

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

*Prospettive di utilizzo di Bioreattori a Membrana
Anaerobici*

Relatore

Ch.mo Prof. Massimiliano Fabbricino

Candidato

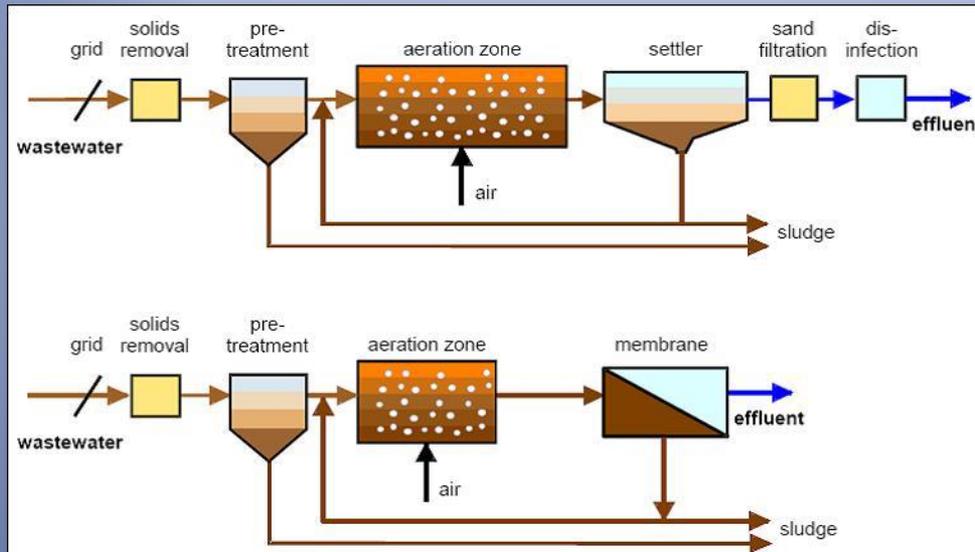
Carlo Ercolano

N49/419

Trattamento dei reflui

Normativa in vigore: Decreto Legislativo n° 152 del 3 aprile 2006

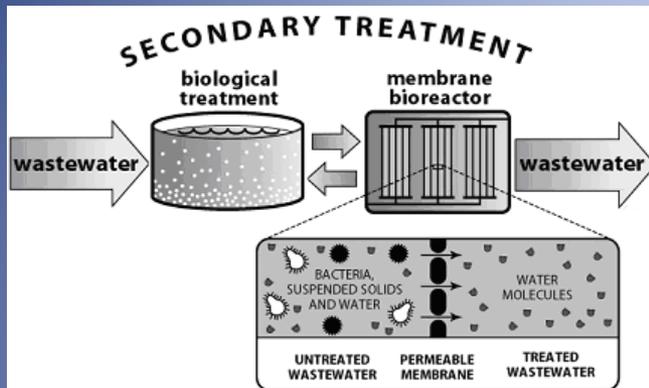
- Tecniche tradizionali:
Separazione della biomassa per sedimentazione



- MBR aerobici:
Separazione della biomassa per filtrazione

AnMBR: Accoppiamento MBR e digestione anaerobica

Processo innovativo: MBR con fase digestiva anaerobica, oggi ancora in studio, ma che porta diversi vantaggi



➤ Dimensione dei pori

- Microfiltrazione >0,05mm
- Ultrafiltrazione >20000 Da

➤ Struttura

- Unità piane
- Tubolari
- A fibre cave
- Unità piane: di forma rettangolare, assemblate a formare dei moduli, facile pulitura, per la configurazione immersa
- Tubolari: solo per configurazione side-stream (esterna), fouling limitato, bassa densità d'impacchettamento, costo elevato
- Fibra cava: soprattutto per configurazione immersa, alta densità d'impacchettamento, permeato estratto dalle basi della fibra

Separazione su membrana

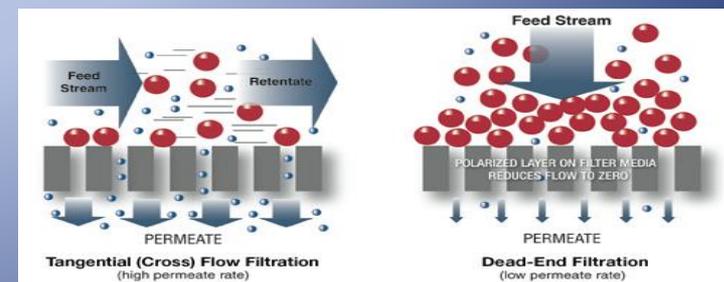
- La biomassa viene bloccata completamente dalla membrana
- Elevato tempo di detenzione cellulare
- Minore ingombro rispetto alla sedimentazione

➤ Materiali

- Polimerici
- Inorganici (ceramici)

➤ Modalità d'alimentazione

- Dead end
- Cross-flow

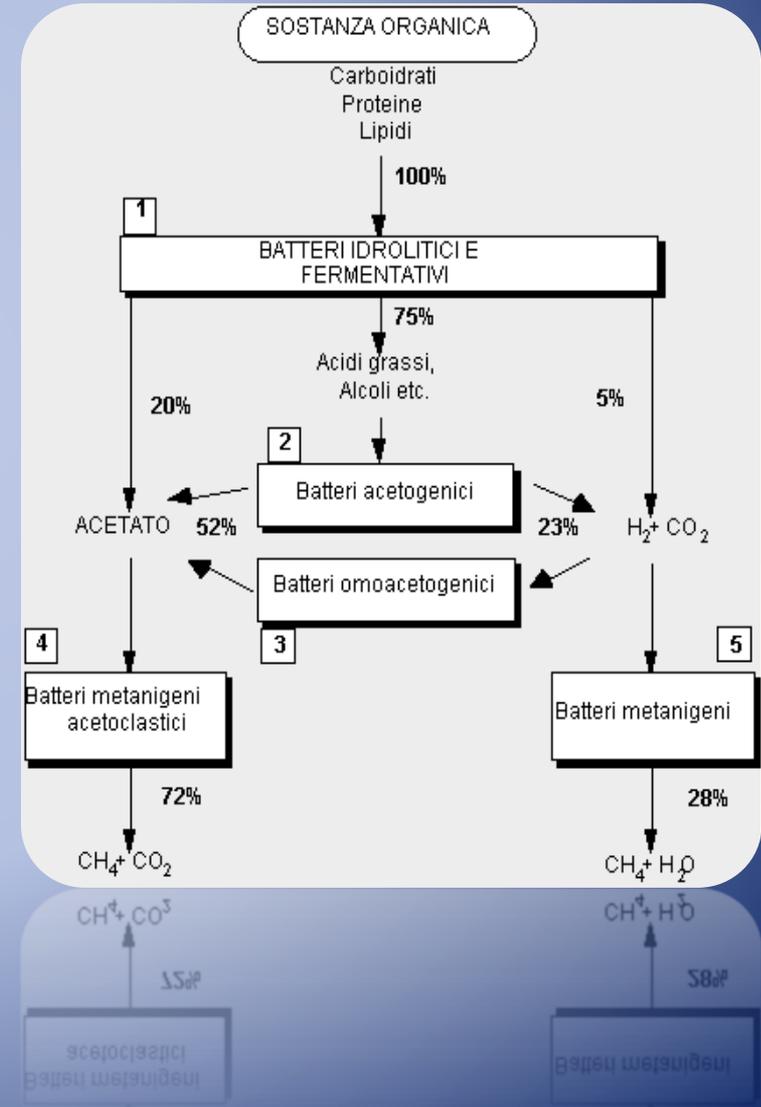


AnMBR: Digestione Anaerobica

Processo innovativo: MBR con fase digestiva anaerobica, oggi ancora in studio, garantisce innumerevoli benefici.

Processo biologico anaerobico

- Trasformazione del COD in energia, protoplasma cellulare e biogas.
- Sviluppo in 4 fasi: idrolisi, acidogenesi, acetogenesi, metanogenesi
- La velocità complessiva è dettata dalla fase più lenta (idrolisi o metanogenesi)
- Parametri influenzanti:
 - pH (tra 6,5 e 8)
 - nutrienti (rapporto COD:N:P)
 - temperatura: processo psicrofilo, mesofilo, termofilo
- Rispetto alla digestione aerobica:
 - Risparmio sull'aerazione
 - Minore velocità della cinetica di degradazione
 - Trasformazione del COD digerito quasi completamente in biogas
 - Minore produzione di fango



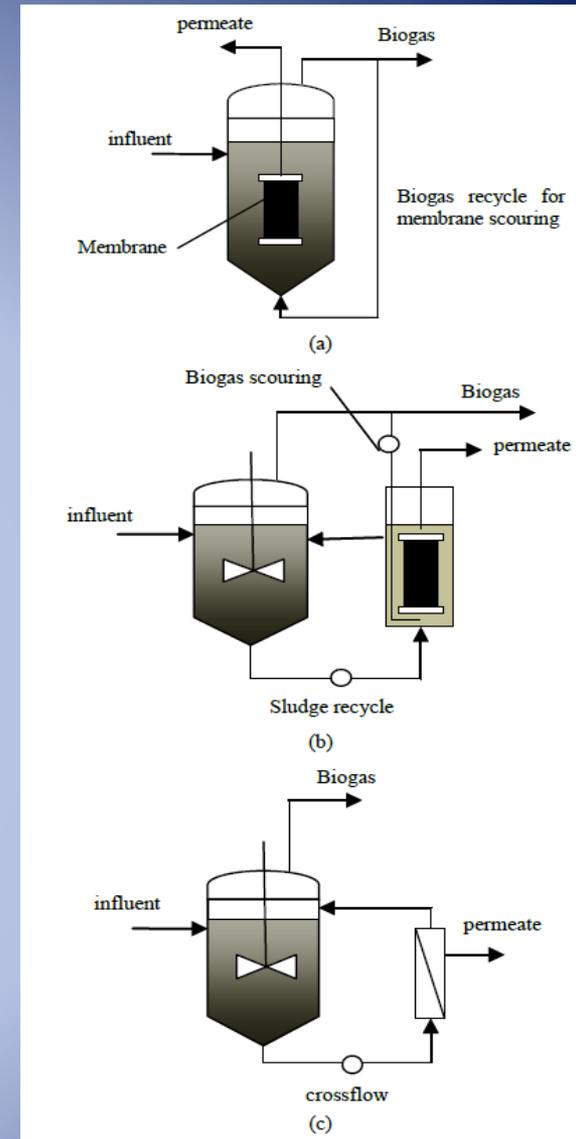
AnMBR: configurazioni di esercizio

A membrana sommersa

- Membrana: a fibre cave o piane
 - Alimentazione di tipo dead end
 - Ricircolo di biogas
- **Configurazione immersa nel reattore anaerobico**
- **Vantaggi:** risparmio di energia per il pompaggio del refluo
 - **Svantaggi:** scarso controllo del fouling, lavaggi poco energici
- **Configurazione immersa in un reattore esterno**
- **Vantaggi:** manutenzione semplificata, possibilità di isolare la membrana
 - **Svantaggi:** energia spesa per il ricircolo, elevati sforzi di taglio, rottura dei fiocchi

A membrana esterna

- Membrana : tubolare
 - Alimentazione di tipo cross-flow
 - Velocità tangenziale 2-4 m/s
 - Elevata TMP in esercizio
- **Vantaggi:** maggiori flussi specifici, possibilità di lavaggi chimici spinti, migliore controllo del fouling, facile cambio delle membrane
- **Svantaggi:** elevati costi energetici, biomassa sottoposta a sforzi di taglio, problemi legati alla rottura dei fiocchi



(a) configurazione a membrana immersa nel reattore biologico, (b) con membrana immersa in reattore esterno, (c) membrana esterna a flusso tangenziale

Campi d'applicazione

Caratterizzazione dei liquami:

- Forza (COD)
- Natura particolata del COD
- Criticità: salinità, Temperatura, pH

Refluo urbano

➤ Caratteristiche:

- COD basso (centinaia di mg/L)
- Basse Temperature
- Presenza di S.S.

➤ Applicazione:

- HRT: 0,25-2 giorni
- Efficienza rimozione COD > 85%
- Efficienza rimozione TSS > 99%
- Processo psicrofilo
- Rimozione di microinquinanti (composti farmaceutici)

Refluo industriale

➤ Caratteristiche:

- COD elevato (migliaia di mg/L)
- Alti livelli di Carico Organico
- Condizioni fisico-chimiche estreme
- Possibile presenza di sostanze tossiche/inibenti

➤ Applicazione:

- HRT: 1-10 giorni
- ORL: 2-15 kg COD/m³*d
- Efficienza rimozione COD > 90%
- Processo mesofilo/termofilo
- Campi d'applicazione: industria alimentare, tessile, distillerie

Potenziati Vantaggi

Vantaggi della digestione anaerobica

- Minore produzione di fanghi
- Migliore digestione del particolato
- Risparmio di energia per l'aerazione
- Produzione di biogas facilmente utilizzabile: 0,22-0,32 L CH₄/kg BOD_{rimosso}

Vantaggi della separazione su membrana

- Completa dissociazione tra l'HRT e l'SRT
- Detenzione totale della biomassa
- Effluente di eccellente qualità
- Parziale disinfezione
- Assenza della sedimentazione secondaria: risparmio di volumi

Problematiche

Processo Psicrofilo

- Temperatura del refluo minore di 20°C
- Rallentamento della crescita cellulare: riduzione delle cinetiche di idrolisi, aumento della costante di semisaturazione
- Impossibilità di aumentare la temperatura
- Riduzione della produzione di metano
- Sperimentazioni future

Controllo del metano disciolto

- CH₄ disciolto: 15,8 mg/L a 15°C: Condizione di sovrasaturazione
- Aumento della solubilità al diminuire della temperatura (1,5 volte maggiore da 35 a 15°C)
- Rilascio in atmosfera di gas serra (global warming potential elevato)
- Perdita di energia
- Tecniche di rimozione: strippaggio con aria, adozione di membrane operanti un gas transfer

Fouling

- Deposizione di materiale presente nel reattore sulla membrana
- Riduzione del flusso di permeato a TMP costante, nel corso del tempo:

$$J = \frac{TMP}{R_t * \mu_t}$$

- Decremento della produttività del sistema
- Elevati costi di esercizio per la sostituzione delle membrane
- Concetto di flusso critico

Fouling: caratteristiche, fattori influenzanti, soluzioni

– Natura:

- Reversibile, removibile (trattam. Fisico)
- Reversibile, irremovibile (trattam. Chimico)
- Irreversibile

– Composizione:

- Biologica
- Organica (EPS, SMP)
- Inorganica (struvite, ioni metallici)

– Struttura:

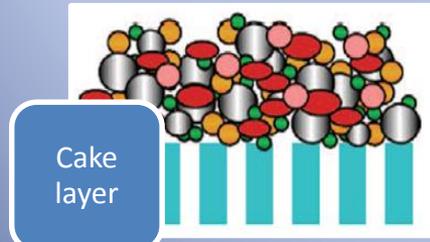
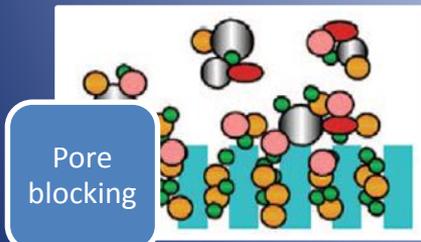
- Cake layer
- Gel layer
- Pore blocking

– Fattori influenzanti:

- Caratteristiche dell'alimento
- Caratteristiche della miscela
- Caratteristiche della Membrana
- Condizioni operative

– Controllo del fouling:

- Pretrattamenti dell'alimento
- Ottimizzazione delle condizioni operative
- Modifica delle proprietà del mixed liquor
- Ottimizzazione della membrana
- Pulizia della membrana



In definitiva ci sono 3 tecniche gestionali per il controllo del sistema:

1. Operare ad alti flussi per brevi periodi e poi attuare frequenti lavaggi fisici e chimici
2. Operare al di sotto del flusso critico e lavare la membrana solo occasionalmente
3. Ridurre il fouling minimizzando la produzione di SMP e colloidali modulando le caratteristiche idrodinamiche, o rimuovendo tali particelle in un pretrattamento

Un'applicazione alla scala pilota

➤ **Obiettivo** : valutare l'efficacia del sistema AnMBR nel trattamento di reflui diluiti urbani in termini di $COD_{rimosso}$, produzione di EPS e di biomassa, sotto diverse condizioni (HRT,SRT,ORL)

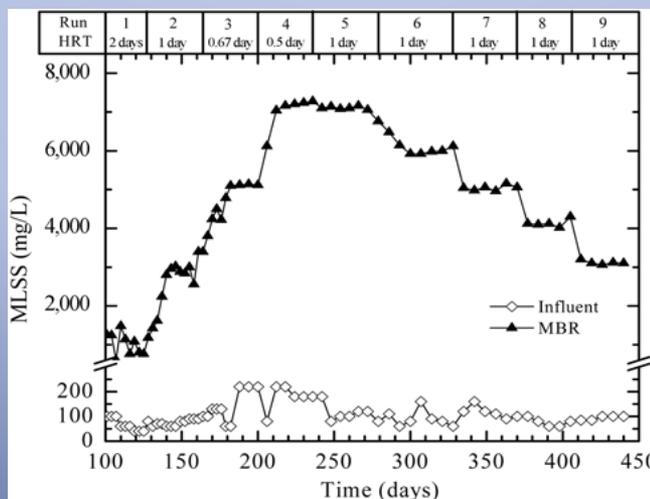
➤ **Impianto:**

- Volume reattore:10 L
- Configurazione: esterna side-stream
- membrana PCI, porosità 0,1 mm, superficie 0,1 m²

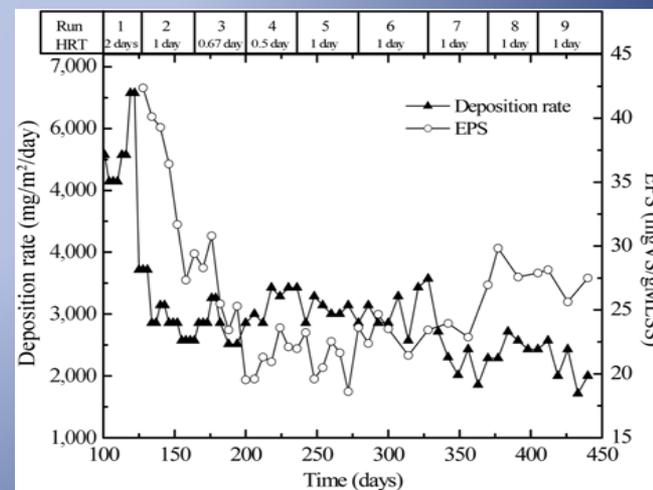
➤ **Svolgimento e conclusioni:**

- pH neutri (7.5 – 6.5)
- Concentrazione MLSS:
 - Cresce al diminuire del HRT
 - Decresce al diminuire del SRT
- NO rimozione di N e P
- Elevata produzione di EPS nelle fasi iniziali
- Nessuna produzione di biogas
- Stretta correlazione tra il grado di deposizione sulla membrana e la concentrazione di EPS

Parametri	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Fase 6	Fase 7	Fase 8	Fase 9
Giorni operativi	100-127	128-164	165-200	201-236	237-279	280-328	329-370	371-405	406-446
HRT [giorni]	2	1	0,67	0,5	1	1	1	1	1
SRT medio [giorni]	19	90	165	217	213	134	114	77	40
MLSS (g/L)	1,01	2,56	4,61	7,01	7,06	5,74	5,04	4,13	3,12
SCOD (mg/L)	0,6	0,51	0,5	0,49	0,48	0,48	0,49	0,49	0,54
Mixed liquor	89±25	70±14	58±6	39±10	51±2	48±7	52±4	48±11	58±6
Permeato	25±12	37±14	37±7	18±4	37±4	28±3	29±3	29±5	35±4
Rimozione (%)	58	55	56	68	65	69	72	66	69
ORL (kg COD/m ³ /d)	0,03	0,08	0,13	0,16	0,11	0,1	0,1	0,09	0,11



MLSS NELL'ALIMENTO E NEL MIXED LIQUOR



GRADO DI DEPOSIZIONE DI SOLIDI SULLA MEMBRANA E CONCENTRAZIONE DI EPS

Tipo di refluo	Scala	Config.	Caratt. membrana	Tipo di reattore	Condizioni operative	Influente	Permeato
Amido di tapioca (sintetico)	Lab	Esterna	A Fibra Cava Pori: 0,03-0,15 mm	AF Filtrazione anaerobica	HRT = 10 d T = 30° C ORL = 1,76 KgCOD/m3*d	COD = 20,15 g/L	COD = 675-780 mg/L (>95%)
Glucosio (sintetico)	Lab	Esterna	Piana Pori:0,45mm	CSTR	HTR = 12 h STR = 30 d Flux = 5,3 LMH ORL=1,1 khCOD/m3*d pH=6,8-7 MLVSS=5.132 g/L	COD = 0,55 g/L	COD= - (>99%)
Siero (industriale)	Lab	Esterna	MF: 0,2 mm	CSTR	HRT=1 d/4 d SRT=-/29.7-78.6 d MLVSS=-/6.4-10 g/L OLR=-/19.78 kg COD/m3/d Temp=37±2/37 °C Flux=139.5 LMH	COD=68.6±3.3 mg/L BOD5=37.71±2.84 mg/L Kj-N= 1.12±0.01 TP=0.5±1.8×10-3 TSS=1.35±0.06 pH=6.5	COD=- (98.5%) BOD5<100 (99.2%) TSS=- (100%)
Refluo di distilleria (industriale)	Piena	Immersa	Kubota , membrana piana	CSTR	Processo Termofilo	COD=101.3 TN=3.72 TS=6% pH=4,11	COD= - (75-92%)
Reflui urbani Concentrati	Lab	Immersa	Membrana piana, MF	CSTR	HRT=10 h MLSS=6.4-9.3 g/L OLR=~ 1.0 kg COD/m3/d Temp=30±3 °C Flux=11 LMH	COD=425±47 NH4+=32.4±11.6 NO3-=1.3±0.4 TP=4.3±0.5 SS=294±33 pH=7.6±0.3	COD=51±10 (88±2%) NH4+=31.1±12.3 (~0%) NO3-=1.1±0.6 (~0%) TP=3.8±0.7 (~0%) SSb0.8 (>99.5%) pH=7.0±0.2
Reflui urbani diluiti	Lab	Esterna	PVDF; pori: 0,1 mm	CSTR	HRT=12-48 h SRT=19-217 d OLR=0.03-0.11 kg COD/m3/d MLSS=1-7.3 g/L Temp=25 °C pH=6.4±0.2	CODs=38-131 pH=7.5	CODs=18-37 (55-69%) NH4+=8.9-51.8 NO3-<0.4 (0%) NO2-<0.4 (0%) pH=6.6±0.1

Conclusioni

Confronto con le altre tecniche :

Parametri	Trattamento convenzionale aerobico	Trattamento convenzionale anaerobico	MBR aerobico	AnMBR
Efficienza di rimozione della sostanza organica	Alta	Alta	Alta	Alta
Qualità effluente	Alta	Medio-bassa	Eccellente	Alta
ORL	Media	Alta	Medio-alta	Alta
Produzione di fango	Alta	Bassa	Medio-alta	Bassa
Ritenuta della biomassa	Medio-bassa	Bassa	Totale	Totale
Richiesta di nutrienti	Alta	Bassa	Alta	Bassa
Richiesta di alcalinità	Bassa	Alta Per Alcuni Tipi Di Reflui	Bassa	Medio-bassa
Richiesta di energia	Alta	Bassa	Alta	Bassa
Sensibilità alla temperatura	Bassa	Medio-bassa	Bassa	Medio-bassa
Tempo di avvio	2-4 Settimane	2-4 Mesi	Meno Di 1 Settimana	Meno Di 2 Settimane
Recupero energetico	No	Si	No	Si
Modalità d'uso	Totale	Solo Pretrattamento	Totale	Totale O Pretrattamento

Sviluppi futuri:

- Applicazioni a piena scala anche per reflui urbani
- Riduzione dei costi d'impianto:
 - Maggiore durabilità delle membrane
 - Sviluppo di membrane di materiale più economico
- Miglioramento delle prestazioni anche a basse temperature
- Adozione di strategie per il controllo del fouling
- Estensione delle applicazioni per la rimozione di azoto e fosforo