



## ACQUE

### Trattamenti biologici avanzati: i "reattori biologici a membrana"

■ di Luigi Cimino, amministratore unico Impec Costruzioni S.p.a.,  
Bruno Brancato, consulente di Impec Costruzioni S.p.a. e  
Davide Giri, ingegnere presso AGIDA S.c.a.r.l.

*Tra le soluzioni innovative e più promettenti per il trattamento biologico avanzato delle acque rientrano i "reattori biologici a membrana" (MBR), che consistono nella combinazione di un processo convenzionale a fanghi attivi con un sistema di separazione liquido-solido mediante l'utilizzo di membrane sintetiche di diversa tipologia. Di seguito, si analizzano, confrontandoli tra loro, due casi reali di adeguamento di impianti con sistema MBR, di cui uno aggiornato con la tecnologia a fibre cave e l'altro con quella a pannelli piani.*

Gli ingombri molto ridotti dei sistemi MBR (*Membrane Bioreactor*), in relazione alla ormai scarsa disponibilità di aree sia per adeguare impianti esistenti che per realizzarne di nuovi, rendono tale tecnologia estremamente interessante. Il sistema MBR presenta notevoli vantaggi in termini di efficienza di trattamento, di superfici e spazi occupati e di produzione di fanghi rispetto ai sistemi tradizionali, anche se richiede un controllo più accurato per mantenere l'impianto in perfetta efficienza.

Esso, tuttavia, conserva integralmente gli aspetti positivi di sostenibilità ambientale e semplicità di utilizzo della depurazione biologica a biomassa sospesa, amplificandone l'efficienza e utilizzando ingombri molto più ridotti.

A differenza dei sistemi convenzionali, in cui i solidi e microrganismi sono rimossi per gravità nei sedimentatori e in parte ricircolati nei bioreattori, i sistemi MBR utilizzano unità di filtrazione a membrane per separare i solidi, con "cut off" molto ridotti (0,4 - 0,04  $\mu\text{m}$ ). È possibile quindi fare a meno di sedimentatori secondari, in genere molto ingombranti, di unità di filtrazione e di disinfezione terziaria e di unità di ricircolo fanghi. È inoltre possibile lavorare con concentrazioni di SST (solidi sospesi totali) molto più elevate (fino a 15 - 20 gSST/l) di quelle consentite con i sedimentatori (5-6 gSST/l), con ingombri molto più contenuti dei bioreattori.

Le configurazioni attualmente più impiegate per i sistemi MBR sono quelle con membrane a pannelli piani direttamente sommersi nei bioreattori e quelle con membrane a fibre cave collocate in vasche esterne.

Obiettivo del presente studio è quello di confrontare da un punto di vista tecnico ed economico le due configurazioni sopra richiamate, studiando due casi reali di applicazione (Marina del Cantone e Capri) nei quali un sistema tradizionale è stato aggiornato, per motivi di efficienza e potenzialità, con un sistema MBR.

Si evidenziano dapprima i vantaggi ottenuti dopo il cambio di configurazione e quindi si confronteranno

le performance depurative, i consumi energetici e di sostanze chimiche, e la produzione di fanghi dei due sistemi, a parità di condizioni al contorno.

Si tenga conto che entrambi gli impianti, dopo l'*upgrading*, adottano un sistema ad aerazione intermittente per la nitrificazione e denitrificazione, con alternanza delle fasi anossiche e aerobiche, e sono dotati di un sistema di automazione per ottimizzare il processo e razionalizzare i consumi energetici. In particolare:

- l'impianto di Marina del Cantone è stato aggiornato con membrane a pannelli piani;
- l'impianto di Capri è stato aggiornato con membrane a fibre cave.

### Impianto di Nerano (Massa Lubrense - NA)

L'impianto di Nerano, prima dell'

"*upgrading*", presentava una linea di trattamento composta da grigliatura, ossidazione biologica a fanghi attivi, sedimentazione finale e disinfezione.

I letti d'essiccazione costituivano la linea fanghi. A causa delle dimensioni insufficienti della sedimentazione e della mancanza di un trattamento specifico per l'azoto nitrico, la linea liquami esistente è stata integrata mediante l'aggiunta di:

- staccatura;
- dissabbiatura/disoleatura;
- l'ossidazione biologica ha beneficiato della tecnologia ad aerazione intermittente che permette la nitro/denitro mediante l'alternanza di *mixer* e compressori.

Nello stesso comparto di ossidazione è stato installato il sistema di separazione della biomassa con membrane a pannelli piani in polie-

tilene clorurato che sono a geometria piana, con diametro nominale dei pori di 0,4  $\mu\text{m}$ .

I pannelli vengono assemblati per costituire un unico modulo e 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 (si veda la *foto 1*). La concentrazione di SST in vasca normalmente è 12-15  $\text{kg}/\text{m}^3$ , ma può raggiungere anche i 20  $\text{kg}/\text{m}^3$ . La vasca di sedimentazione, non più necessaria, è stata trasformata in una linea pioggia.



▲ Foto 1 - Installazione di tre moduli Kubota ES200 a membrana piana nel bioreattore di Nerano

La disinfezione è stata integrata con l'installazione di un sistema a raggi UV che tratta il 50% della portata media giornaliera e la linea fanghi è stata implementata con una fase di ispessimento che precede la centrifugazione. L'impianto è stato adeguato per una potenzialità di circa 2.300 a.e. (abitanti equivalenti), con una portata media giornaliera di 460 m<sup>3</sup>/d.

Sono stati monitorati tre parametri indicativi delle *performance* di processo: BOD<sub>5</sub>, SST e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Le caratteristiche medie di tali inquinanti, in ingresso impianto, sono: 346 mg/l per il BOD<sub>5</sub>, 224 mg/l per gli SST e 40 mg/l per l'azoto ammoniacale.

Per un confronto più accurato e omogeneo tra le due tecnologie MBR, sono stati considerati i costi di adeguamento relativi alla sola sezione biologica per ciascun impianto. Non si è tenuto conto dei costi relativi alle altre sezioni, in quanto adeguate in maniera differente nei due casi di studio. Tali costi sono valutabili in: € 216/m<sup>3</sup> di liquame trattato.

Considerando due periodi di osservazione "luglio - dicembre 2008", antecedente all'installazione delle membrane, e "luglio - dicembre 2009" con sistema MBR, e utilizzando le medie dei valori in uscita rilevati dal laboratorio di analisi, si ottengono i valori riportati in *tabella 1*.

Si può notare come tale tecnologia abbatta notevolmente i parametri inquinanti portando addirittura a zero i solidi sospesi totali. Le migliori performance per il BOD<sub>5</sub> e azoto ammoniacale sono anche legate alle maggiori concentrazioni di SST in vasca (12-15 gr/l).

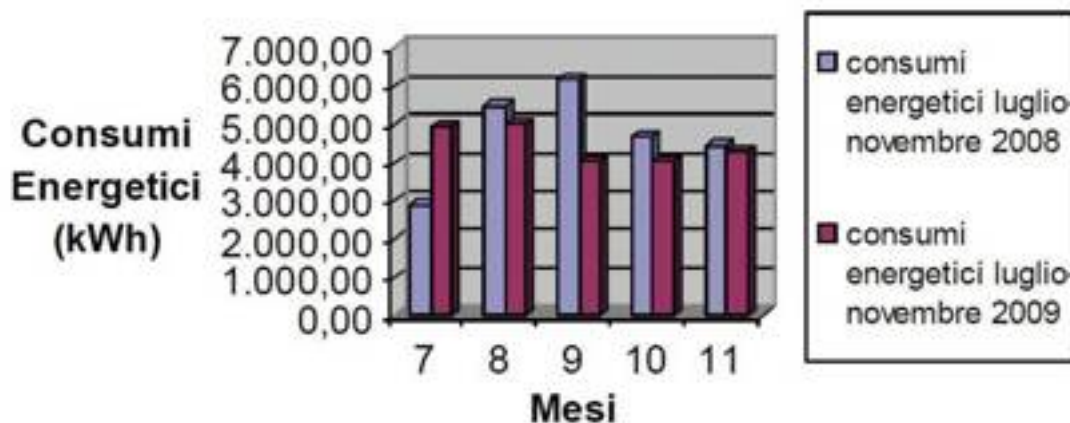
Contrariamente a quanto supposto, si è osservata una riduzione dei consumi energetici (si veda la *figura 1*), nonostante l'incremento di apparecchiature e non solo legate al sistema MBR.

Come si osserva dal grafico, tranne nel periodo di avviamento i consumi energetici risultano inferiori e più costanti nel periodo indagato. È stato rilevato il consumo dell'in-

TABELLA 1

**NERANO: MONITORAGGIO BOD<sub>5</sub>, SST, N-NH<sub>4</sub>**

	Luglio-dicembre 2008 Media delle uscite (mg/l)	Luglio-dicembre 2009 Media delle uscite (mg/l)	Limite normativo (mg/l)	Incremento di performance
<b>BOD<sub>5</sub></b>	37,1	2,83	40	92,4%
<b>SST</b>	46,7	0,0	80	100,0%
<b>N-NH<sub>4</sub></b>	15,0	0,5	15	96,6%

**CONFRONTO CONSUMI ENERGETICI  
LUGLIO-NOVEMBRE 2008-2009**


▲ Figura 1 - Confronto consumi energetici luglio-novembre 2008-2009

tero impianto, in quanto non è stato possibile circoscrivere i consumi legati al solo sistema biologico, prima e dopo l'*upgrading*.

A questo risultato ha contribuito l'assenza del ricircolo, l'adozione della tecnologia ad aerazione intermittente e il ricorso a un sistema di automazione per l'ottimizzazione del processo di trattamento. Il consumo specifico di energia è valutabile in 2,66 kWh/m<sup>3</sup>.

Analizzando, infine, il fango prodotto prima e dopo l'installazione delle membrane, emergono i valori riscontrati in *tabella 2*.

Il fango prodotto con le membrane a pannelli piani è meno della metà rispetto al fango prodotto dal precedente sistema a fanghi attivi.

Si sono dimezzati così i costi per il conferimento in discarica dei fanghi. È stato calcolato anche un fango prodotto per m<sup>3</sup> di liquame trattato in modo da poter uniformare il dato e renderlo comparabile con il dato proveniente dall'impianto di Capri.

### Impianto di Occhio Marino (Capri - NA)

L'impianto di Occhio Marino ha una potenzialità di circa 7500 a.e. con una portata media giornaliera in ingresso di 1500 m<sup>3</sup>/d.

Esso presentava le seguenti fasi:

- grigliatura grossolana;
- grigliatura fine;
- fase di dissabbiatura;
- ossidazione biologica a biodischi;
- fase di sedimentazione;
- filtrazione;
- debatterizzazione.

La linea fanghi presentava una fase di aerazione, un addensamento e una disidratazione. A causa della potenzialità di trattamento insufficiente e della particolare inefficacia del sistema a biorulli nei riguardi della rimozione dell'azoto, la linea liquami esistente ha subito profondi cambiamenti. Le modifiche appor-

TABELLA 2		
NERANO: PRODUZIONE DI FANGO PRE E POST MEMBRANE		
	Fango prodotto	Fango prodotto per m <sup>3</sup> di liquame trattato
	kg	kg SST/m <sup>3</sup>
<b>Impianto a fanghi attivi</b>	41.970	0,2
<b>Membrane a pannelli piani</b>	17.460	0,083



▲ Foto 2 - Installazione di moduli Siemens R40N a fibra cava nelle celle esterne al bioreattore di Occhiomarinao

tate riguardano i pretrattamenti che beneficiano di una dissabbiatura e di una disoleatura, la fase di ossidazione è stata trasformata in una fase di accumulo acque e la fase di sedimentazione è divenuta, grazie all'adozione del sistema ad aerazione intermittente, un bioreattore unico di ossidazione-nitrificazione e

denitrificazione biologica (si vedano le foto 2 e 3). Le membrane a fibre cave in PVDF sono state installate per motivi di processo in quattro vasche in acciaio esternamente al reattore biologico; esse hanno dimensioni nominali dei pori pari a 0,04 µm, un ordine di grandezza in meno rispetto alle fibre piane.

La concentrazione di SST in vasca normalmente è 8-9 kg/m<sup>3</sup>, ma può raggiungere i 10 kg/m<sup>3</sup>.

Il permeato viene convogliato all'interno della fibra e raccolto in testa al modulo. È necessario, rispetto alle membrane piane, anche un controlavaggio con un flusso di aria o permeato in direzione opposta a quella di filtrazione per ridurre i problemi di *fouling*.

Sono stati indagati gli stessi tre pa-

rametri d'inquinamento utilizzati per l'impianto di Nerano, prendendo in considerazione due periodi di osservazione, dei quali il primo va da luglio a ottobre 2009 ed è antecedente all'installazione delle membrane e il secondo va da luglio a ottobre 2010 a installazione membrane avvenuta (si veda la *tabella 3*).

Le *performance* di processo dopo l'*upgrading* sono altrettanto soddi-

sfacenti come per Nerano, se non addirittura superiori.

I solidi sospesi totali sono assenti e l'azoto ammoniacale è riscontrabile in tracce. Le concentrazioni di biomassa in vasca sono dell'ordine di 8 - 10 gr/l. Il consumo specifico di energia è valutabile in 3,34 kWh/m<sup>3</sup>.

I costi di investimento, calcolati come specificato in precedenza, sono valutabili in € 270/m<sup>3</sup> di liquame trattato.

L'investimento necessario per realizzare un impianto a membrane a fibre cave è oggettivamente superiore in virtù del costo di acquisto delle membrane stesse, dell'aggiunta di vasche esterne, della necessità di circuiti di controlavaggio e *loop* di controllo del processo più complessi.

Sono stati registrati anche consumi energetici elevati nel periodo di osservazione rispetto al sistema esistente. Occorre precisare tuttavia che il sistema tradizionale (bioreattori) utilizzava un'aerazione di tipo naturale che richiede poche risorse energetiche. Di seguito (si veda la *figura 2*) si riporta un grafico degli andamenti dei consumi energetici nel periodo di osservazione. Analizzando infine il fango prodotto prima e dopo l'installazione delle membrane, emergono i

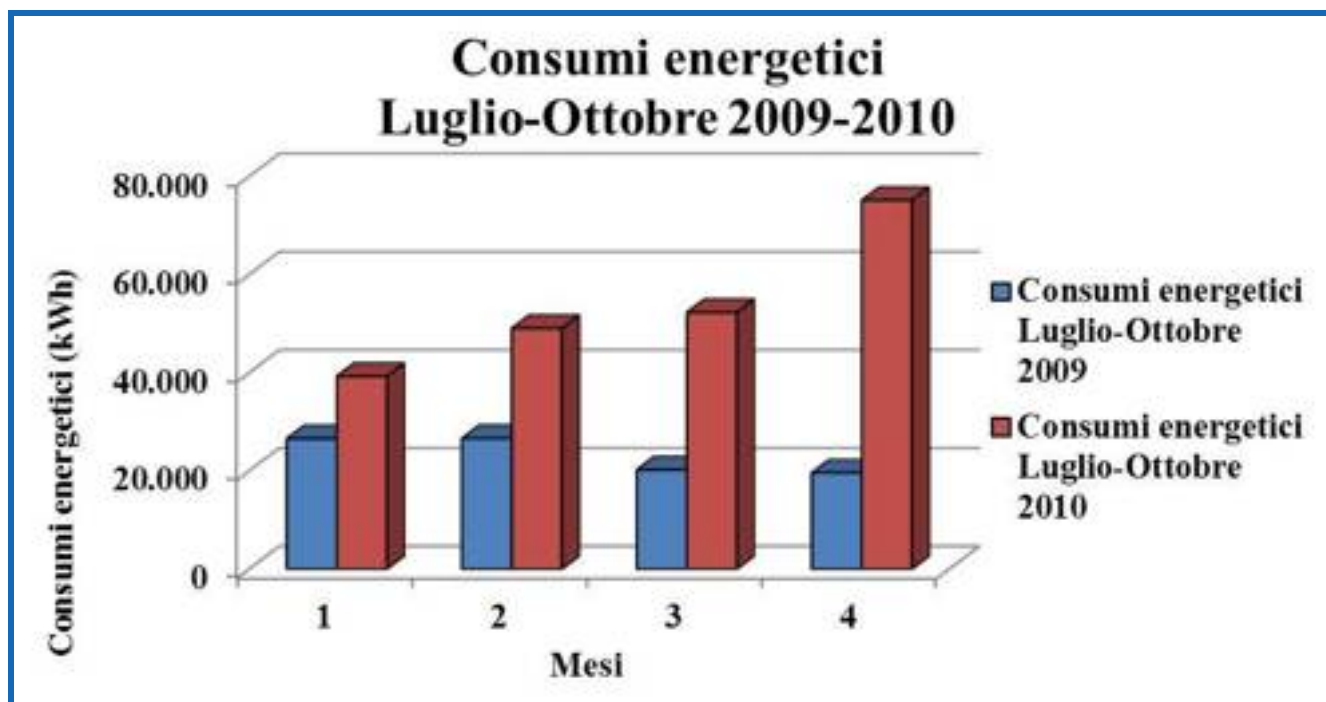


▲ Foto 3 - Cella esterna in funzione

TABELLA 3

## OCCHIO MARINO: MONITORAGGIO BOD<sub>5</sub>, SST, N-NH<sub>4</sub>

	Luglio-ottobre 2009 Media delle uscite (mg/l)	Luglio-ottobre 2010 Media delle uscite (mg/l)	Limite normativo (mg/l)	Incremento di performance
<b>BOD<sub>5</sub></b>	37,8	2,45	40	91,0%
<b>SST</b>	31,0	0,0	80	100,0%
<b>N-NH<sub>4</sub></b>	13,0	0,1	15	100,0%



▲ Figura 2 - Consumi energetici luglio-ottobre 2009-2010

TABELLA 4

## OCCHIO MARINO: PRODUZIONE DI FANGO PRE E POST MEMBRANE

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

valori riscontrati in *tabella 4*.

Il fango prodotto con le membrane a fibre cave è meno della metà rispetto al sistema a biorulli. Si sono dimezzati così i costi per il conferimento in discarica dei fanghi.

È stato calcolato anche un fango prodotto per m<sup>3</sup> di liquame trattato in modo da poter uniformare il dato e renderlo comparabile con il dato proveniente dall'impianto di Nerano.

### Confronto tra performance di processo

Confrontando le *performance* di processo tra i due impianti si notano risultati leggermente migliori per le membrane a fibre cave; per l'impianto di Nerano si registrano i rendimenti riportati in *tabella 5*.

Per l'impianto di Occhio Marino (Capri), le *performance* sono riportate in *tabella 6*.

Si può notare come in generale le

performance delle membrane a fibre cave siano di poco superiore rispetto alle *performance* delle membrane a pannelli piani.

In parte ciò è spiegabile con il diametro nominale dei pori ("cut off") di un ordine di grandezza inferiore rispetto a quello delle membrane piane. Il miglior rendimento è anche attribuibile al controllo di processo dell'aerazione intermittente, più accurato rispetto a quello di Nerano.

### Confronto consumi energetici

Per poter confrontare i consumi energetici in maniera appropriata si è ricavato un consumo energetico per m<sup>3</sup> di liquame trattato e si è ottenuto quanto riportato in *tabella 7*.

Questa *tabella* mette in evidenza come le membrane a fibre cave abbiano un consumo specifico per m<sup>3</sup> di liquame trattato più elevato rispetto al consumo specifico delle membrane a pannelli piani di almeno un 20%.

TABELLA 5

**NERANO: PERFORMANCE DI PROCESSO**

DATA	BOD <sub>5</sub>				Solidi Sospesi Totali				NH <sub>4</sub>			
	mg/L		μ medio		mg/L		μ medio		mg/L		μ medio	
	Ingresso	Uscita	Limite Norma	%	Ingresso	Uscita	Limite Norma	%	Ingresso	Uscita	Limite Norma	%
15/07/09	70,0	1,0	40,0	99	299,0	0,0	80,0	100	46,6	0,5	15,0	99
04/08/09	180,0	3,5	40,0	98	242,0	0,0	80,0	100	30,0	0,5	15,0	98
22/09/09	141,0	3,0	40,0	98	132,0	0,0	80,0	100	24,0	0,5	15,0	98
14/10/09	212,0	3,0	40,0	98	156,0	0,0	80,0	100	56,0	0,5	15,0	99

TABELLA 6

**OCCHIO MARINO: PERFORMANCE DI PROCESSO**

DATA	BOD <sub>5</sub>				Solidi Sospesi Totali				NH <sub>4</sub>			
	mg/L		μ medio		mg/L		μ medio		mg/L		μ 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	0,1	15,0	99,9
03/08/10	208,0	3,6	40,0	98	398,0	0,0	80,0	100	41,0	Tracce	15,0	100
01/09/10	150,0	3,0	40,0	98	146,0	0,0	80,0	100	9,0	0,1	15,0	99,9
20/10/10	246,0	3,0	40,0	99	222,0	0,0	80,0	100	12,8	0,1	15,0	99,9

TABELLA 7

## CONSUMI ENERGETICI: CONFRONTO

	Consumo energetico per m <sup>3</sup> di liquame trattato
	kWh/m <sup>3</sup>
Membrane a pannelli piani	2,66
Membrane a fibre cave	3,34

TABELLA 8

## FANGO PRODOTTO: CONFRONTO

	Fango prodotto per m <sup>3</sup> di liquame trattato
	kg SST/m <sup>3</sup>
Membrane a pannelli piani	0,083
Membrane a fibre cave	0,15

### Confronto fango prodotto

Il fango prodotto è espresso in kg di secco per m<sup>3</sup> di liquame trattato e la produzione più elevata di fango delle fibre cave è spiegabile per la minor età del fango dovuta alle concentrazioni in vasca più basse (8-9 gr SST/l in media) rispetto alle membrane piane (12-15 gr SST/l in media); sul punto si veda la *tabella 8*. Inoltre, un altro fattore che determina questa differenza è il volume disponibile del comparto biologico per abitante equivalente nell'impianto di Occhio Marino, che è inferiore rispetto al volume per abitante equivalente disponibile nell'impianto di Nerano.

### Confronto consumo di sostanze chimiche

Le membrane a fibre cave richiedo-

no cicli di pulizia più profonda (*"Clean in Place"*) e più frequenti, con impiego di elevate quantità di *chemicals* (NaClO ed acido citrico) e cicli di mantenimento settimanali (*Maintenance Clean*), con necessità di controlavaggio (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, l'ipoclorito di sodio (NaClO); non è necessario alcun controlavaggio. Inoltre, le concentrazioni dei *chemicals* sono molto contenute e tali da riciclare all'interno del bioreattore stesso il liquido esausto dopo la pulizia (si veda la *tabella 9*).

### Conclusioni

I dati sperimentali presentati met-

tono in evidenza come sia vantaggioso l'utilizzo dei sistemi a membrana per l'adeguamento di impianti esistenti, da potenziare e/o rendere più efficienti. Essi non richiedono costi di investimento iniziale eccessivi, come dimostrano i dati raccolti. Non sono necessari, inoltre, ingombri aggiuntivi e l'installazione e la gestione del sistema stesso sono abbastanza semplici da effettuare. I risultati in termini di *performance* di processo risultano eccellenti per entrambi i sistemi, mentre i costi energetici risultano comparabili se non addirittura, in alcuni casi, più vantaggiosi rispetto ai sistemi tradizionali a fanghi attivi. La produzione dei fanghi di supero è senz'altro più contenuta e a maggior contenuto di "secco" rispetto ai sistemi tradizionali, soprattutto se si prevede anche l'utilizzo della tecnologia ad aerazione intermittente.

Non è stato possibile valutare i costi di investimenti proiettandoli in un arco temporale più ampio, a causa della carenza di dati sperimentali effettivi sulla "vita media" delle membrane. Le case costruttrici offrono comunque garanzie piuttosto rassicuranti in merito (7-10 anni e oltre).

Confrontando le due tecnologie MBR, monitorate a parità di condizioni al contorno, risulta che le membrane piane rispetto alle fibre cave presentano i seguenti aspetti vantaggiosi:

- richiedono complessivamente un minor consumo energetico e di *chemicals*;
- permettono un adeguamento costruttivamente e gestionalmente semplice degli impianti;
- gli interventi di pulizia sono minimi, di breve durata e non sono necessari controlavaggi;
- non sono necessari ricircoli per deconcentrare le vasche di separazione;

TABELLA 9

**CONCENTRAZIONE DI *CHEMICALS* NEI LAVAGGI: CONFRONTO**

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

- le TMP (Pressione Trans - Membrana) sono più contenute;
- consentono concentrazioni di SST più elevate, quindi minori ingombri della parte utile dei bioreattori (o maggiore potenzialità di trattamento a parità di volume con età del fango più elevata e conseguente minor produzione di fanghi);

- presentano una minore complessità e delicatezza nella gestione dei cicli di funzionamento e di pulizia;

Le membrane a fibre cave possono essere preferite alle piane se:

- è necessario un riutilizzo qualitativamente "spinto" delle acque;
- non vi è la possibilità di collocarle nella vasca biologica;
- occorre minimizzare l'ingombro del volume utile per la separazione della biomassa (la geometria delle fibre cave consente una maggiore superficie specifica dei moduli rispetto ai pannelli piani).

Per quanto concerne gli sviluppi fu-

turi dei sistemi MBR, occorre precisare che vi è ancora una serie di fenomeni, riscontrati anche nel monitoraggio condotto in questa sede, ancora non del tutto chiariti e parametri senza dubbio suscettibili di ottimizzazioni. Infatti, alcuni criteri, procedure e parametri di processo sono attualmente determinati sperimentalmente in maniera empirica e non con modellazioni matematiche interpretative dei fenomeni. Più in particolare, per una più efficiente e diffusa applicazione della tecnologia MBR, sarà necessario:

- realizzare una modellazione consolidata del "fouling", in maniera da razionalizzare i cicli di lavaggio necessari;
- caratterizzare la biomassa in condizioni di elevate concentrazioni, con valutazioni più accurate di parametri cinetici e di trasporto globali;
- studiare e interpretare le cause dell'elevata formazione di schiume in alcune condizioni partico-

lari di "stress" termico e nutrizionale dell'impianto;

- studiare e interpretare le cause della riduzione esponenziale dell'ossigeno disciolto in vasca all'aumentare della temperatura e concentrazione di biomassa, che di fatto avviene con maggior rapidità e intensità rispetto a quanto previsto teoricamente dagli attuali modelli di calcolo utilizzati per simulare il processo;
- giustificare la rimozione dell'ammoniaca che persiste anche in condizioni di basse concentrazioni di ossigeno disciolto in vasca (> 1 mg/l), tali comunque da inibire il processo di nitrificazione della stessa.

Quest'ultimo fenomeno lascia aperte alcune ipotesi che richiederebbero ulteriori approfondimenti quali la capacità del fango di trattenere ossigeno all'interno dei fiocchi (funzione volano) ovvero l'eventuale presenza di batteri de-ammonificanti

*Si ringrazia Francesco Rodriguez, in rappresentanza del personale della GORI S.p.A., gestore unico dell'impianto di Occhiomarino (Comune di Capri) e dell'impianto sito a Nerano (Comune di Massa Lubrense)*

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Giri D., Relatore Prof. Ing. Gianpaolo Rotondo, Correlatore Prof. Ing. Bruno Brancato, 2011, *Evoluzione delle tecnologie di trattamento nel settore acque civili ed industriali di natura organica: i reattori a membrana.*
- [2] Gianni Andreottola, Martina Ferrai, Giuseppe Guglielmi, Giuliano Ziglio. Università degli Studi di Trento. Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale. *I reattori biologici a membrana per il trattamento delle acque reflue. Principi ed applicazioni.*
- [3] Ziccardi L., 2010; *Implementazione del processo MBR sull'impianto di depurazione di Marina del Cantone in Massa Lubrense (NA).*
- [4] IMPEC Costruzioni S.p.A., *Progetto esecutivo as built di adeguamento funzionale dell'impianto di Marina del Cantone.*
- [5] IMPEC Costruzioni S.p.A., *Progetto esecutivo as built di adeguamento funzionale dell'impianto di Occhio Marino.*
- [6] Siemens S.p.A., WATER TECHNOLOGIES CENTRE OF COMPETENCE. *Bioreattori a Membrana (MBR) per impianto di depurazione municipale di Occhio Marino-Capri (NA).*
- [7] Antonelli M., Rozzi A., 2000; *Applicazioni dei processi biologici a membrane. Atti 52° Corso di Aggiornamento in Ingegneria Sanitaria-Ambientale del Politecnico di Milano "Sviluppi nelle tecniche di depurazione delle acque reflue".*
- [8] Rozzi A., Antonelli M., Arcari M., 1999; *Wat. Sci. Tech.*, 40 (4-5), 409-416. *Membrane treatment of secondary textile effluents for direct reuse.*