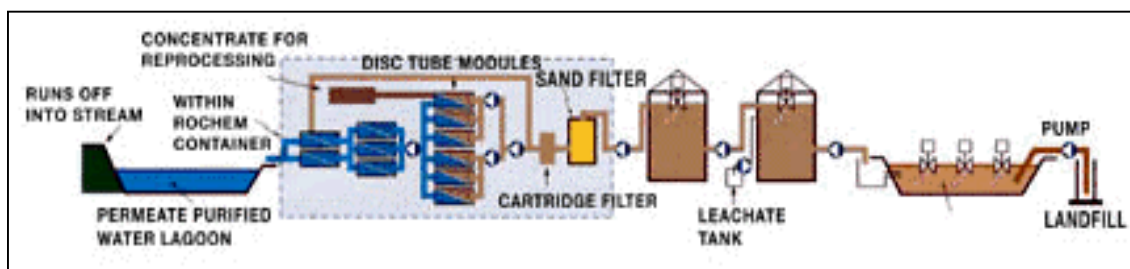


Fig. 6: impianto di trattamento di percolato di Savannah

La percentuale di discariche attualmente dotate di sistema di trattamento specifico per il percolato rimane comunque molto modesta; per sopperire a tale deficienza sono stati realizzati impianti di trattamento mobili, utilizzabili nei casi in cui è richiesta la copertura temporanea delle necessità, in attesa della realizzazione di una stazione fissa, oppure occorre fronteggiare condizioni di emergenze ambientali causate da fuoriuscita di percolato per la rottura del rivestimento protettivo della discarica.

Tali impianti possono arrivare a trattare oltre 80 m³/d di percolato; sono generalmente altamente automatizzati per ridurre i costi di gestione e dotati di sistemi di controllo in linea e di acquisizione dati, in modo da poter certificare la continuità del raggiungimento dei limiti di legge allo scarico per l'effluente finale.

Di seguito, a titolo di esempio, vengono riportati i risultati ottenuti in alcuni impianti di trattamento del percolato di discarica.

Località	Tipologia	Flusso		Parametri (mg/l)								
				BOD	COD	NH ₄ -N	TKN	Sol. Sosp	Mn	Cloruri	Fenoli	Fe _{tot}
Germania	Sistema MBR (V _{reattore} = 180m ³)	150 m ³ /d	in	800	4.000	800			2	3.000		
			out	< 20	< 400	< 10			tr.	21		
Italia	Impianto mobile con osmosi inversa	~ 75 m ³ /h	in		15.000	2.500						100
			out		90	14						0,69
Boves (Francia)	Sistema sMBR (V _{reattore} = 45m ³) e osmosi inversa		in	250	2.500		800	200				
			out	< 3	< 20		< 3	< 1				
Savannah (USA)	Osmosi inversa	29,5-37,8 m ³ /d	in	1.100	660	70			4,2		1·10 ⁶	82
			out	4,5	< 20	0,57			< 0,01		< 1·10 ⁴	0,081

Tab. 7: impianti di trattamento del percolato

Trattamento dei reflui industriali

Le attività industriali sono il settore che fa più largo uso della risorsa idrica.

Una delle prime applicazioni della filtrazione su membrana ai reflui industriali (soprattutto ultrafiltrazione) risale ai primi anni '70 e riguarda il trattamento delle acque reflue contenenti olii usati per la lubrificazione degli utensili meccanici.

Il processo di rimozione dell'olio dalla fase acquosa mediante ultrafiltrazione è possibile in quanto, mentre le molecole di olio sono sufficientemente piccole da passare attraverso i pori, le microgocce presenti nell'emulsione sono dotate di una tensione superficiale all'interfaccia tra olio e acqua tale da impedirne la penetrazione attraverso una membrana già bagnata dall'acqua.

Molti altri tipi di olio sono attualmente trattati mediante il processo di ultrafiltrazione, ad esempio gli effluenti dell'industria tessile.



Un ulteriore campo di applicazione riguarda il trattamento di liquami contenenti gomma e lattice; in questi casi si riscontrano efficienze di rimozione del COD pari al 95%.

Esistono esempi di utilizzo della filtrazione su membrana per il trattamento di liquami radioattivi, in particolar modo per rimuovere radionuclidi dagli effluenti di impianti nucleari. Il suo impiego consente anche il recupero degli attinidi.

Nelle due centrali nucleari di Limerick, Pennsylvania, dal 1995 sono in funzione due sistemi di filtrazione su membrane che trattano ciascuna un flusso totale di condensato di 6.800 m³/h al fine di abbassare il contenuto di solidi sospesi nell'acqua di alimentazione, da cui dipendono sia il controllo dei livelli di radiazioni che la vita di esercizio dei macchinari.

Il processo di ultrafiltrazione ha avuto successo anche nel trattamento degli effluenti delle industrie della pasta di cellulosa e della carta per l'eliminazione dei solidi sospesi, negli stabilimenti di lavorazione dei metalli per il trattamento dei fluidi di raffreddamento e nelle industrie petrolifere per il trattamento delle acque di perforazione, al fine di eliminarne il contenuto di nichel ed utilizzarla come acqua di alimentazione della caldaia.

La tecnologia dell'ultrafiltrazione  stata anche introdotta nell'industria casearia, per il trattamento del siero del latte, in quella alimentare, nel trattamento delle acque di lavaggio di frutta e verdura e di quelle di scarico dagli allevamenti.

Come nel campo dei trattamenti delle acque reflue civili, la tecnologia a membrana pi spesso utilizzata  quella MBR a stadi separati o anche a membrane sommerse.

Di seguito vengono riportati, a titolo di esempio, i parametri operativi di alcuni impianti di trattamento di reflui industriali, allo scopo di rilevare l'efficacia dei trattamenti con membrane nei diversi settori produttivi.

Tipologia di industria	Sito	Tipo di trattam.	Vol. (m ³)	Flusso (m ³ /d)		Parametri (mg/l)								
						BOD	COD	NH ₄ -N	TKN	Sol. Sosp	P _{tot}	Zn	Fenoli	Ni
Chimica	D	Sistema MBR	200	100	in	4.000	10.000							
					out	< 10	< 400							
Chimica	F	Sistema sMBR	2 × 1.150	680	in	2,3 (COD/BOD)	13.450	15,5	130				50	
					out	5	1.000		10		5	2	< 1	
Conciaria	D	Sistema MBR	700	700	in	3.800	4.200	700						
					out	< 20	< 400	< 50						
Trasform. metalli	D	Sistema MBR	200	100	in	5.000	29.400						0.73	
					out	<60	< 2.720						< 0,05	
Automobili	F	Sistema MBR a stadi separati			in	660	1.220			165	10,4	1,2		0,4
					out	< 5	< 40		< 5	< 3	< 1	< 0,05		< 0,05
Cartiera	F	Sistema sMBR	1500	900	in	1.500	4.000		21	333	5,5			
					out	< 25	< 200		< 10	< 5	-			

Tab. 8: impianti di trattamento acque reflue industriali

I PRODUTTORI DI SISTEMI CON MEMBRANE

La vasta applicabilità dei sistemi a membrana nel trattamento delle acque (ma anche dei gas) si è manifestata nella nascita di un forte mercato di produzione, che molto spesso rappresenta il principale promotore di attività di ricerca e sperimentazione tecnologica.

Le finalità di processo hanno, in alcuni casi, indirizzato le aziende verso la produzione di tecnologie altamente specifiche per settore di attività; esistono, comunque, alcune grandi aziende presenti sull'intero mercato mondiale che forniscono prodotti per tutti i campi di applicazione dei processi e sono intervenute nelle realizzazioni impiantistiche più significative sia nel mondo occidentale che nei Paesi orientali.

Nell'ambito del settore del trattamento delle acque, a cui è stato dedicato il maggiore approfondimento, si è proceduto alla individuazione di massima di alcune categorie di produzione, sulla base della tipologia di membrana, e delle rispettive aziende leader.

I risultati sono riportati nella tabella che segue.

Aziende produttrici	Membrane a fibre cave	Membrane ceramiche	Membrane tubolari	Membrane a spirale avvolta	Sistemi di membrane per separazione liquidi
	A/G Technology	Ceramen	Koch Membrane Systems	Danish Separation Systems	Applied Membranes
	Asahi Kasei	Orelis	PCI	Dow Chemical Company/ FilmTec	Axsia
	Koch Membrane Systems	Schumacher		Hydranautics	Danish Separation Systems
	Membrana	TAMI Industries		Koch Membrane Systems	Ecolochem
	Memcor	US Filter		Osmonics	Esmil Process Systems
	Microdyn			PTI Advanced Filtration	Filtration Engineering
	Millenniumpore			Ropur/Toray	Infinetex
	Minntech Corporation			Septo	Ionics
	Nadir Filtration			Synder Filtration	Kinetico
	Pall Corporation			Trisep	Kubota
	SK Chemicals				Mobile Process Technology

Tab. 9: principali produttori di sistemi di filtrazione su membrane

CONCLUSIONI

L'indagine svolta ha permesso di definire lo stato dell'arte delle metodologie di filtrazione con membrane, con particolare attenzione alle tipologie costruttive e operative dei moduli, alle prestazioni dei processi e ai limiti funzionali.

I campi di applicazione dei processi a membrana si sono estesi, nell'ultimo decennio, a molti settori industriali e civili, nel trattamento delle acque reflue concentrate (impianti di depurazione, percolato di discarica, trattamenti "night soil") e diluite (acque di lago e di mare); in tutti i casi questi processi forniscono effluenti di elevata qualità, idonei a varie forme di riutilizzo e con costi recentemente più competitivi.

I processi di microfiltrazione e ultrafiltrazione trovano elevata applicazione all'interno degli impianti di trattamento biologico dei reflui municipali o di certi insediamenti industriali, mentre i processi ad osmosi inversa vengono utilmente impiegati nel trattamento del percolato di discarica, sia impianti fissi che mobili permettendo una consistente riduzione del volume del percolato e l'eventuale riutilizzo dell'effluente liquido.

I risultati conseguibili con i trattamenti su membrane risultano particolarmente significativi anche alla luce della crescente attenzione nei riguardi delle disponibilità di approvvigionamento idrico; l'impiego di tecnologie in grado di incrementare, a partire da acque di scarto, la disponibilità idrica per usi industriali e agricoli (acqua di raffreddamento, di irrigazione, di bonifica di terreni asciutti) oltre che per usi civili (ricarica delle falde, acqua potabile), si configura come possibile soluzione al crescente problema della scarsità idrica e della qualità delle acque superficiali.

BIBLIOGRAFIA

1. Aerobic wastewater treatment; www.beckart.com
2. A.G.GOTOR, S.O.P.BAEZ, C.A.ESPINOZA, S.I.BACHIR.(2001). Membrane processes for the recovery and reuse of wastewater in agriculture; **Desalination n° 137**
3. Arapahoe County- Lone Tree Creek Wastewater Treatment Plant; www.zenonenv.com



4. CHOO, KANG, YOON, PARK, KIM, ADIYA, LEE. (2000) Approaches to membrane fouling control in anaerobic membrane bioreactors; **Water Science & Technology** ,Vol 41 n° 10-11
5. C.KENT. (2001) Ontario resort upgrades its wastewater treatment facility; **Environmental Science & Engineering** January
6. CK HERTLE, J. CROFTS, R. WHITTLE, P. TURL, G. JOHNSTON. (2001) Picnic Bay membrane bioreactors for wastewater treatment at Magnetic Island, Australia.; **Synopsis for “Sustaining our aquatic environments-implementing solutions” conference**, Townsville, Queensland 20-23 november.
7. C.GOULD (1995),Treating Industrial Water with Membrane Technology; www.osmonics.com
8. C.M.ADEMA, J.H. BENSON, C.H. CRANE.(2000) Membrane biological non-oily wastewater treatment system for ship;. www.dt.navy.mil
9. Comparison of different membrane bioreactors for wastewater treatment; www.dbta.tu-berlin.de/-membrane/gif/mp_ro2_eng.pdf
10. DEGREMONT(1991). Water Treatment Handbook 2; Ed. Rueil-Malmaison,
11. Dow introduces extra low energy FILMTEC membrane element; www.filmtec.com, Marzo 2001
12. E.CASEY, B.GLENNON, G.HAMER. (1999) Review of membrane aerated biofilm reactors; **Resouces, Conservation and Recycling** n° 27.
13. Enhanced membrane ultrafiltration removing color, Cryptosporidium & Giarda; www.zenonenv.com
14. G.BEST, D.MOURATO, M.SINGH (2001). Application of Immersed Ultrafiltration Membranes on HighTurbidity and High TOC Surface Waters; **AWWA Membrane Technology Conference, San**
15. H. GIERLICH, J. KOLLBACH (1998)Treatment Landfill leachete in European Countries; **Autumn International 1998, Pollution Engineering International. Antonio TX**, Marzo
16. H.THOMAS, J.MURRER. (2000) Fouling characteristics of membrane filtration in membrane bioreactors; **Membrane technology** n° 122
17. Impianto di trattamento effluenti industriali; www.inquinamento.com
18. Impianto mobile di trattamento di percolati di discarica di rifiuti solidi urbani; www.amb.casaccia.enea.it
19. Kenosha membrane filtration plant; www.mwh.com
20. Key Colony Wastewater Treatment Facility; www.zenonenv.com
21. K. LINDE.(1996) Treatment of landfill leachate with membrane technology; Dept. Of Chemical Engineering, Lund, University, Sweden
22. Landfill Leachate Purification through reverse osmosis at Ihlenberg Landfill in Germany; www.pall.com/applicat/water
23. Landfill leachate treatment; www.value.net/~newlogic
24. Landfill Leachate; www.pall.com/ applicat/water
25. Leachete Management: superior Landfill’s Innovative Approach; www.pall.com/ applicat/water
26. L.VAN DIJK, G.C.G. RONCKEN. (1997) Membrane bioreactor for wastewater treatment: the state of the art and new developments; **Water Science & Technology** Vol 35 n° 10
27. M.DANAU(2001). Future security-reclaiming wastewater; **World Water and Environment Engineering**. September/October
28. Membrane filtration for the removal of pathogens; www.zenon.com
29. METCALF & EDDY. (1991) Wastewater Engineering: treatment disposal reuse; Ed. McGraw-Hill
30. Mobile Landfill Leachate treatment; www.mobileprocess.com/services
31. NAVPREET SINGH. Overview of Membrane Technology; www.membraneonline.com
32. On-site Leachate treatment at BFI’s Conestoga Landfill Provides: superior effluent quality and predictable operating costs; www.pall.com/ applicat/water
33. Optimisation of the consumption of untreated water, chemical products & energy design & working saline water desalination plant at Arica, Chile: www.IDA.com
34. Organics removal at low cost; www.filmtec.com
35. Overview of desalination in the Pacific region; www.IDA.com
36. Performance and economic evaluation of a submerged membrane bioreactor based on large diameter hollow fibre membranes for the treatment of raw sewage; www.millenniumpore.co.uk/tech.htm
37. Peripheral wastewater treatment in an in-building membrane bioreactor; www.dbta.tu-berlin.de/- membrane/gif/mp_ro1_eng.pdf
38. P.COTE’, J. COBURN, M. EID (2001), Use of Ultrafiltration for Water Reuse and Desalination; www.zenonenv.com
39. Reduction of silt density index & prevention of RO membrane bio-fouling; www.zenon.com
40. Seekonk water treatment facility; www.zenon.com



41. U-tube reactor and ultrafiltration membrane;
nett21.unep.or.jp/CTT_DATA/WATER/WATER_3/html/Water-165.html
42. F. BLOETSCHER, C. W. WALKER, W.KIRK MARTIN, V.C. VAUGHN (1995) Water Resource Management planning for Corrier County; **Florida Water Resources Journal**, October
43. Water reuse Installation Case History; www.water.usfilter.com
44. Water Treatment Equipment; www.water.usfilter.com