



Università degli Studi di Napoli
Federico II



Università degli Studi di
Palermo



Università degli Studi di
Salerno



Giornate di Studio

BioMAc 2013

Bioreattori a Membrane (MBR) per la depurazione delle Acque

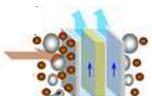
IL FOAMING NEGLI IMPIANTI MBR

Michele Torregrossa
(Università degli Studi di Palermo)

Palermo, 4-5 Luglio 2013

Sommario

- **La schiuma negli impianti a fanghi attivi**
- **Stima dell'entità del fenomeno del *foaming* in impianti MBR**
- **Cause ed effetti del fenomeno del *foaming* in impianti MBR**
- **Interventi operativi proponibili per il controllo del *foaming* in impianti MBR**



La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Schiuma = dispersione di un gas in un mezzo liquido

per dispersione meccanica
della fase gassosa

per insufflazione diretta
di gas in pressione

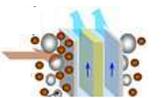
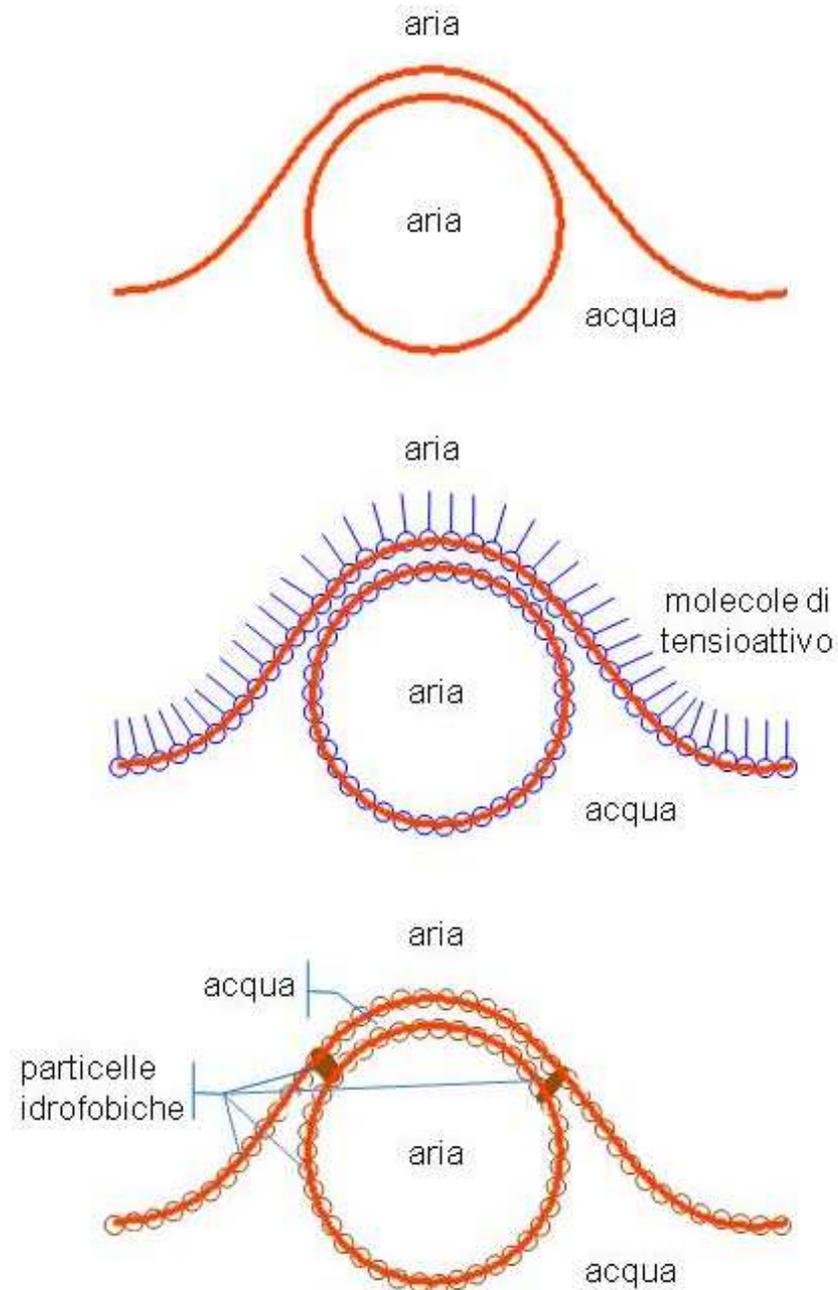


formazione di bolle che tendono a risalire
nell'interfaccia liquido-aria



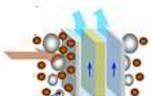
queste, una volta
raggiunta
l'interfaccia
restano
racchiuse
all'interno di un
film liquido

La schiuma negli impianti a fanghi attivi



La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Tipo di schiuma	Caratteristiche
da start-up [fig n.2]	bianca, instabile, temporanea, poca presenza di fango attivo
da tensioattivi	bianca, poca presenza di fango attivo
da carenza di nutrienti	appiccicosa, viscosa
da denitrificazione [fig. 3]	bruna, risalita di "zolle", contiene piccole bolle di gas
da ricircolo solidi/fanghi anaerobici [fig. 4]	aspetto di pietra pomice, torbidità degli effluenti
da microrganismi filamentosi idrofobici [figg. 5-6]	bruna, grandi bolle stabili, grandi quantità di fango attivo



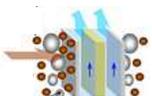
La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Schiuma da start-up



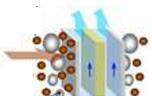
La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Tipo di schiuma	Caratteristiche
da start-up [fig n.2]	bianca, instabile, temporanea, poca presenza di fango attivo
da tensioattivi	bianca, poca presenza di fango attivo
da carenza di nutrienti	appiccicosa, viscosa
da denitrificazione [fig. 3]	bruna, risalita di "zolle", contiene piccole bolle di gas
da ricircolo solidi/fanghi anaerobici [fig. 4]	aspetto di pietra pomice, torbidità degli effluenti
da microrganismi filamentosi idrofobici [figg. 5-6]	bruna, grandi bolle stabili, grandi quantità di fango attivo



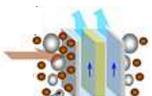
La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Tipo di schiuma	Caratteristiche
da start-up [fig n.2]	bianca, instabile, temporanea, poca presenza di fango attivo
da tensioattivi	bianca, poca presenza di fango attivo
da carenza di nutrienti	appiccicosa, viscosa
da denitrificazione [fig. 3]	bruna, risalita di "zolle", contiene piccole bolle di gas
da ricircolo solidi/fanghi anaerobici [fig. 4]	aspetto di pietra pomice, torbidità degli effluenti
da microrganismi filamentosi idrofobici [figg. 5-6]	bruna, grandi bolle stabili, grandi quantità di fango attivo



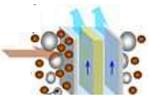
La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Tipo di schiuma	Caratteristiche
da start-up [fig n.2]	bianca, instabile, temporanea, poca presenza di fango attivo
da tensioattivi	bianca, poca presenza di fango attivo
da carenza di nutrienti	appiccicosa, viscosa
da denitrificazione [fig. 3]	bruna, risalita di "zolle", contiene piccole bolle di gas
da ricircolo solidi/fanghi anaerobici [fig. 4]	aspetto di pietra pomice, torbidità degli effluenti
da microrganismi filamentosi idrofobici [figg. 5-6]	bruna, grandi bolle stabili, grandi quantità di fango attivo



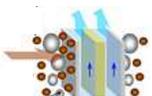
La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Schiuma da denitrificazione (rising)



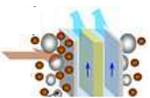
La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Tipo di schiuma	Caratteristiche
da start-up [fig n.2]	bianca, instabile, temporanea, poca presenza di fango attivo
da tensioattivi	bianca, poca presenza di fango attivo
da carenza di nutrienti	appiccicosa, viscosa
da denitrificazione [fig. 3]	bruna, risalita di "zolle", contiene piccole bolle di gas
da ricircolo solidi/fanghi anaerobici [fig. 4]	aspetto di pietra pomice, torbidità degli effluenti
da microrganismi filamentosi idrofobici [figg. 5-6]	bruna, grandi bolle stabili, grandi quantità di fango attivo



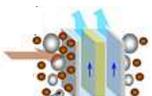
La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Schiuma da ricircolo solidi/fanghi da digestione anaerobica



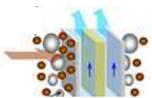
La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Tipo di schiuma	Caratteristiche
da start-up [fig n.2]	bianca, instabile, temporanea, poca presenza di fango attivo
da tensioattivi	bianca, poca presenza di fango attivo
da carenza di nutrienti	appiccicosa, viscosa
da denitrificazione [fig. 3]	bruna, risalita di "zolle", contiene piccole bolle di gas
da ricircolo solidi/fanghi anaerobici [fig. 4]	aspetto di pietra pomice, torbidità degli effluenti
da microrganismi filamentosi idrofobici [figg. 5-6]	bruna, grandi bolle stabili, grandi quantità di fango attivo



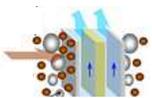
La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Schiuma da microrganismi filamentosi idrofobici



La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Schiuma da microrganismi filamentosi idrofobici



La schiuma negli impianti a fanghi attivi

- Conseguenze -

- elevata probabilità di superamento degli standard allo scarico (per elevato *wash-out* di solidi sospesi);
- minore efficacia nel trasferimento di ossigeno da parte di sistemi di aerazione meccanica superficiale;
- decremento della concentrazione di biomassa nel ricircolo dei fanghi, problemi operativi nella linea fanghi (soprattutto nelle unità di digestione anaerobica);
- possibile incremento di rischio per la sicurezza degli addetti agli impianti (rischio di scivolamento e rischio igienico).



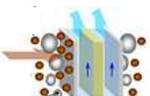
La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Formazione di schiuma negli impianti MBR

Considerando le diversità di configurazione tra un impianto convenzionale e un impianto MBR, è possibile affermare che, certamente, un fenomeno di *foaming* biologico, qualora accadesse, non provocherebbe gli stessi inconvenienti.

La barriera fisica costituita dalla membrana non consente fuoriuscita di solidi con l'effluente trattato

QUALITÀ PERMEATO
INALTERATA !



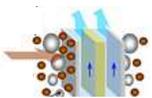
La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Formazione di schiuma negli impianti MBR

Tuttavia, essendo un MBR una trappola perfetta per la schiuma...

....l'entità del fenomeno non può che aumentare e quindi...

... È NECESSARIO FARE LUCE SULLE POSSIBILI INTERAZIONI TRA AGENTI SCHIUMOGENI E STABILIZZANTI DELLE SCHIUME, INTRAPPOLATI NEL BIOREATTORE E LE MEMBRANE.



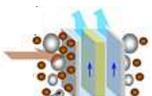
La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Formazione di schiuma negli impianti MBR

Primi studi: *Nakajima e Mishima (2005)*

“La produzione di EPS da parte degli organismi foam-forming, comporta una rapida formazione di fouling sulle membrane”, cosa che ne riduce in modo rilevante la vita utile, con i conseguenti incrementi dei costi di esercizio.

Altri studi sono stati condotti ma, allo stato attuale, **pochi passi avanti sono stati fatti nella comprensione delle cause scatenanti le schiume negli impianti MBR** e, tutt'oggi, si dispone di poche evidenze sperimentali circa l'influenza del *foaming* sul *fouling*.



La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Formazione di schiuma negli impianti MBR

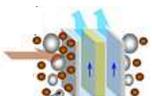
Unica causa certa:

il passaggio in soluzione di grandi quantità di EPS rilasciati dalla biomassa in condizioni di stress.

FENOMENO CHE PUÒ MANIFESTARSI:

- con estrema rapidità
- anche in assenza di agenti tensioattivi provenienti con l'influyente
- senza che si sviluppino consistenti quantità di microrganismi filamentosi idrofobici *foam-forming*.

SITUAZIONI CRITICHE: in impianti MBR a completa ritenzione di solidi (età del fango □) o trattanti reflui ad elevata salinità.



La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Formazione di schiuma negli impianti MBR

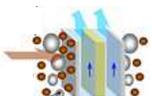
In assenza di microrganismi *foam-forming* e apporti di agenti tensioattivi, il fenomeno è attribuibile alle elevate concentrazioni di EPS, prevalentemente proteiche.

In realtà, alcuni tipi di schiuma sembrano essere prodotte da proteine extracellulari, che hanno proprietà di agenti tensioattivi.

NE CONSEGUE CHE
gli stessi EPS, noti per causare il *fouling* della membrana sono quindi agenti schiumogeni.



STRETTA CORRELAZIONE TRA *FOULING* E *FOAMING*

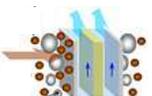


La schiuma negli impianti a fanghi attivi

Formazione di schiuma negli impianti MBR

La presenza di microrganismi filamentosi e tensioattivi giunti con lo scarico possono aumentare la concentrazione di EPS nel mixed liquor e peggiorare la formazione di *fouling* e, contemporaneamente, fenomeni di formazione di schiuma.

E' quindi importante valutare il ruolo degli EPS nella formazione delle schiume e il ruolo di queste ultime nella azione di sporcamento delle membrane.



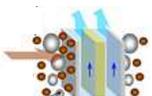
Stima dell'entità del fenomeno del foaming in impianti MBR

METODI

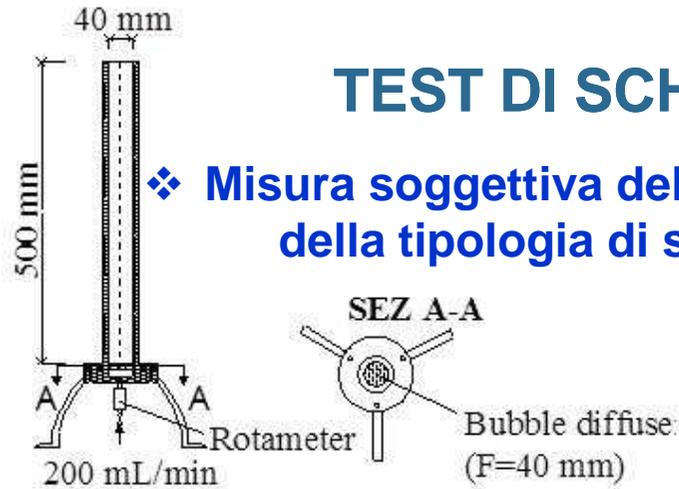
- TEST DI SCHIUMEGGIAMENTO (*Foam test*)
- ANALISI CHIMICO-FISICHE SPECIFICHE
- ANALISI MICROSCOPICA MICRORGANISMI FILAMENTOSI E FISH

Alcuni di questi metodi sono già utilizzati per la valutazione del foaming in impianti convenzionali (CAS), ma vanno adattati opportunamente alla diversa composizione della schiuma da MBR.

Altri sono stati importati da altri settori industriali e utilizzati specificatamente per la schiuma di MBR.



Stima dell'entità del fenomeno del foaming in impianti MBR

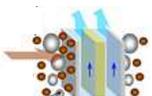


TEST DI SCHIUMEGGIAMENTO: **FOAM RATE**

(Blackall et al., 1991)

❖ Misura soggettiva della qualità e della tipologia di schiuma

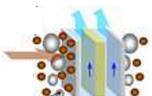
FR	Effetti
0	Reazione all'aerazione come per l'acqua pura. Le bolle si rompono in superficie e non sono in grado di formare schiuma o non hanno stabilità.
1	1-3 cm di schiuma con bolle fragili, mal formate. Stabilità insufficiente. Crollo immediato dello strato di schiuma all'arresto dell'aerazione.
2	Film intermittenti sufficientemente stabili per durare un tempo >5-10 s, solitamente generati da una struttura fragile. Schiuma di altezza limitata. Film instabili all'arresto dell'aerazione.
3	Formazione di schiuma di una certa consistenza (bolle di dimensione di circa 1 cm – altezza schiume 3-8 cm). Non frequente formazione di film regolare. Schiume semi-stabili all'arresto dell'aerazione. Persistenza bolle: 10-30 s.
4	Inizialmente 8-15 cm di schiuma (bolle con diametro di 1 cm) con film stabili essendo formate ad intervalli regolari. Corpo della schiuma e film stabili per 3-5 min dopo l'arresto dell'aerazione.
5	Condizioni stabili; strato di schiuma di 5-10 cm di altezza in 2 minuti, dopo di che crollo a 3-5 cm di altezza, divenendo stabile quando l'aerazione viene interrotta. Nessuna formazione di film.
6	Stabile schiuma di 15-30 cm di altezza senza film. Dimensione delle bolle circa 0,5 cm durante la produzione.
7	Schiuma stabile densa di spessore > 30 cm dopo 2 minuti di aerazione. Dimensione delle bolle di circa 0,3 cm durante la produzione di schiuma e max. 1 centimetro di diametro. Schiuma sufficientemente stabile da non mostrare alcuna variazione di altezza in 10-15 minuti dopo che l'aerazione viene interrotta.



Stima dell'entità del fenomeno del foaming in impianti MBR

TEST DI SCHIUMEGGIAMENTO: **FOAM POWER**

Nakajima e Mishima (2005)



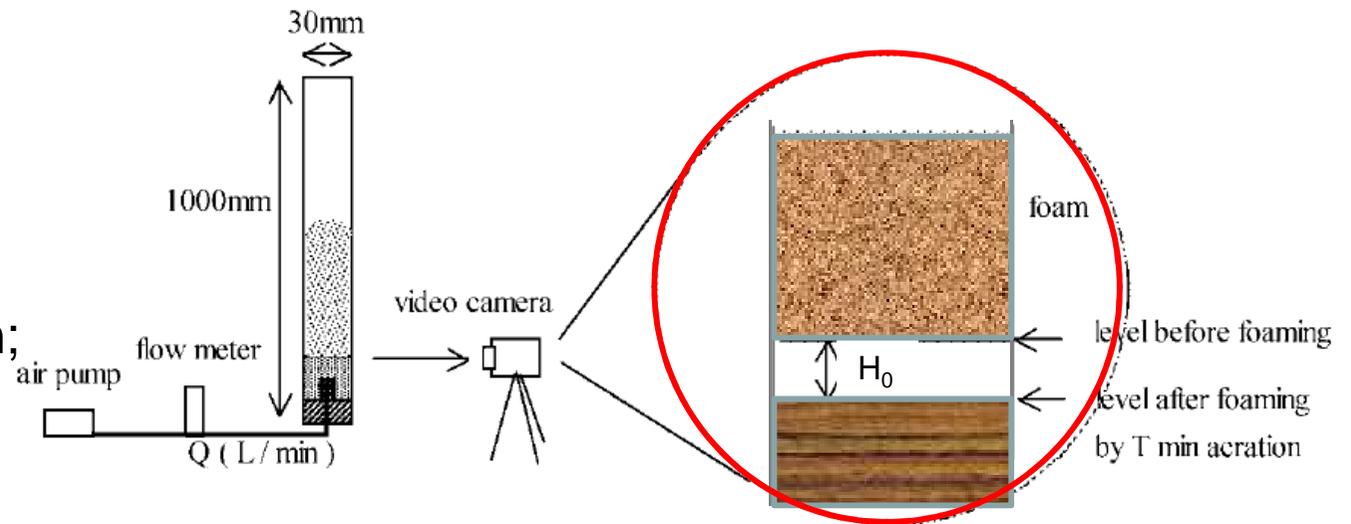
Stima dell'entità del fenomeno del foaming in impianti MBR

TEST DI SCHIUMEGGIAMENTO: **FOAM POWER**

Nakajima e Mishima (2005)

❖ Misura diretta del potenziale di schiumeggiamento

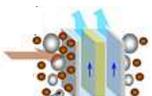
- ❑ 100 ml di mL posti in una cella di flottazione dal diametro di 3 cm;
- ❑ Aerazione dal basso 5 l/min;
- ❑ Misura dell'interfaccia schiuma-liquido.



Measure the interface level of the sample liquid

$$P = \frac{H_0 \times A}{Q \times T} \quad [\text{ml/l}]$$

- H_0 = differenza tra livelli interfaccia liquido-schiuma, prima e dopo l'aerazione
- A = area cilindro ($7 \text{ cm}^2 - \varnothing 30 \text{ mm}$);
- Q = portata d'aria ($5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$)
- T = tempo di aerazione (30 s)

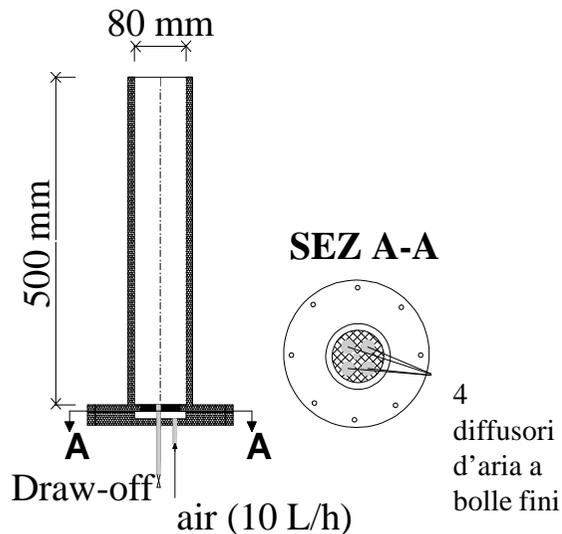


Stima dell'entità del fenomeno del foaming in impianti MBR

TEST DI SCHIUMEGGIAMENTO: **SCUM INDEX**

(Pretorius and Laubscher, 1987)

❖ Stima la quantità di schiuma prodotta

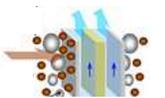


FLOTTAZIONE SELETTIVA

- cella di flottazione cilindrica trasparente (altezza di 500 mm, diametro interno di 80 mm);
- campione di miscela aerata di 2 L;
- aerazione con $Q_{\text{aria}} = 10 \text{ L}_{\text{aria}} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
- durata aerazione: 15 minuti

Durante l'aerazione si forma uno strato di schiuma stabile.

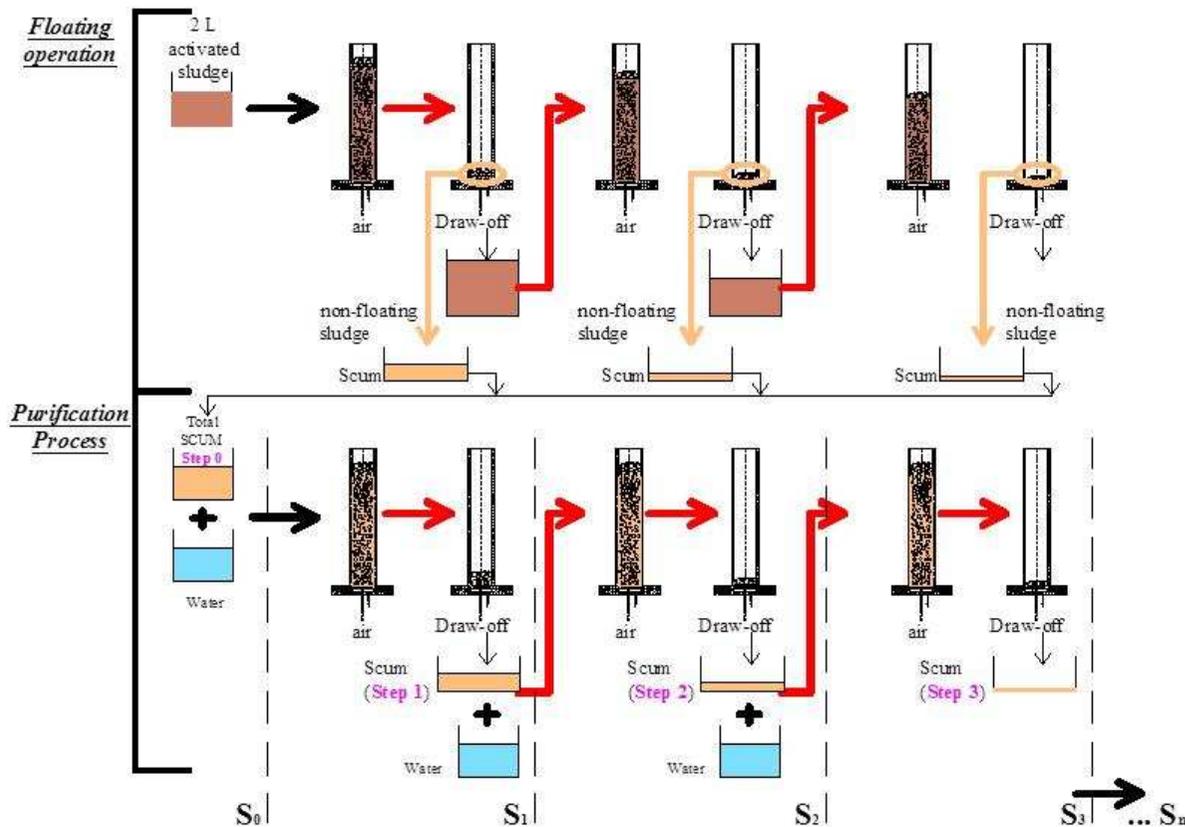
Al termine del periodo di aerazione lo strato di schiuma viene separato dal fango non flottato drenando la miscela aerata attraverso lo scarico di fondo fino a lasciare nella cella, praticamente, solo lo strato di schiuma.



Stima dell'entità del fenomeno del foaming in impianti MBR

TEST DI SCHIUMEGGIAMENTO: SCUM INDEX

(Pretorius and Laubscher, 1987)

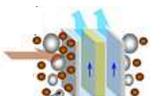


La schiuma viene rimossa dalla cella attraverso risciacqui successivi e viene accumulata a parte e conservata.

La miscela aerata drenata, viene sottoposta ad un nuovo ciclo di aerazione e, come per il primo ciclo, alla fine si ha la separazione tra fango flottato e miscela aerata rimasta.

Il processo viene più volte ripetuto fino a quando viene a formarsi una quantità insignificante di schiuma superficiale.

Al termine, si effettua la determinazione gravimetrica della massa secca, costituita dalla schiuma recuperata e, così, è possibile determinare il valore di SI attraverso la relazione:



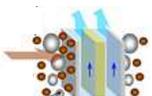
Stima dell'entità del fenomeno del foaming in impianti MBR

TEST DI SCHIUMEGGIAMENTO: **SCUM INDEX**

(Pretorius and Laubscher, 1987)

$$SI = \frac{\text{Massa di schiuma recuperata}}{\text{Massa di SS inizialmente presente}} \times 100 \quad [\%]$$

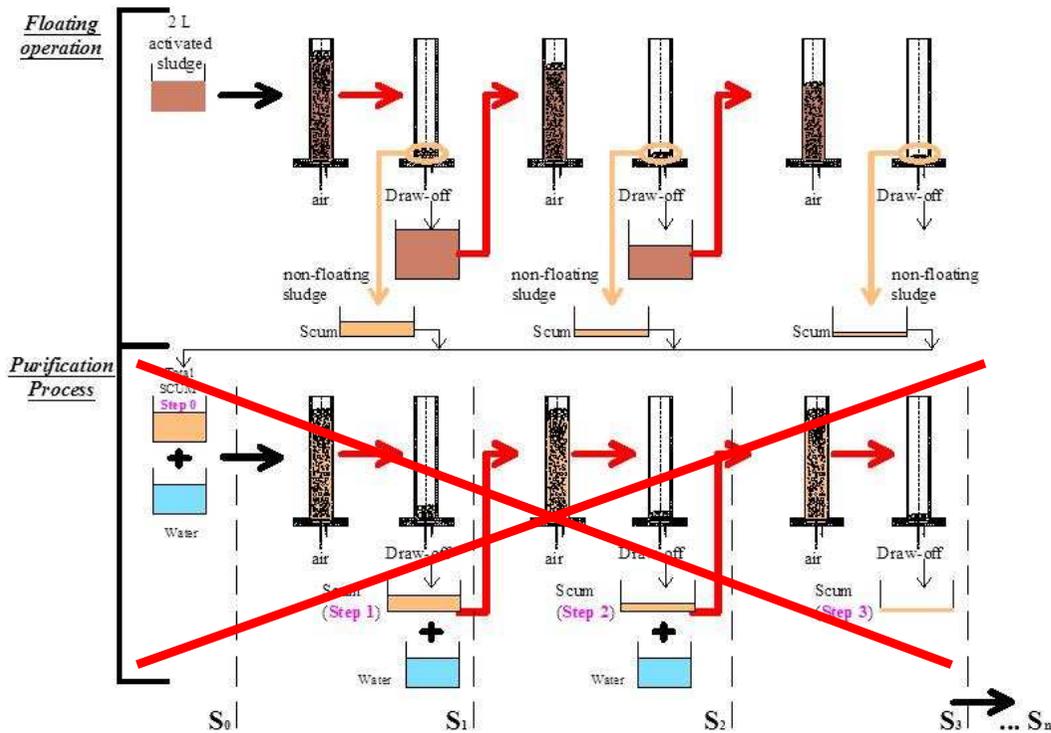
Range [%]	Gravità osservata della problema della schiuma eseguendone flottazione, separazione e purificazione SI
0–5	bassa
5–10	moderata
10–15	seria
> 15	disastrosa



Stima dell'entità del fenomeno del foaming in impianti MBR

TEST DI SCHIUMEGGIAMENTO: SCUM INDEX MODIFICATO

(Di Bella e Torregrossa, 2013)

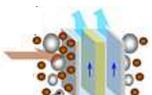


Per definire il ruolo specifico della concentrazione di EPS nel fango attivo di reattori MBR formazione di schiuma, il metodo originale è stato leggermente modificato.

Si considera il risultato della "sola" operazione di flottazione (senza le seguenti operazioni di diluizione o purificazione) che viene indicato con SI*. parte e conservata.

$$SI^* = \frac{\text{Massa di schiuma recuperata}}{\text{Massa di SS inizialmente presente}} \times 100 \quad [\%]$$

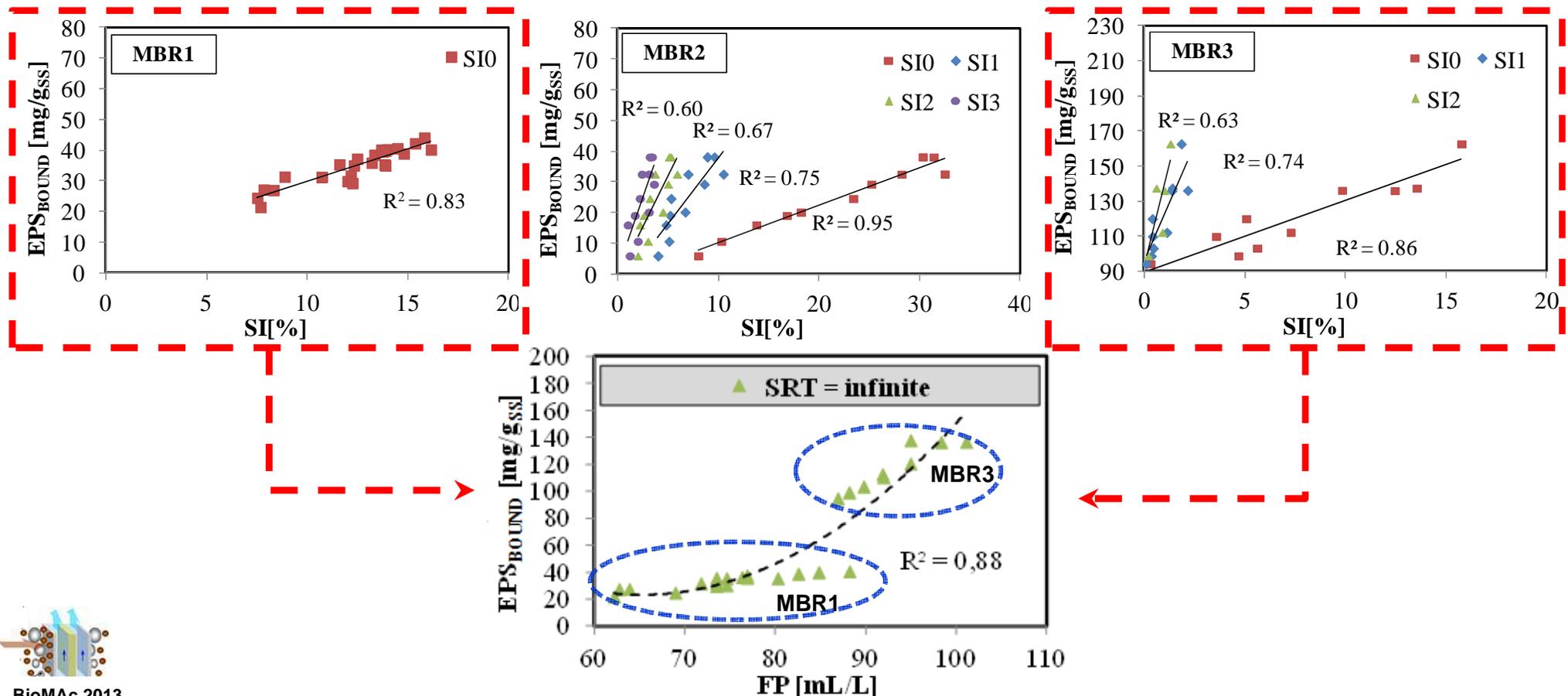
Range [%]	Effetto delle EPS sul problema della schiuma prima della purificazione SI*	Gravità osservata della problema della schiuma eseguendone flottazione, separazione e purificazione SI
0-5	da assente a moderata	bassa
5-10	da moderata a seria	moderata
10-15	da seria a disastrosa	seria
> 15	disastrosa	disastrosa



Stima dell'entità del fenomeno del foaming in impianti MBR

TEST DI SCHIUMEGGIAMENTO: **RISULTATI**

L'analisi di tre casi di foaming accaduti in tre impianti MBR pilota, MBR1, MBR2 e MBR3, operati rispettivamente con età del fango □, 36 giorni e □ (Di Bella e Torregrossa, 2013), ha mostrato che il test SI* è ben correlato alla concentrazione di EPS_{BOUND} misurata nel fango attivo. Il FP cresce al crescere degli EPS_{BOUND}



Stima dell'entità del fenomeno del foaming in impianti MBR

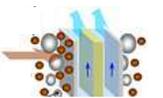
ALTRI METODI

Misura delle superfici coperte da schiuma:

Buoni risultati, tuttavia, poiché il grado apparente di copertura schiuma nelle vasche a fanghi attivi è influenzato da:

- configurazione dei reattori;
- tipologia dei sistemi di aerazione;
- presenza di trappole;
- ricircoli
- presenza di zone a bassa turbolenza (accumulo).

Questa variabile deve essere usata con estrema cautela e, comunque, va correlata ad altri parametri, quali lo spessore e la stabilità della schiuma (Fryer e Gray, 2012).



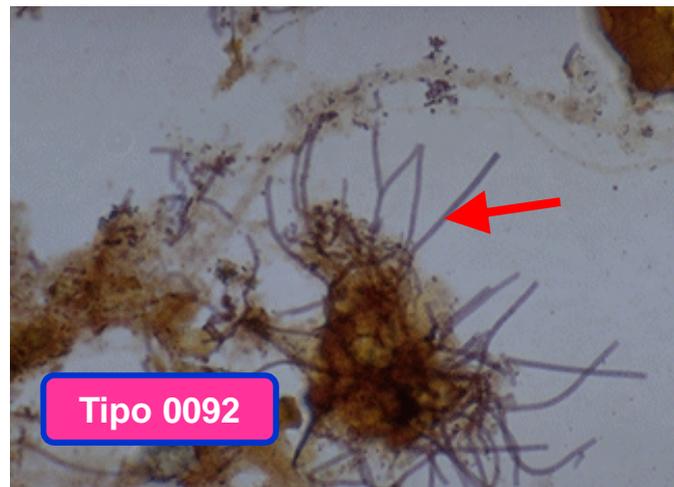
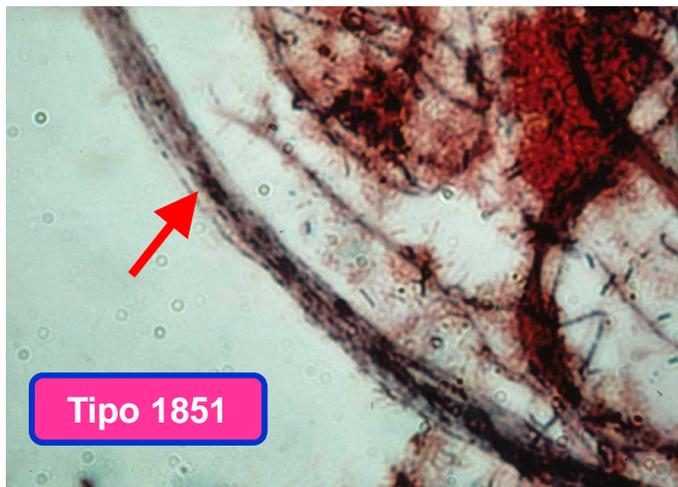
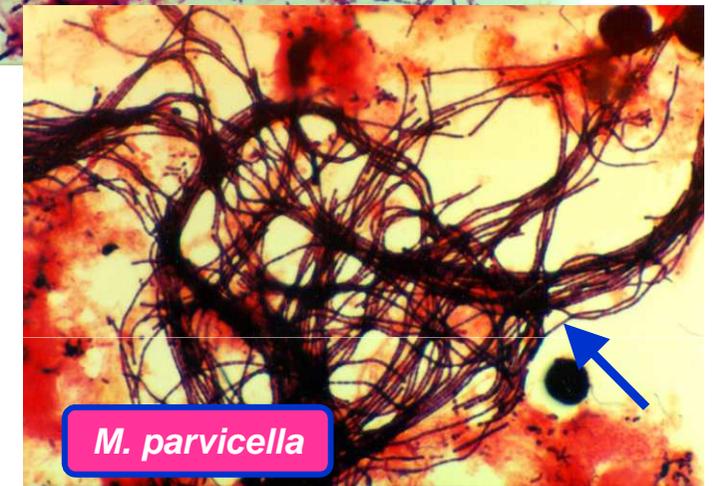
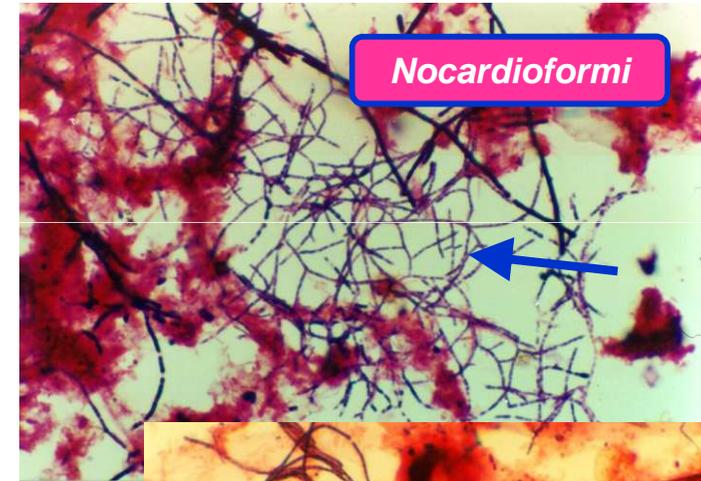
Stima dell'entità del fenomeno del foaming in impianti MBR

ALTRI METODI

Esame microscopico dei fanghi attivi :

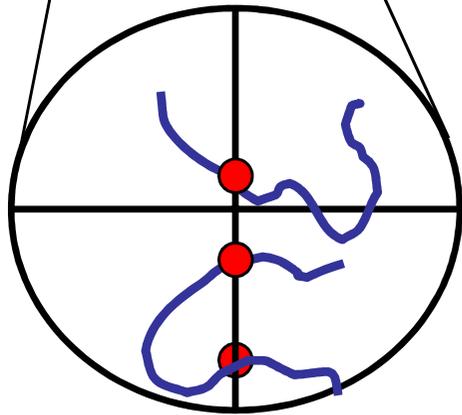
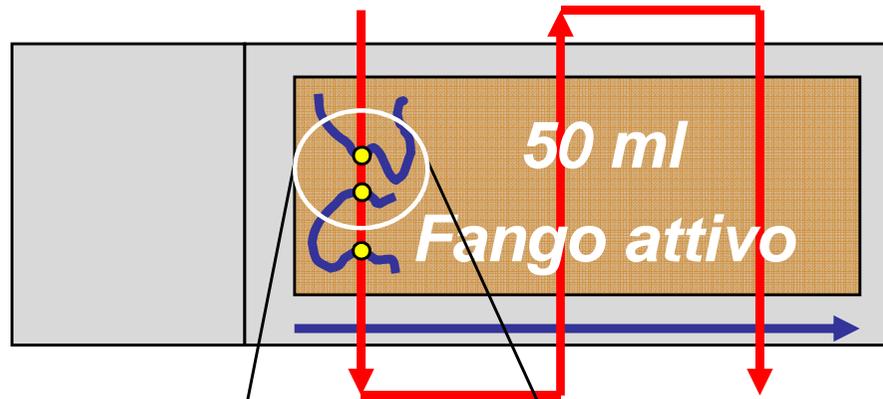
Sono riportati casi in cui le schiume biologiche sono assai ricche di batteri filamentosi gram-positivi (Nocardioformi e *Microtrhix parvicella*), notoriamente *foam-forming* ...

... e ancor più casi in cui a dominare sono i "non-famosi" *foam-forming* (Lemmer et al., 2005), come i morfotipi di Eikelboom Tipo 0092 and Tipo 1851.



Stima dell'entità del fenomeno del foaming in impianti MBR

QUANTIFICAZIONE SPECIE BATTERICHE FOAM - FORMER



Oculare

$$NIN = \frac{X_{med} \times 220}{SSV \times 50} \times 10^6$$

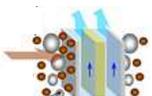
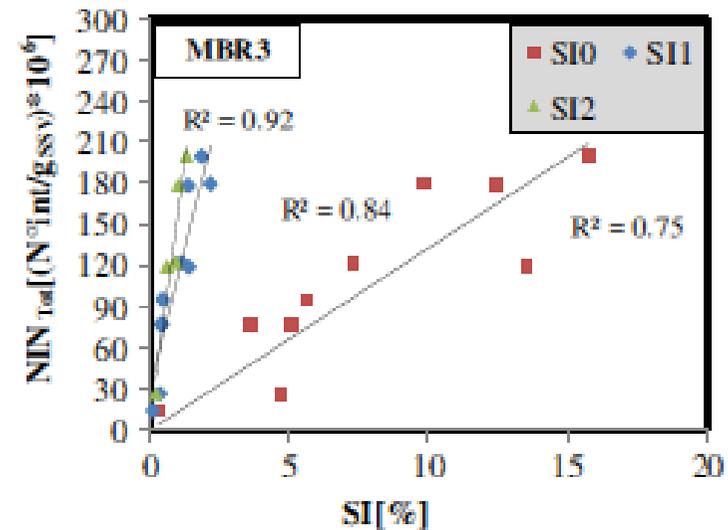
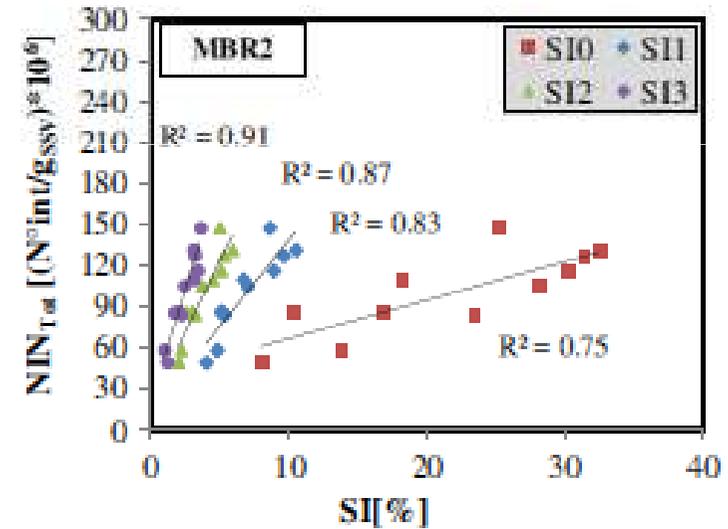
**Numero di
Intersezioni Normalizzato**

Stima dell'entità del fenomeno del foaming in impianti MBR

EFFETTO MICRORGANISMI + EPS

Contemporanea presenza di $\text{EPS}_{\text{BOUND}}$ e batteri filamentosi *foam-forming*:

Quando presenti, i batteri filamentosi *foam-forming* operano in modo da peggiorare la gravità e la consistenza della schiuma.



Cause ed effetti del fenomeno del foaming in impianti MBR

CAUSE

Risultati delle esperienze riportate in letteratura:

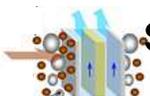
Età del fango assai elevate.

Formazione di schiuma significativamente influenzata dalla concentrazione di EPS_{BOUND} nei fanghi.

Quando alla presenza di EPS_{BOUND} si associa la presenza e la crescita di batteri filamentosi, *foam-forming*, la quantità e la stabilità della schiuma aumentano.

A tutt'oggi, non è noto il contributo dei batteri *foam-forming* ai fini della valutazione del fenomeno.

Se i batteri *foam-forming* risultano totalmente assenti o la loro quantità è poco significativa, la formazione di schiuma dipende esclusivamente dalle concentrazioni di EPS nel mixed liquor, che condizionano la formazione di schiuma, ma non la sua stabilità.



Cause ed effetti del fenomeno del foaming in impianti MBR

CAUSE

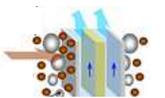
Risultati delle esperienze riportate in letteratura:

Consistenti fenomeni di *foaming* si sono manifestati in impianti MBR a causa dell'elevata salinità (Reid et. al, 2006), provocata, per esempio, dall'intrusione di acque marine nelle condotte fognarie.



Tale fenomeno è più consistente quando si hanno brusche variazioni di salinità piuttosto che una condizione cronica, stante l'elevata capacità della biomassa ad adattarsi alle condizioni di stress indotte dalla salinità.

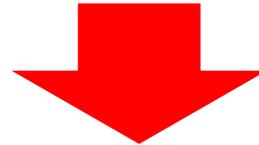
In tali condizioni si determina una rapida espulsione di EPS dalle cellule batteriche che comporta un rapido incremento del *fouling*.



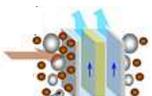
Cause ed effetti del fenomeno del foaming in impianti MBR

EFFETTI

La letteratura tecnica ha finora riportato una potenziale tendenza all'aumento del *fouling* all'aumentare del *foaming*, stante che entrambi i fenomeni sono fortemente influenzati dagli EPS.



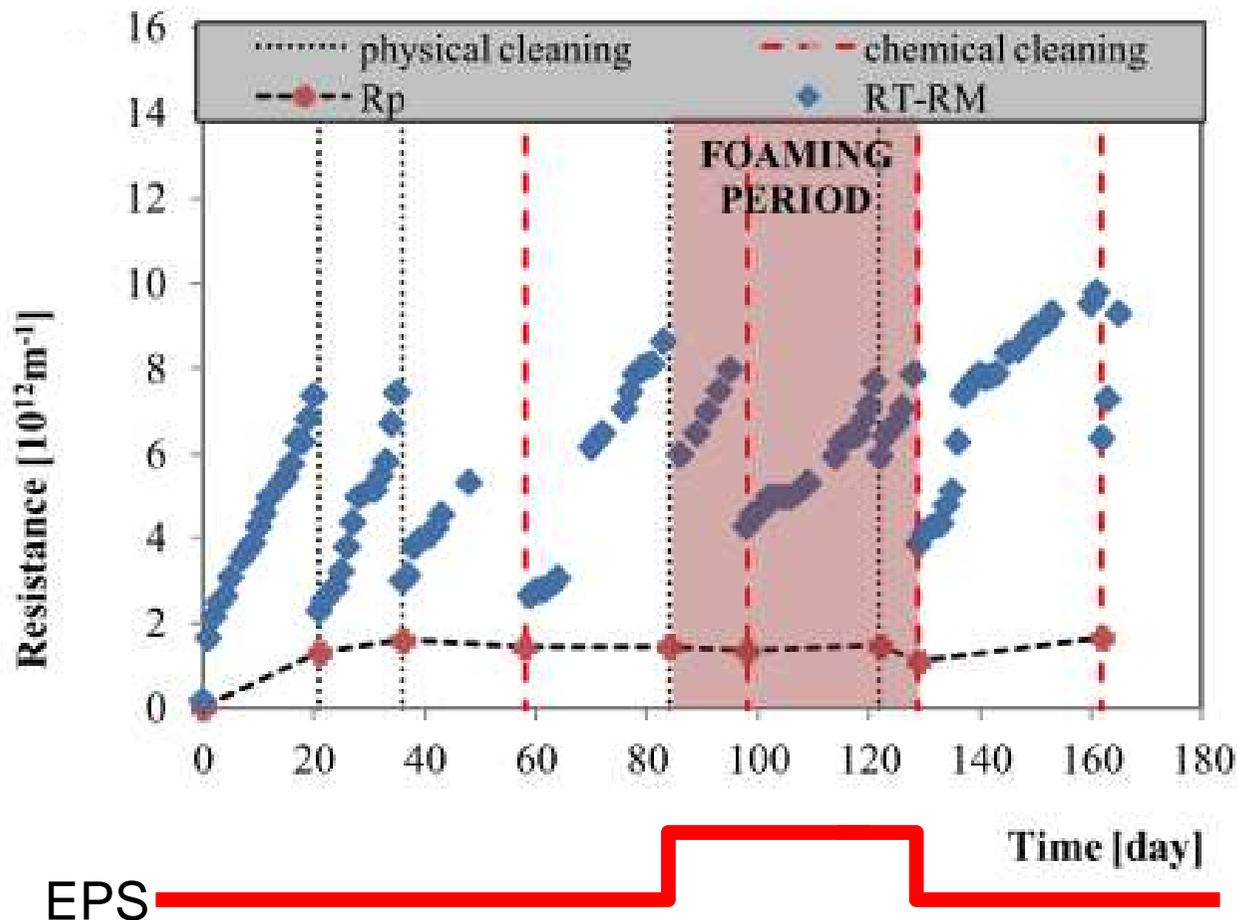
è ritenuto che la formazione di schiuma è un fenomeno indicatore dell'aumentata concentrazione di EPS e, quindi, potenzialmente anche dell'aumento del *fouling* (Judd and Judd, 2010)



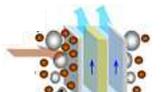
Cause ed effetti del fenomeno del foaming in impianti MBR

EFFETTI

Tuttavia, recenti esperienze condotte dal gruppo di Ingegneria Sanitaria-Ambientale dell'Università di Palermo, fatte operando un impianto pilota MBR con configurazione UCT hanno consentito di osservare che:



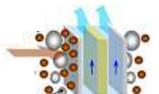
Tale circostanza potrebbe essere attribuita al fatto che una consistente frazione di EPS, man mano che la schiuma si forma, resta intrappolata in questa, venendo così ad essere sottratta, di fatto, dalla miscela aerata che va a contatto con le membrane, riducendo così l'effetto sporcante.



Interventi operativi per controllo foaming in impianti MBR

PECULIARITÀ DEGLI MBR

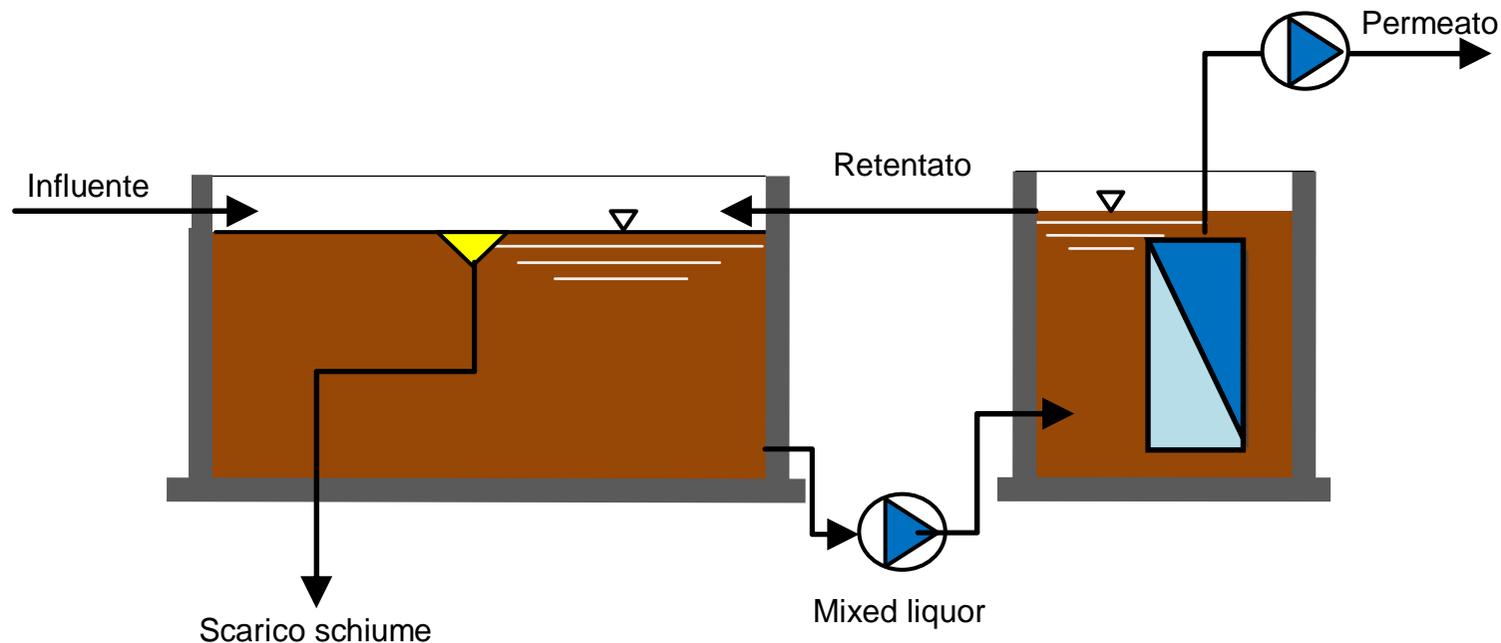
Per il controllo delle schiume in impianti MBR non possono essere utilizzati polimeri non specificatamente testati e/o altri agenti perché potrebbero causare un incremento nell'intasamento delle membrane e/o un deterioramento di queste a causa di un uso eccessivo.



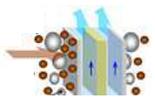
Interventi operativi per controllo foaming in impianti MBR

LAYOUT

È consigliato ai progettisti di prevedere un collegamento tra reattore biologico e comparto membrane a mezzo di elettropompe al fine di innalzare la quota piezometrica all'interno del comparto membrane, così da garantire una corrente di ritorno al reattore a gravità, con derivazione superficiale.

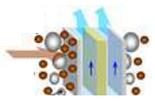
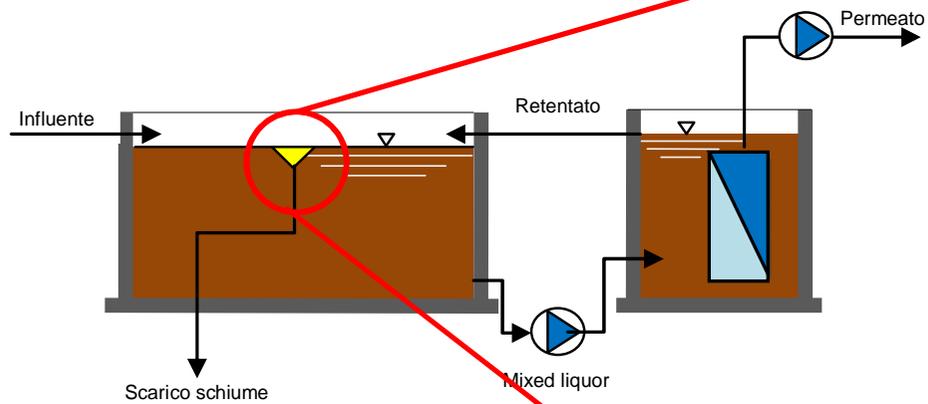


In tal modo le schiume formatesi nel comparto membrane ritornano nel reattore biologico dove, dovranno essere previsti uno o più dispositivi di rimozione della schiuma costituiti da stramazzi di superficie.



Interventi operativi per controllo foaming in impianti MBR

LAYOUT

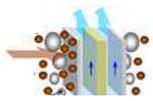


Interventi operativi per controllo foaming in impianti MBR

Nel caso in cui i microrganismi filamentosi idrofobici operino sinergicamente con gli EPS per la formazione della schiuma, è possibile prevedere l'inserimento nello schema d'impianto di un selettore.

Può essere previsto, in casi di entità intollerabile, anche il dosaggio di cloro che va spruzzato sulla superficie dei reattori.

In alcuni casi di innalzamento occasionale della salinità dei reflui e conseguente formazione di schiuma, sono stati utilizzati polimeri specificamente commercializzati per il miglioramento della permeabilità delle membrane (es.: *Nalco – PermaCare MPE50*) che hanno avuto come effetto, oltre alla riduzione della frequenza di pulizia delle membrane, anche la scomparsa delle schiume.





**Grazie per
l'attenzione**



Michele Torregrossa

*Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale,
Aerospaziale, dei Materiali*

UNIVERSITÀ DI PALERMO

michele.torregrossa@unipa.it

