

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

LAUREA SPECIALISTICA IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale

**EVOLUZIONE DELLE TECNOLOGIE DI TRATTAMENTO NEL
SETTORE ACQUE CIVILI ED INDUSTRIALI DI NATURA
ORGANICA: I REATTORI A MEMBRANA**

Relatore:
Ch.mo Prof. Ing.
Gianpaolo Rotondo

Candidato:
Davide Giri Matr. 324 / 140

Correlatore:
Ch.mo Prof. Ing.
Bruno Brancato

COMPENDIO

NAPOLI, 2011

Premessa

L'entrata in vigore del Decreto Legislativo 152/1999, modificato successivamente dal Decreto Legislativo 152/2006, ha introdotto nuovi limiti di accettabilità per gli scarichi di acque reflue urbane e soprattutto criteri di valutazione più rigidi. Le possibilità di intervento sono molto numerose, infatti le attuali tendenze sono in ogni caso quelle di sviluppare tecnologie che permettano la minimizzazione degli oneri di intervento, sia dal punto di vista degli investimenti (e quindi delle nuove strutture da realizzare), sia dal punto di vista dell'esercizio (ricercando anche la semplicità gestionale). Le soluzioni scelte devono inoltre richiedere il minor spazio possibile, a causa della ormai scarsa disponibilità di aree non urbanizzate da destinare alla localizzazione di nuovi impianti o all'ampliamento di impianti esistenti. La depurazione per via biologica è caratterizzata da una maggiore sostenibilità ambientale in termini di efficienze depurative conseguibili a parità di impegno economico, di consumo di risorse, di produzione di fango.

Lo scopo del presente studio è quello di illustrare i vantaggi derivanti dall'adozione del sistema innovativo MBR a pannelli piani, rispetto al sistema MBR a fibre cave negli impianti di trattamento acque: sia da un punto di vista tecnico che economico. Si presentano due casi reali in cui ciascun impianto è stato aggiornato a una delle due tecnologie e contestualmente si mettono in risalto i miglioramenti sia in termini di performance che in termini di capacità depurativa a parità di spazi occupati:

- L'impianto di Nerano: aggiornato con membrane a pannelli piani;
- L'impianto di Occhiomarino: aggiornato con membrane a fibre cave.

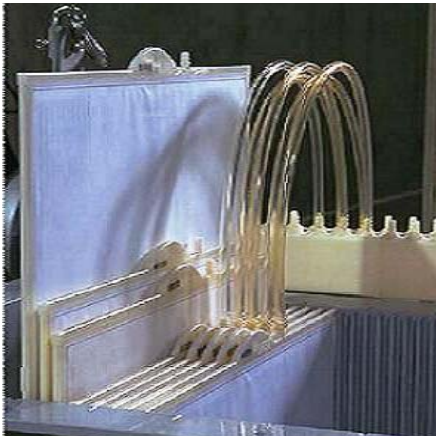
MBR

MBR sta per Reattore Biologico a Membrana e consiste nella combinazione di un processo convenzionale a fanghi attivi con un sistema di separazione liquido-solido mediante l'utilizzo di membrane artificiali. Questa tecnologia, nata intorno agli anni sessanta, presenta notevoli vantaggi sia in termini di efficienza di trattamento sia in termini di superfici e spazi occupati, anche se presenta una serie di svantaggi quali un controllo accurato dello sporco delle membrane per mantenere l'impianto in perfetta efficienza e i costi energetici dovuti a tale controllo oltre al consumo di chemicals. Le configurazioni più impiegate sono la configurazione a membrane sommerse e quella a membrane immerse in una vasca esterna (55% delle applicazioni in tutto il mondo). La particolarità dei fanghi attivi è che solidi e microrganismi sono rimossi nella vasca di sedimentazione sfruttando l'azione della gravità ed in parte riciclati nell'unità biologica, invece con un impianto MBR, la biomassa è mantenuta nella vasca biologica dall'unità di filtrazione a membrane.

Caratteristiche membrane

Membrane a pannelli piani: Le membrane sono costituite da polietilene clorurato e sono a geometria piana; il diametro nominale dei pori è di 0,4 μm .

Gruppi di pannelli vengono assemblati per costituire un unico modulo; il numero di pannelli presenti all'interno di un modulo può essere compreso tra 50 e 400. Ogni modulo è composto da due parti sovrapposte; la parte superiore costituisce la zona di alloggiamento delle membrane, mentre la parte inferiore costituisce la zona di risalita per le bolle d'aria grossolane utilizzate per la pulizia meccanica della superficie filtrante. I moduli possono essere costruiti estendendosi sia in altezza che in larghezza a seconda delle necessità e della geometria delle vasche di alloggiamento. La concentrazione di SST in vasca normalmente è 12-15 Kg/m^3 , ma può raggiungere i 20 kg/m^3 .



Membrane a fibre cave: I moduli a membrana sono realizzati in PVDF (polivinilidenefluoruro) strutturati secondo una geometria a fibra cava ed hanno dimensione nominali dei pori pari a $0,04 \mu\text{m}$, un ordine di grandezza in meno rispetto alle fibre piane. La concentrazione di SST in vasca normalmente è $8-10 \text{ kg/m}^3$, ma può raggiungere i 12 kg/m^3 . I moduli vengono raggruppati ed immersi esclusivamente all'interno di un comparto di microfiltrazione esterno al reattore biologico. Il permeato viene convogliato all'interno della fibra e raccolto in testa al modulo. Si effettua un controlavaggio con un flusso di aria o permeato in direzione opposta a quella di filtrazione per ridurre problemi di fouling.



Fouling

L'instaurarsi di meccanismi di sporcamento durante il processo di filtrazione costituisce il principale limite operativo di tutti i processi a membrana.

Con il termine fouling si intende quel processo che ha come risultato una diminuzione dell'efficienza della membrana a causa del deposito di sostanze sospese o disciolte sulle sue superfici esterne o all'interno dei pori.

Impianto Nerano

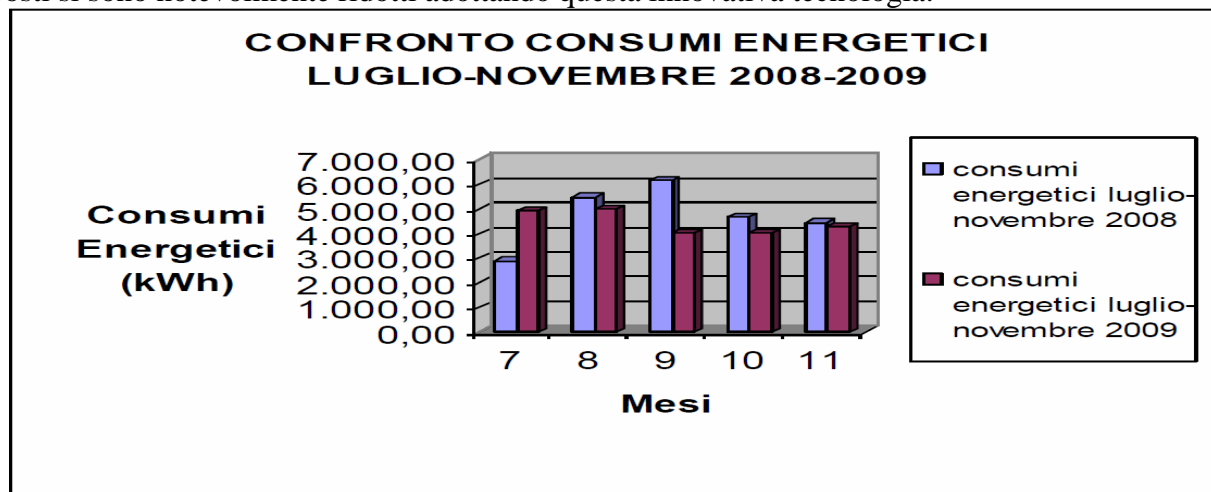
Si presentano di seguito i miglioramenti da un punto di vista dei rendimenti depurativi per tre parametri fondamentali quali BOD₅, SST, Azoto ammoniacale:

	Luglio-Dicembre 2008 Media delle uscite (mg/l)	Luglio-Dicembre 2009 Media delle uscite (mg/l)	Limite normativo (mg/l)	Incremento di performance
BOD ₅	37,1	2,83	40	92,4%

	Luglio-Dicembre 2008 Media delle uscite (mg/l)	Luglio-Dicembre 2009 Media delle uscite (mg/l)	Limite normativo (mg/l)	Incremento di performance
SST	46,7	0,0	80	100,0%

	Luglio-Dicembre 2008 Media delle uscite (mg/l)	Luglio-Dicembre 2009 Media delle uscite (mg/l)	Limite normativo (mg/l)	Incremento di performance
N-NH ₄	15,0	0,5	15	96,6%

I costi si sono notevolmente ridotti adottando questa innovativa tecnologia:



	Fango prodotto	Fango prodotto per m ³ di liquame trattato
	Kg	Kg SST / m ³
Impianto a fanghi attivi	41.970	0,2
Membrane a pannelli piani	17.460	0,083

Questa innovativa tecnologia comporta benefici sia per quanto riguarda la produzione del fango che per quel che riguarda i costi di smaltimento.

Impianto Occhiomarino

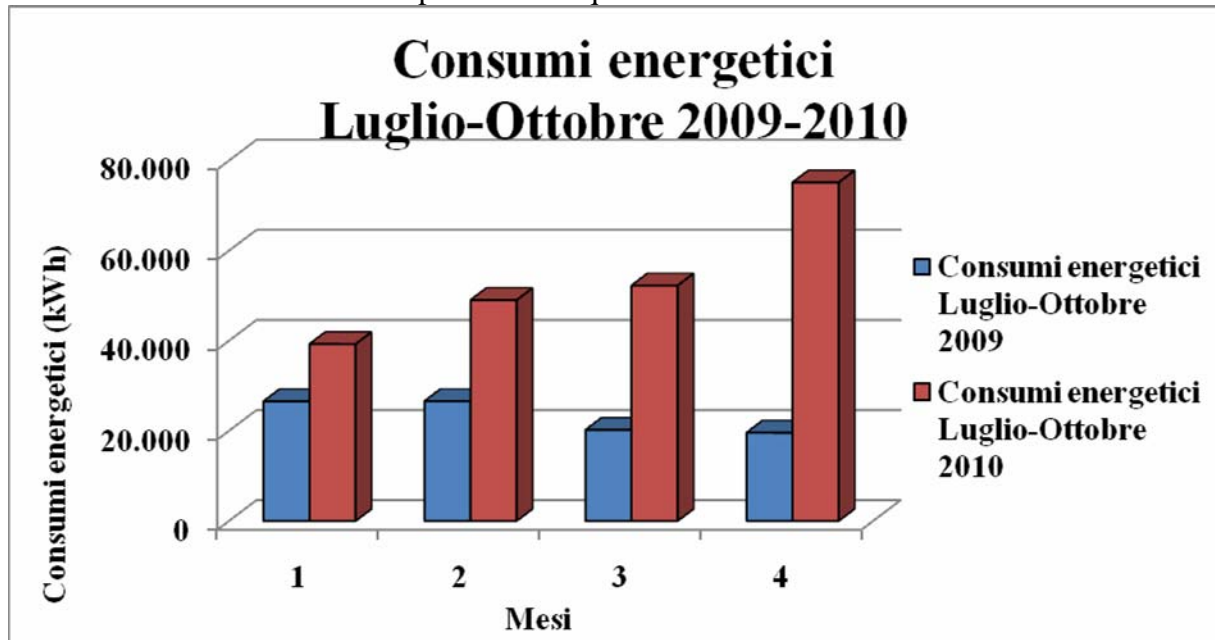
Si presentano di seguito i miglioramenti da un punto di vista dei rendimenti depurativi per tre parametri fondamentali quali BOD₅, SST, Azoto ammoniacale:

	Luglio-Ottobre 2009 Media delle uscite (mg/l)	Luglio-Ottobre 2010 Media delle uscite (mg/l)	Limite normativo (mg/l)	Incremento di performance
BOD ₅	37,8	3,45	40	91,0%

	Luglio-Ottobre 2009 Media delle uscite (mg/l)	Luglio-Ottobre 2010 Media delle uscite (mg/l)	Limite normativo (mg/l)	Incremento di performance
SST	31,0	0,0	80	100,0%

	Luglio-Ottobre 2009 Media delle uscite (mg/l)	Luglio-Ottobre 2010 Media delle uscite (mg/l)	Limite normativo (mg/l)	Incremento di performance
N-NH ₄	13,0	0,0	15	100,0%

I costi sono leggermente aumentati adottando questa innovativa tecnologia a causa del paragone con un sistema obsoleto e scarsamente performante quale il vecchio sistema a biorulli:



	Fango prodotto	Fango prodotto per m ³ di liquame trattato
	Kg	Kg SST / m ³
Impianto a biorulli	55.758	0,31
Membrane a fibre cave	26.551	0,15

Anche la tecnologia con membrane a fibre cave comporta benefici sia per quanto riguarda la produzione del fango che per quel che riguarda i costi di smaltimento.

Confronto tra performance di processo

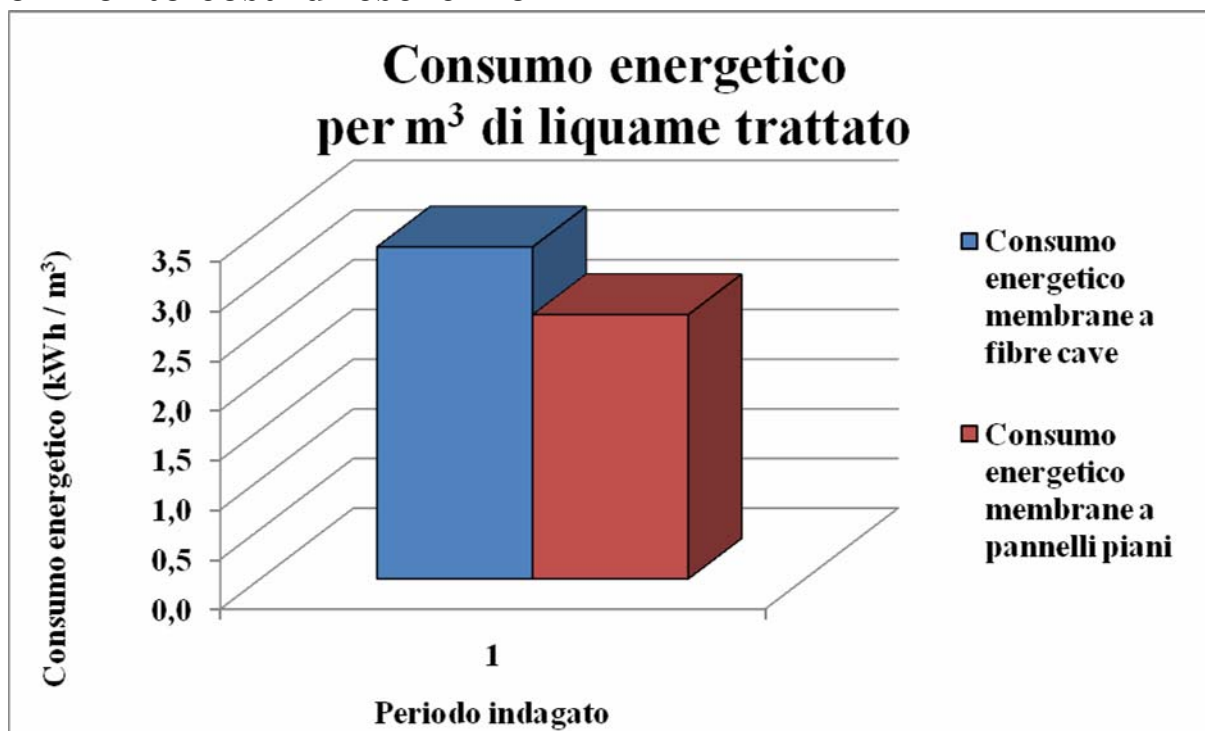
Confrontando le performance di processo tra i due impianti si notano risultati migliori per le membrane a fibre cave (a causa del "cut off" di un ordine di grandezza in meno); per l'impianto di Nerano (Massa Lubrense) le membrane a pannelli piani hanno tali performance:

DATA	BOD ₅				Solidi Sospesi Totali				NH ₄			
	mg/L			η medio	mg/L			η medio	mg/L			η medio
	Ingresso	Uscita	Limite Norma	%	Ingresso	Uscita	Limite Norma	%	Ingresso	Uscita	Limite Norma	%
15/07/09	70,0	1,0	40,0	83	299,0	0,0	80,0	94	46,6	0,5	15,0	99
04/08/09	180,0	3,5	40,0	94	242,0	0,0	80,0	96	30,0	0,5	15,0	84
22/09/09	141,0	3,0	40,0	95	132,0	0,0	80,0	92	24,0	0,5	15,0	88
14/10/09	212,0	3,0	40,0	98	156,0	0,0	80,0	94	56,0	0,5	15,0	99

Per l'impianto di Occhiomarino (Capri), le fibre cave hanno tali performance:

DATA	BOD ₅				Solidi Sospesi Totali				NH ₄			
	mg/L			η medio	mg/L			η medio	mg/L			η medio
	Ingresso	Uscita	Limite Norma	%	Ingresso	Uscita	Limite Norma	%	Ingresso	Uscita	Limite Norma	%
07/07/10	464,0	4,2	40,0	99	360,0	0,0	80,0	100	38,0	0,0	15,0	100
03/08/10	208,0	3,6	40,0	98	398,0	0,0	80,0	100	41,0	0,0	15,0	100
01/09/10	150,0	3,0	40,0	98	146,0	0,0	80,0	100	9,0	0,0	15,0	100
20/10/10	246,0	3,0	40,0	99	222,0	0,0	80,0	100	12,8	0,0	15,0	100

Confronto costi di esercizio



Tale grafico mette in evidenza come le membrane a fibre cave abbiano un consumo specifico per m³ di liquame trattato più elevato rispetto al consumo specifico delle membrane a pannelli piani. Il valore di 3,34 kWh/m³ del consumo specifico delle membrane a fibre cave, è il 20% in più rispetto ai 2,66 kWh/m³ delle membrane a fibre piane.

Confronto fango prodotto

	Fango prodotto Kg SST / m ³
Membrane piane	0,083
Membrane a fibra cava	0,15

Il fango prodotto è espresso in Kg di secco per m³ di liquame trattato e la produzione più elevata di fango delle fibre cave è spiegabile per la minor età del fango a causa delle concentrazioni in vasca più basse (8-9 gr SST/l in media) rispetto alle membrane piane (12-15 gr SST/l in media). Inoltre un altro fattore che determina questa grande differenza, è il volume disponibile del comparto biologico per abitante equivalente nell'impianto di Occhiomarino che è inferiore rispetto al volume per abitante equivalente disponibile nell'impianto di Nerano.

Confronto consumo chemicals

Le membrane a fibre cave richiedono cicli di pulizia profonda (“Clean in Place”) più frequenti con impiego di più chemicals (NaClO ed acido citrico) in notevole quantità e cicli di mantenimento settimanali (Maintenance Clean) con necessità di contro-lavaggio (inversione del flusso attraverso le membrane).

Le membrane a pannelli piani richiedono interventi di pulizia minimi (1-2 volte/anno), di breve durata e richiedono poche quantità di un solo reagente: ipoclorito di sodio (NaClO). Non è necessario alcun contro-lavaggio. Inoltre le concentrazioni dei chemicals sono molto contenute e tali da riciclare all’interno del bioreattore stesso il liquido esausto dopo la pulizia.

	Membrane a fibra cava	Membrane a pannelli piani
	g/m ³	g/m ³
NaClO per “CIP”	1,68	4,7
NaClO per “Maintenance Clean”	0,26	Assente
Acido citrico per “CIP”	6,72	Assente
Totale	8,66	4,7

Parametri da ottimizzare per i sistemi MBR

Esistono una serie di parametri da ottimizzare negli impianti di depurazione con sistema MBR, in quanto tali parametri sono determinati con criteri di tipo sperimentale dettati dall’esperienza in materia e non da puntuali modellazioni matematiche o da verifiche in campo . Infatti si avrà che i parametri da ottimizzare sono:

- *Simulazione dinamica del fouling*: è necessario affinare la modellazione del fouling in maniera da ottimizzare i lavaggi necessari (attualmente si adottano criteri sperimentali);
- *Caratterizzazione della Biomassa in condizioni di elevate concentrazioni con valutazioni più accurate di parametri cinetici e stechiometrici globali*: elevate formazioni di schiuma;
- *Riduzione esponenziale dell’ossigeno disciolto in vasca con maggior rapidità e intensità rispetto alle previsioni modellistiche per elevate concentrazioni e temperature*;
- *Nitrificazione dell’ammoniaca anche in condizioni di basse concentrazioni di O. D. in vasca (minori di 0,2-0,3 mg/l)*: tale fenomeno lascia ipotizzare la capacità del fango di fungere da volano o la probabile presenza di batteri deammonificanti.

Conclusioni

Allo stato attuale offrono più **vantaggi** le membrane a pannelli piani rispetto alle membrane a fibre cave, a parità di condizioni al contorno:

- Minor consumo energetico;
- Possibilità di aggiornamento degli impianti facilitato dall’installazione nella stessa vasca con sistema a fanghi attivi;
- Gli interventi di pulizia sono minimi (1-2 volte/anno), di breve durata e non necessitano di contro-lavaggi;
- TMP (Pressione di Trans Membrana) più contenute;
- Concentrazioni di SST più elevate, potendo quindi ridurre gli spazi e aumentare l’età del fango oppure aumentare la potenzialità di trattamento a parità di volume;
- Minor complessità e delicatezza nella gestione dei cicli di funzionamento e di pulizia;

Gli **svantaggi** si manifestano in situazioni più particolari, preferendo le fibre cave per:

- il riutilizzo delle acque;
- l’impossibilità di sfruttare la vasca biologica.