



BioMAc 2016
Bioreattori a Membrane (MBR)
e trattamenti avanzati per la depurazione delle Acque

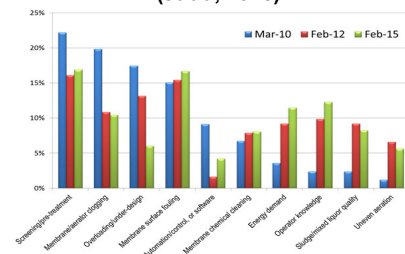
**IL PROGETTO DEGLI IMPIANTI MBR:
 CONFIGURAZIONE DEI REATTORI, COMPONENTI E
 PARTICOLARI COSTRUTTIVI**

Santo Fabio Corsino e Michele Torregrossa
 (Università degli Studi di Palermo)

Palermo, 27-28 ottobre 2016

Problematiche gestionali negli impianti MBR

Principali problematiche in ambito gestionale negli impianti MBR (Judd, 2015)



Issue	Mar-10 (%)	Feb-12 (%)	Feb-15 (%)
Membrane fouling	22	18	15
Aeration	18	15	12
Energy consumption	15	12	10
Membrane cleaning	12	10	8
Operational costs	10	8	6
Pre-treatment	8	6	5
Operator training	6	5	4
System reliability	5	4	3
Water quality	4	3	2
Other	3	2	1

- **fouling e foaming;**
- **pre-trattamenti;**
- **aspetti inerenti la progettazione;**
- **consumi energetici;**
- **formazione degli operatori.**

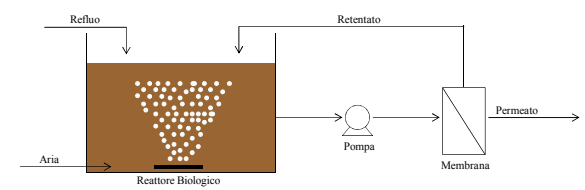
Problematiche gestionali negli impianti MBR

La minimizzazione delle disfunzioni e dei costi operativi richiede attente ed accurate valutazioni riguardo la scelta di:

- **configurazione di processo ottimale;**
- **tipologia di membrane;**
- **dotazioni elettromeccaniche e delle opere accessorie;**
- **soluzioni tecnologiche innovative.**

Configurazioni di processo: Side-stream (sMBR)

- **Membrane esterne (side-stream):** i moduli di membrane sono collocate esternamente al reattore biologico;



- **flusso di permeato in-out;**
- **filtrazione cross-flow;**
- **ricircolo del retentato nel reattore biologico;**
- **velocità del flusso tangenziale 2-5 m/s.**

Configurazioni di processo: Side-stream (sMBR)

VANTAGGI:

- elevati flussi di permeato (50-120 L/m²·h);
- facile accessibilità dei moduli (manutenzione, lavaggi);
- condizioni idrodinamiche ottimizzate per la minimizzazione del *fouling*;
- possibilità di operare con maggiore concentrazione di SST.

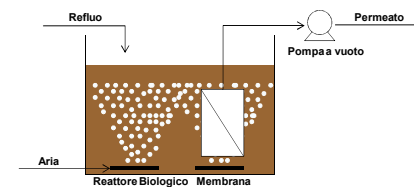
SVANTAGGI:

- elevati valori della TMP richiesta (1-5 bar);
- eccessiva compattazione del *cake layer*;
- elevati consumi energetici relativi al pompaggio della miscela aerata (6 ÷ 8 kWh/m³);
- deflocculazione (sforzi di taglio) e aumento della propensione al *fouling* (velocità consigliate 2 ÷ 3 m/s).



Configurazioni di processo: Membrana sommersa (iMBR)

- Membrane direttamente immerse all'interno dei reattori biologici



- flusso di permeato out-in;
- filtrazione *cross-flow*;
- assenza del circuito di ricircolo del retentato;
- sistema di aerazione dedicato per lo *scouring* delle membrane.



Configurazioni di processo: Membrana sommersa (iMBR)

VANTAGGI:

- minori valori della TMP (0,1 - 0,6 bar);
- minore compattazione del *cake layer*;
- minori consumi energetici per l'estrazione del permeato (0,003-0,02 kWh/m³);
- minore propensione al *fouling*.

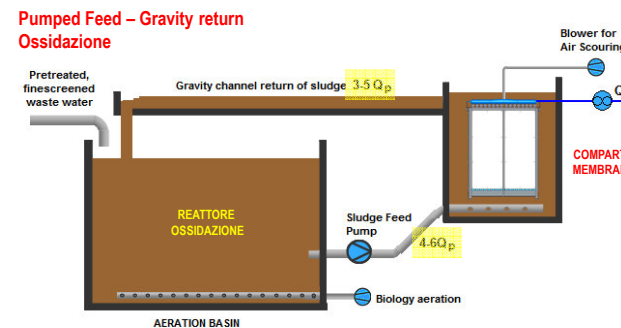
SVANTAGGI:

- flussi di permeato inferiori (15 ÷ 20 L/m²·h);
- necessità di interruzione del processo in caso di manutenzione;
- operazioni di lavaggio complesse;
- sistema di aerazione aggiuntivo dedicato alla membrana.



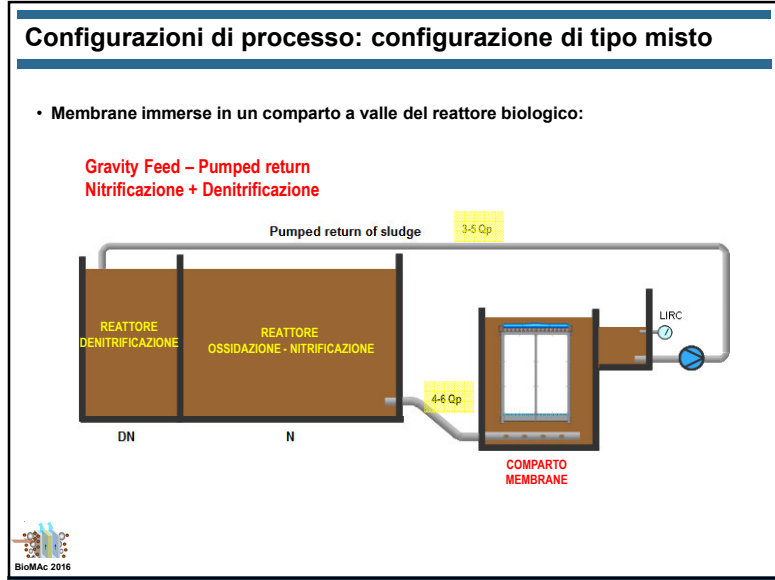
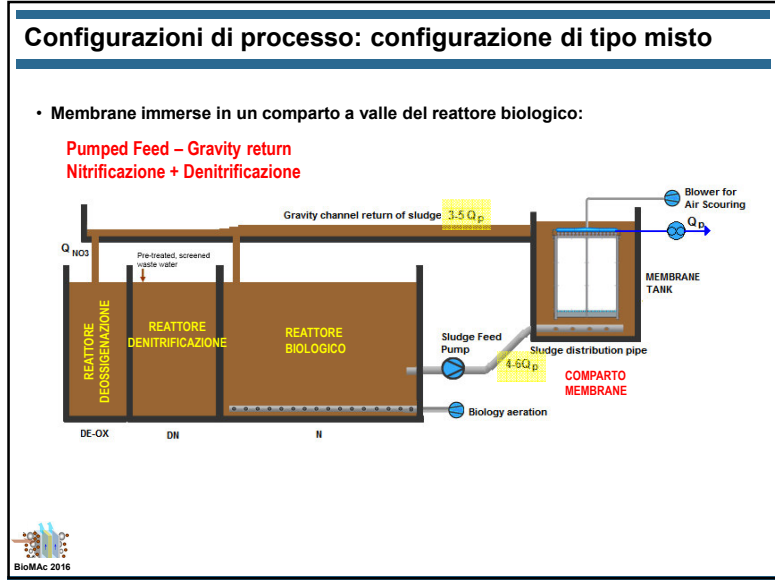
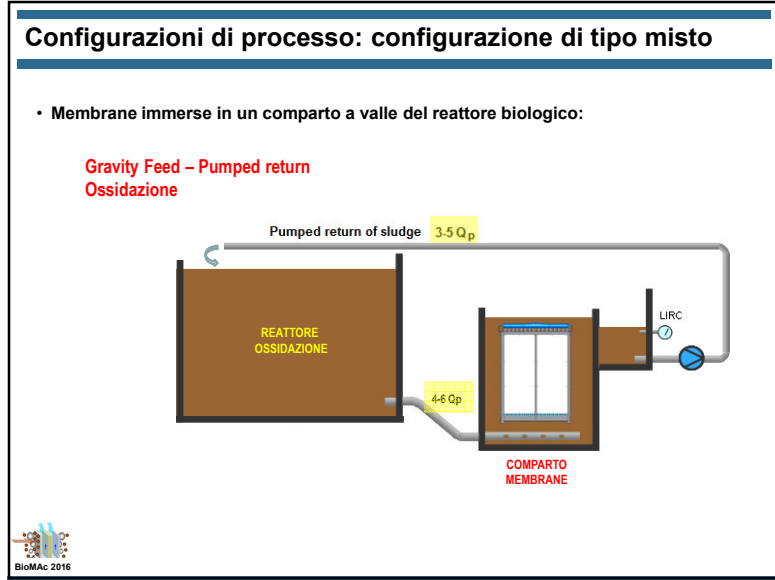
Configurazioni di processo: configurazione di tipo misto

- Membrane immerse in un comparto a valle del reattore biologico:



Sebbene più complessa dal punto di vista impiantistico, consente al contempo, di limitare il *fouling* e i costi energetici.





Tipologie di membrane: Fibre cave (HF)

Le fibre cave sono orientate verticalmente e sono dotate di un sistema di aerazione integrato alla base del modulo stesso.

Le fibre sono solitamente non tese e pertanto libere di fluttuare. Il permeato fluisce dall'esterno all'interno delle fibre e si raccoglie in un collettore (parte sommitale o inferiore del modulo).

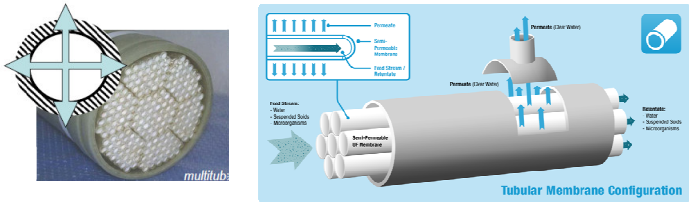
Applicazioni:

- impianti a configurazione sommersa;
- trattamenti di reflui industriali e civili;
- installazioni di grandi dimensioni.

BioMac 2016

Tipologie di membrane: Tubolari

Modulo costituito da un fascio di tubi posti all'interno di un involucro cilindrico (vessel) in acciaio inox o PRFV. Il flusso di permeato avviene dall'interno all'esterno dei tubi (*in-out*).



Applicazioni:

- impianti con configurazione side-stream;
- trattamenti di reflui industriali;
- trattamento di modeste portate.



Tipologie di membrane: Piane (FS)

Gli elementi filtranti (pannelli), vengono montati su un supporto rigido. I pannelli sono dotati di una piastra di supporto in plastica, al quale la membrana viene saldata da entrambe le estremità. Il permeato fluisce dall'esterno all'interno e si raccoglie in un collettore (parte sommitale del modulo).

Forma prevalentemente rettangolare



Applicazioni:

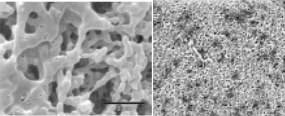
- impianti a configurazione sommersa;
- trattamenti di reflui industriali e civili;
- potenzialità medio-piccole (semplicità operativa).



Materiali costruttivi

- Membrane polimeriche organiche (CA, PVDF, PAN, PES)
- Membrane inorganiche (ceramiche, TiO₂, Al₂O₃)

I **materiali polimerici organici** hanno una buona resistenza chimica e meccanica, e sono idrofobici (maggiore propensione al fouling).



Le **membrane inorganiche ceramiche** hanno una maggiore resistenza chimica e una ridotta resistenza meccanica. Il loro uso è limitato ad applicazioni industriali (costi elevati).



Esistono anche **membrane idrofile al carburo di silicio (SiC)** particolarmente adatte al trattamento di reflui contenenti idrocarburi.



Progettazione: pretrattamenti

Un efficace sistema di pretrattamenti è assolutamente necessario in un impianto MBR per proteggere la membrana da danni meccanici e occlusioni (*debris-fouling*).



Caratteristiche richieste:

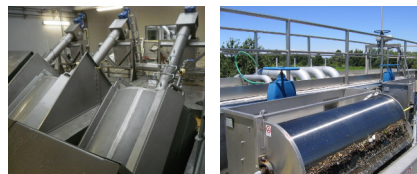
- efficace rimozione di materiali abrasivi e fibrosi;
- rimozione di oli e grassi (*foulants*).



Progettazione: unità di grigliatura

Le tipologie di griglie vanno scelte in maniera opportuna in funzione della tipologia di membrana installata

Grigliatura fine	2÷3 mm	Membrane piane (FS)
Stacciatura	< 1÷2 mm	Membrane a fibre cave (HF)



Le griglie maggiormente utilizzate sono quelle a **coclea** e a **tamburo rotante** (frequente rimozione del materiale grigliato).

Luci di passaggio circolari (maggiore efficacia verso i materiali fibrosi).



Progettazione: dissabbiatura/disoleatura

Obiettivi: rimozione degli oli e dei grassi e di particelle abrasive

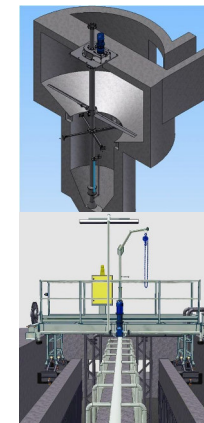
Soluzioni applicabili:

• **Dissabbiatori centrifughi:**

Minore efficacia di rimozione degli inerti e dei grassi (piccole applicazioni)

• **Dissabbiatori aerati**

Sufficienti rendimenti di rimozione di oli e grassi (adatti per grandi applicazioni)



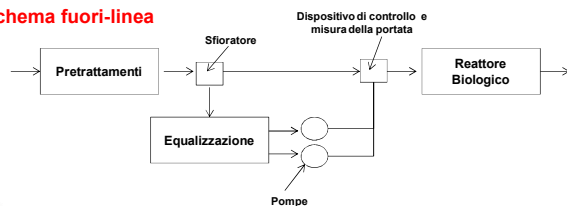
Progettazione: equalizzazione

Obiettivi: garantire flussi di alimento il più uniformi possibile

Schema in linea



Schema fuori-linea



Progettazione: equalizzazione - dimensionamento

Dimensionamento:

- si segue il dimensionamento classico per le vasche di compenso (costruzione curve dei volumi);
- si considerano le condizioni in tempo di pioggia (condizione più gravosa per i volumi);
- si assume che la portata massima in ingresso al biologico sia pari a $r'_q = 2,5 \div 3 Q_{n,m}$;
- il flusso di permeato può essere aumentato in tempo di pioggia, per periodi limitati, fino a un valore prossimo a $J_{max,p} = 35-40 \text{ L/(m}^2\cdot\text{h)}$ nel caso di membrane a fibre cave, mentre a circa $130-150 \text{ L/(m}^2\cdot\text{h)}$ nel caso di membrane in configurazione *Side-stream*;
- fissato tale valore massimo ($J_{max,p}$), e fissata la durata massima di suzione al flusso $J_{max,p}$ (da 8 a 24 ore), dal bilancio dei volumi si ricava il volume di compenso.



Progettazione: equalizzazione – sistema di miscelazione

Sistemi di miscelazione:

Poiché la concentrazione di solidi sospesi totali negli impianti MBR è maggiore rispetto a un sistema convenzionale a fanghi attivi, la scelta del sistema di miscelazione è un aspetto molto delicato.

I mixer sommersi sono quelli maggiormente utilizzati (facilità di installazione e manutenzione);

Dimensionamento: parametri da calcolare → spinta idrodinamica e potenza da dissipare.

$$F = K \cdot \frac{V^2}{2} \cdot \rho \cdot A$$

$$P = \mu \cdot G^2 \cdot V$$

K: fattore di perdita e di forma (funzione del diametro dell'elica e della geometria della vasca);

A: proiezione dell'area di flusso (funzione del diametro dell'elica);

ρ: densità del fluido;

v: velocità di rotazione dell'elica (2-2,7 m/s).

P: è la potenza dissipata;

G: è il gradiente medio di velocità (20-70 s⁻¹)

μ: viscosità del fluido;

V: volume della vasca



Progettazione: Sistemi di miscelazione

REQUISITI DEL SISTEMA DI MISCELAZIONE:

- Evitare formazione di zone morte e cortocircuiti idraulici (bassi HRT);
- Limitazione delle velocità periferiche per non danneggiare i fiocchi;

MISCELATORI MECCANICI AD ASSE VERTICALE:

Potenza specifica ≈ 10-15 W/m³

MIXER SOMMERSI AD ELEVATA EFFICIENZA:

Potenza specifica ≈ 5 W/m³



MIXER sommerso con anello convogliatore



MIXER sommerso a pale

Scelta consigliabile: utilizzare mixer sommersi dotati di anello convogliatore.

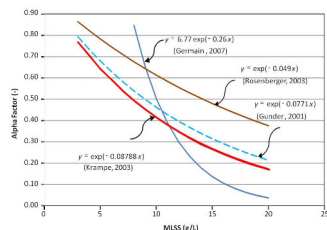


Progettazione: sistema di aerazione - obiettivi

- Fornitura di ossigeno per il fabbisogno biologico (≈ 0,12 ÷ 0,15 kWh/m³);

- Scouring delle fibre (≈ 0,40 → 0,21 kWh/m³).

La fornitura d'aria per il soddisfacimento del fabbisogno di ossigeno deve tenere conto delle elevate concentrazioni di solidi (bassi valori di α = 0,40 ÷ 0,55).



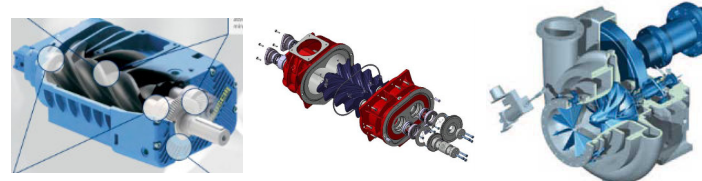
Fornitura d'aria per lo scouring delle fibre = 0,18-0,6 m³/(m²·h)



Progettazione: sistema di aerazione - soffianti

Tipologia di soffianti:

- a vite (portate da 200÷3000 m³/h);
- a lobi ritorti (portate da 100÷4000 m³/h);
- compressori centrifughi (portate fino a 6000 m³/h);
- turbocompressori (portate da 4000 a 15000 m³/h).



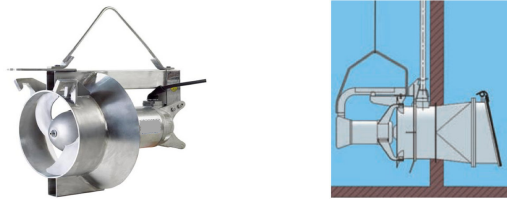
Quando possibile, è consigliato l'utilizzo di compressori centrifughi e turbocompressori che consentono un maggiore controllo delle portate erogate anche al variare della viscosità della miscela aerata.



Progettazione: sollevamento dei fanghi

I consumi energetici legati al sollevamento dei fanghi negli impianti MBR è circa pari a 0,2 kWh/m³ di permeato, e che questo incida per circa il 10-15% dei costi energetici.

- problematiche connesse alla destrutturazione dei fiocchi e all'aumento del potere "sporicante" del mixed liquor;
- consigliabile l'utilizzo di pompe ad elica a bassa prevalenza in grado di generare elevate portate.



Progettazione: pompe per la suzione e il controlavaggio

Caratteristiche pompe di estrazione del permeato:

- essere sufficientemente delicate per evitare la rottura delle membrane;
- consentire di invertire il flusso.

Tipologia di pompe utilizzabili:

- pompe centrifughe;
- pompe volumetriche;



Consigliabili le pompe volumetriche per:

- possibilità di inversione del flusso;
- maggiore forza di aspirazione;
- minori consumi energetici;
- maggiore flessibilità di installazione;
- precisa regolazione delle portate.

Particolarmente adatte allo scopo sono le pompe a lobi rotativi (minori consumi energetici).

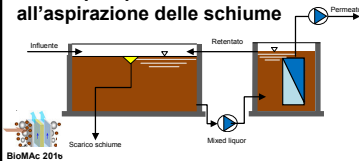


Progettazione: sistemi di estrazione delle schiume

Sebbene esistano dei metodi specifici per la cura e la prevenzione del foaming, è opportuno dotare gli impianti di specifiche apparecchiature:

Dispositivi di evacuazione superficiale della schiuma: stramazzi laterali a livello di sfiore regolabile o mediante inghiottitoi dotati di galleggianti

Sistemi di estrazione in continuo delle schiume: dispositivi costituiti da un telaio guida fisso nel quale scorre un galleggiante, a cui è connessa una canaletta di raccolta delle schiume, collegata a sua volta ad una pompa atta all'aspirazione delle schiume

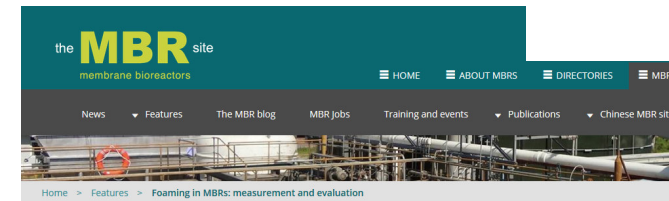


(doc. Topino S.n.c.)



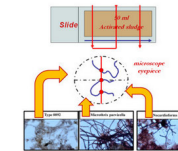
Progettazione: sistemi di estrazione delle schiume

<http://www.thembrsite.com/features/foaming-in-mbrs-measurement-and-evaluation/>



Foaming in MBRs: measurement and evaluation

15 January 2016



Authors

Gaetano Di Bella, Facoltà di Ingegneria e Architettura dell'Università Kore di Enna, Cittadella Universitaria, 94100 Enna, Italy

and

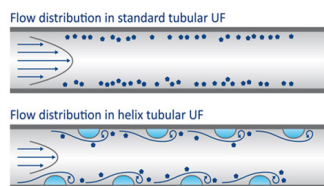
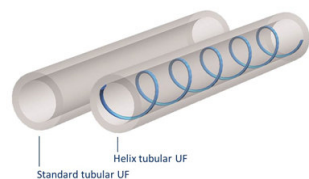
Michele Torregrossa, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali, Università di Palermo, Italy



Soluzioni tecnologiche per la minimizzazione del fouling

I criteri di progettazione degli impianti MBR devono tenere in considerazione l'evoluzione tecnologica delle membrane. La scelta di membrane dal funzionamento "innovativo" può consentire di ottenere notevoli risparmi sia in termini di costi di investimento che operativi.

Membrana con flusso elicoidale



Cresta elicoidale che si sviluppa longitudinalmente all'interno della membrana dello stesso materiale della membrana.

L'aumento della velocità della corrente in corrispondenza della parete della membrana riduce il fouling e migliora la filtrazione.

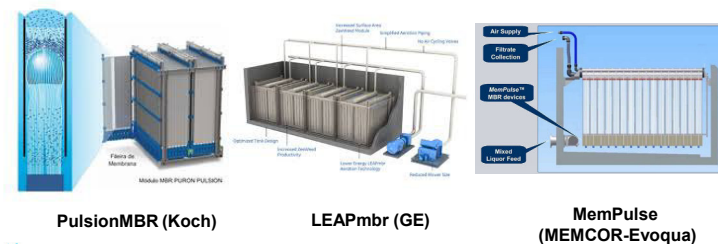


I sistemi "pulsanti"

Applicati alle membrane a fibre cave: si basano sull'immissione di bolle d'aria di grosse dimensioni a intermittenza attraverso il fascio di fibre.

VANTAGGI:

- riduzione del fabbisogno di aria ed energia per lo scouring (40%);
- aumento dei flussi di permeato (20-25%);
- maggiore densità di impaccettamento del modulo (ingombro < 25%).



Controllo del processo di filtrazione

CONTROLLO DI PROCESSO FINALIZZATO A :

- riduzione dei costi operativi;
- salvaguardia dell'integrità della membrana.

STRATEGIE DI CONTROLLO PER LA RIDUZIONE DEL FOULING:

- interruzione periodica della TMP (rilassamento delle membrane);
- *scouring*;
- controlavaggio;
- lavaggi fisici/chimici.

OPERAZIONI EFFETTUATE CON CADENZA PROGRAMMATA



IL CONTROLLO OPERATIVO DEL PROCESSO NON TIENE CONTO DELLE EFFETTIVE PERFORMANCE DI FILTRAZIONE



Automatizzazione del processo

Sistema intelligente di supporto alle decisioni basato sia su conoscenze teoriche ed empiriche sul *fouling*.

Confronto tra dati di permeabilità raccolti in tempo reale e trend di riferimento.

Sensori per il monitoraggio del pH, ORP, ossigeno disciolto, concentrazione di solidi sospesi, temperatura, TMP.



Regolazione di parametri chiave (flusso di permeato, tempi di controlavaggio e portata di controlavaggio, tasso di aerazione, frequenza dei lavaggi fisici e chimici, tasso di ricircolo dei fanghi) e regolazione automatica in funzione delle caratteristiche del refluo influente.



Dimensionamento comparti biologici

- Calcolo partendo dallo stato stazionario per arrivare all'uso di modelli di simulazione dinamica:

(uso di modelli IWA-ASM) opportunamente caratterizzati per gli MBR:

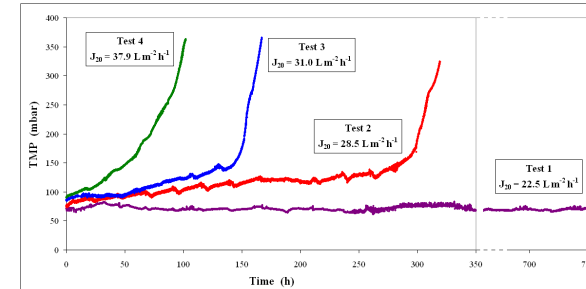
- formazione e degradazione di EPS e SMP;
- ruolo della frazione inerte del COD;
- parametri cinetici di eterotrofi e autotrofi nelle condizioni operative tipiche degli MBR (dimensioni più piccole dei fiocchi di fango, lunghi SRT, presenza di EPS e SMP, selezione di differenti microrganismi) fiocco formatori, batteri a crescita lenta, protozoi)
- *fouling*



Dimensionamento superficie membrane

- Calcolo sulla base di precise scelte condizioni operative $A = Q/J$:

valori di J e J_{max} e durata suzione a J_{max}



Conclusioni

La tecnologia MBR consente di ottenere notevoli vantaggi in termini di qualità dell'effluente rispetto ai sistemi convenzionali.

Il dimensionamento dei reattori può essere condotto con criteri simili a quelli utilizzati nella progettazione dei sistemi convenzionali, ma la progettazione degli impianti MBR deve essere effettuata attuando delle soluzioni volte alla minimizzazione dei costi, sia di investimento che operativi, attraverso scelte progettuali oculate, che vanno dalla scelta della configurazione dei reattori all'impiantistica di processo.



GRAZIE PER L'ATTENZIONE



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

Santo Fabio Corsino

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali
Università degli Studi di Palermo
santofabio.corsino@unipa.it



Michele Torregrossa

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali
Università degli Studi di Palermo
michele.torregrossa@unipa.it

