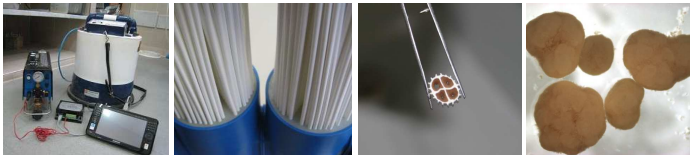


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

Applicazione di trattamenti avanzati nel campo delle acque reflue, dei rifiuti e dei siti contaminati: esperienze di campo e di laboratorio



Formative Seminars for UniPA Students
22 maggio 2015

Ing. Daniele Di Trapani
daniele.ditrapani@unipa.it

DICAM

Sommario

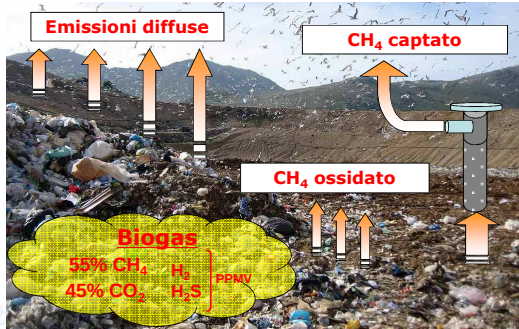
- ✓ Emissioni di biogas da discariche controllate
- ✓ Trattamenti avanzati delle acque reflue
 - Processi MBR
 - Processi MBBR
 - Processi a biomassa granulare

Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»

DICAM

EMISSIONI DIFFUSE DA DISCARICHE CONTROLLATE

Biogas da discarica: ha origine dalla fermentazione anaerobica della frazione organica dei rifiuti

$$Q_{\text{tot-CH}_4} = Q_c + Q_d + Q_{\text{ox}}$$


Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»

DICAM

EMISSIONI DIFFUSE DA DISCARICHE CONTROLLATE

La misura delle emissioni diffuse di biogas ha ormai assunto un ruolo fondamentale per una corretta gestione delle discariche controllate, sia in fase operativa, sia in fase post-operativa

Principali impatti sull'ambiente circostante:

- ✓ sono costituite da gas ad effetto serra (metano e anidride carbonica) e pertanto la loro dispersione incontrollata contribuisce al surriscaldamento del pianeta (impatto a scala globale)
- ✓ Il biogas può contenere composti in tracce (idrogeno solforato, mercaptani, ecc..) impattanti specialmente per gli odori (impatto a scala locale)
- ✓ Rischio di esplosioni se concentrate in ambienti chiusi

Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»

DICAM

EMISSIONI DIFFUSE DA DISCARICHE CONTROLLATE

D.Lgs. 36/2003 impone misure **discontinue o saltuarie** delle emissioni diffuse, frequenza:

- mensile nel periodo **operativo**
- semestrale nel periodo **post-operativo**

Parametri da monitorare: CH₄, CO₂, O₂ (**obbligatoriamente**)
H₂, H₂S, polveri, NH₃, mercaptani (in base alla **composizione** dei rifiuti)



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



EMISSIONI DIFFUSE DA DISCARICHE CONTROLLATE

METODI INDIRETTI

Quantificazione delle emissioni di biogas tramite tecniche e strumenti **non applicati direttamente** sulla superficie della discarica

- Tecniche con traccianti
- Metodi micrometeorologici
- Telerilevamento

METODI DIRETTI

Quantificazione delle emissioni di biogas tramite tecniche e strumenti **applicati direttamente** sulla superficie della discarica

- Misura del gradiente di concentrazione
- Metodo della concentrazione dinamica
- Metodo della camera d'accumulo



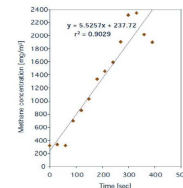
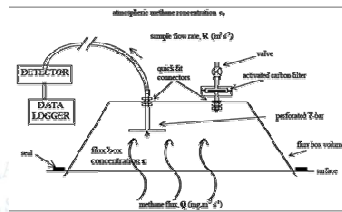
Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



EMISSIONI DIFFUSE DA DISCARICHE CONTROLLATE

METODO DELLA CAMERA DI ACCUMULO

Misura dell'**incremento di concentrazione** del gas all'interno di un contenitore, di dato volume e dimensioni. Viene così costruito un grafico dei valori di concentrazione in funzione del tempo che consente di determinare il valore del flusso



$$Q = \frac{V}{A} \cdot \frac{dc}{dt} \quad \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^2 \text{ sec}} \right]$$



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



EMISSIONI DIFFUSE DA DISCARICHE CONTROLLATE

PROCEDURA OPERATIVA



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



EMISSIONI DIFFUSE DA DISCARICHE CONTROLLATE

Strumentazione da utilizzare

- **GAS-TEC® MK.III (FID) Type 99F64001**, di fabbricazione **TELEGAN**
- **LANDBOX HV30** (Landfill surface monitoring) di fabbricazione **LabService Analytica s.r.l.** (V=30 l)
- **Computer palmare con software di acquisizione dei dati**
- **Ricevitore GPS**

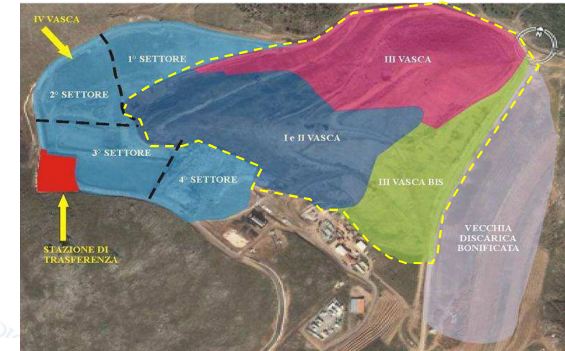


Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



EMISSIONI DIFFUSE DA DISCARICHE CONTROLLATE

Attività sperimentale – discarica di Bellolampo



Misure effettuate sulle vasche I, II, III e IIbis



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



EMISSIONI DIFFUSE DA DISCARICHE CONTROLLATE

Risultati – discarica di Bellolampo

Campagne di misura	Zona	Superficie complessiva [m ²]	Sistema captazione biogas	Campagne sperimentali (camera di accumulo)
1	Vasca III bis	30.800*	attivo	26/02/09
2	Vasca III	52.000	attivo	12/05/09
	Vasca III bis	30.800	attivo	25/05/09
	Vasca I-II	67.750	attivo	26/05/09

	VELOCITÀ VENTO (m/s)	UMIDITÀ (%)	PRESSIONE (mBar)
26 feb 2009	2,8	57,6	970,9
12 mag 2009	1,5	46,6	966,8
25 mag 2009	1,6	16,7	965,9
26 mag 2009	1,6	29,9	963,1

- Vento con $v_m = 2,8$ m/s
- Abbondanti precipitazioni avvenute nei giorni precedenti
- Tempo stabile e secco
- 58 punti monitorati



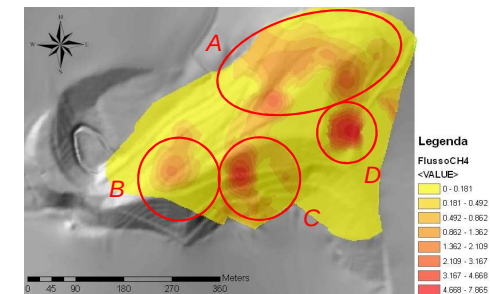
Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



EMISSIONI DIFFUSE DA DISCARICHE CONTROLLATE

Risultati – mappa di isoflusso (Kriging)

Elaborazione delle misure puntuali con interpolatori statistici per l'individuazione delle aree a maggiore emissione



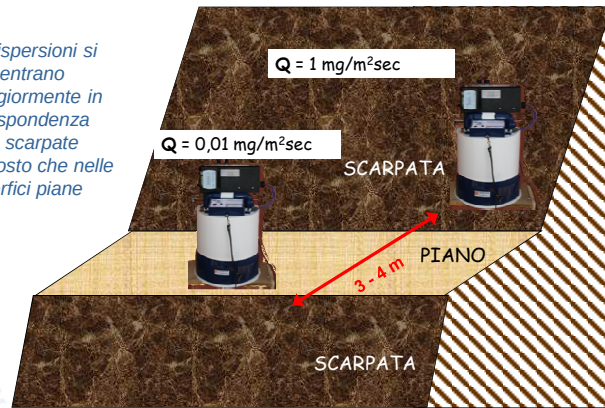
Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



EMISSIONI DIFFUSE DA DISCARICHE CONTROLLATE

Risultati

Le dispersioni si concentrano maggiormente in corrispondenza delle scarpate piuttosto che nelle superfici piane



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



EMISSIONI DIFFUSE DA DISCARICHE CONTROLLATE

Risultati – confronto con modelli di produzione

	$P_{CH_4\text{-maggio}}$ (m³)	$E_{CH_4\text{-maggio}}$ (m³)
Dal modello di Ehrig	$1.37 \cdot 10^7 \text{ Nm}^3$	$2.57 \cdot 10^5 \text{ Nm}^3$
Dal modello Landgem	$1.38 \cdot 10^7 \text{ Nm}^3$	$2.72 \cdot 10^5 \text{ Nm}^3$
Dalle misure di flusso	$1.36 \cdot 10^7 \text{ Nm}^3$	$2.54 \cdot 10^5 \text{ Nm}^3$

➤ Metodologia utile per calibrare i modelli di produzione che tendono a sovrastimare l'effettiva produzione di biogas



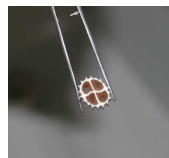
Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



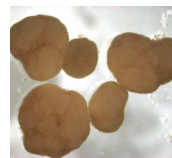
TRATTAMENTI AVANZATI DELLE ACQUE REFLUE



➤ Processi MBR



➤ Processi MBBR



➤ Granulari

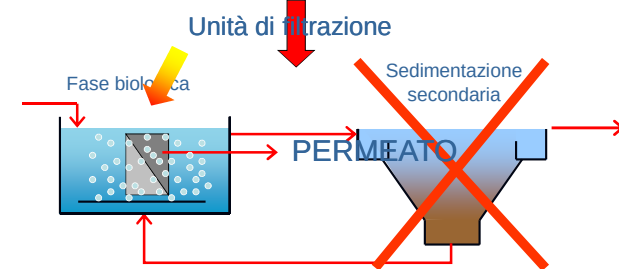


Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



PROCESSI MBR

IMPIANTO TRADIZIONALE A FANGHI ATTIVI



La miscela aerata subisce un'azione di filtrazione nelle unità biologiche, che consente di migliorare la separazione, dell'effluente e di ridurre la produzione di fanghi.



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



PROCESSI MBR

VANTAGGI

- Notevole risparmio in termini di ingombro
- Elevata qualità dell'effluente depurato (rispetto dei limiti imposti dal DM 185/03)
- Affidabilità, efficienza e semplicità impiantistica
- Possibilità di ridurre la produzione di fango

SVANTAGGI

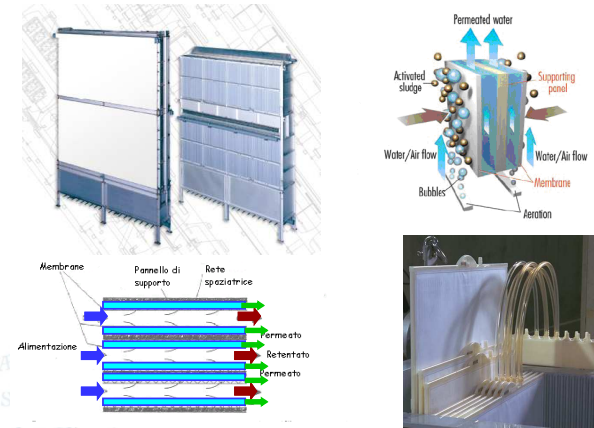
- Costo notevole delle membrane
- Sporramento delle membrane (*fouling*)
- Elevati consumi energetici
- Influenza di particolari disfunzioni: formazione di schiume (*foaming*)



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



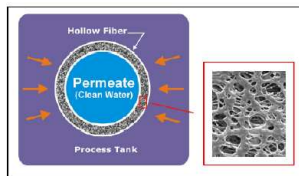
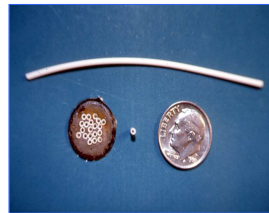
Moduli a pannelli piani



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Moduli a fibre cave

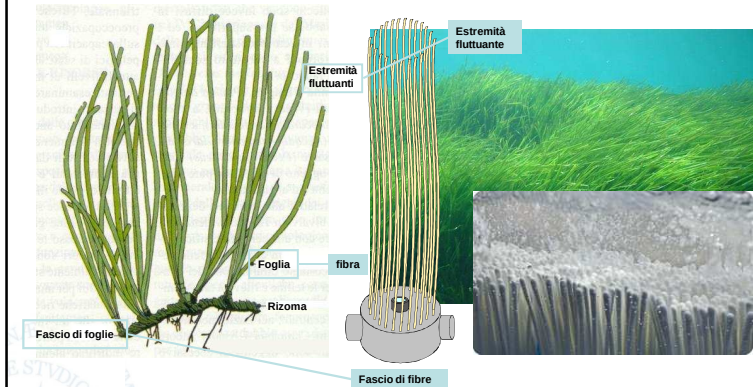


Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Moduli a fibre cave

Inspired by nature – PURON®

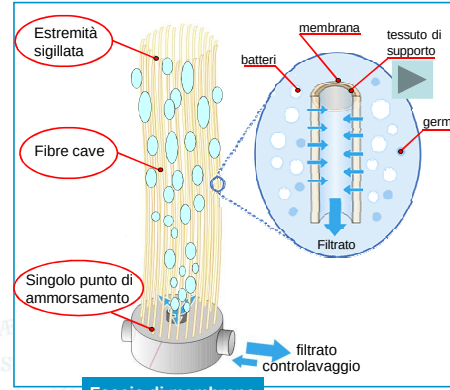


Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Moduli a fibre cave

Inspired by nature – PURON®



SINGOLO PUNTO DI AMMORSAMENTO

CAPILLARE AD ELEVATO DIAMETRO INTERNO

EROGAZIONE ARIA CENTRALE LOCALIZZATA

COLLETTORE ARIA AUTODRENANTE

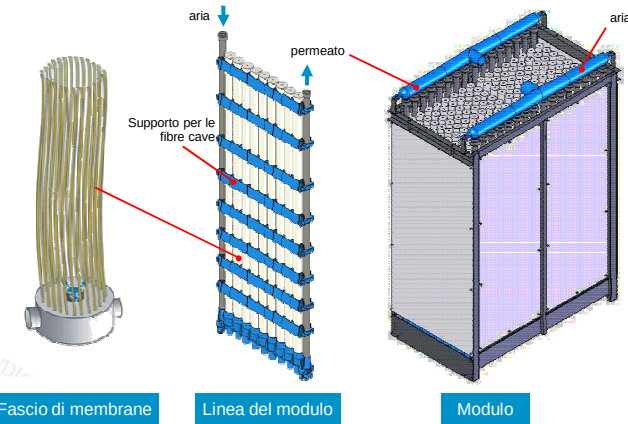
Fascio di membrane



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Moduli a fibre cave



Fascio di membrane

Linea del modulo

Modulo



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Moduli a fibre cave

37/41 m²



- Scala pilota

250→300 m²

L91 x B89 x H239 cm



- Piccola scala industriale
- Piccola scala municipale

500→600 m²

L166 x B89 x H236 cm



- Medio-grande scala industriale
- Media scala municipale

1500→1800 m²

L224 x B176 x H253 cm



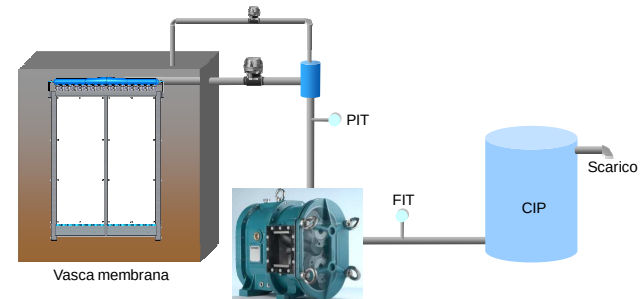
- Grande scala industriale
- Grande scala municipale (> app. 6.000 m²)



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Moduli a fibre cave



Meno valvole e tubazioni
=> cost efficiency

Utilizzo di pompe volumetriche reversibili

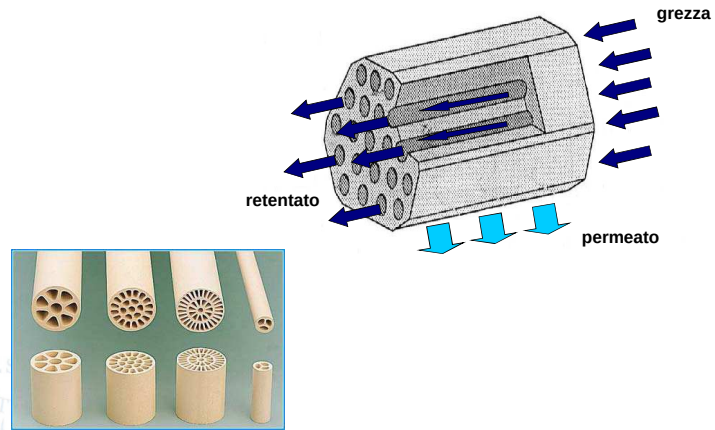
Ampie variazioni di portata e prevalenza possibili con FC



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



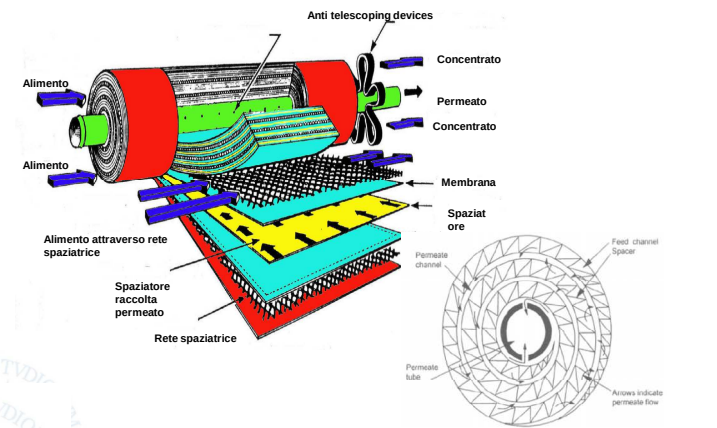
Moduli tubolari



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Moduli a spirale avvolta



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Il fouling delle membrane

È il deposito di sostanze sospese o disciolte sulla superficie esterna della membrana o all'interno dei pori

Le cause:

- ✓ fenomeni chimico – fisici nel reattore biologico
- ✓ tipo di trattamento
- ✓ tipo di influente che si vuole trattare



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Il fouling delle membrane



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Il fouling delle membrane

Principali agenti sporcanti:

- ✓ il materiale particolato e colloidale;
 - ✓ le particelle di origine organica e biologica (microrganismi e sottoprodotti del metabolismo batterico);
 - ✓ idrossidi metallici e sali scarsamente solubili.
- EPS (sostanze polimeriche extracellulari)
 - SPM (Materiale polimerico solubile);
 - SST



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Studio del fouling

$$R_T = \frac{\text{TMP}}{J\mu}$$

TMP [Pa] ← Pressione di transmembrana
 J [m³/m²·s] ← Flusso di permeato
 μ [N·s/m²] ← Viscosità del permeato

MODELLO DI RESISTENZE IN SERIE

$$R_T = R_m + R_p + R_c$$

R_m ← Membrana
 R_p ← Pore fouling
 R_c ← Cake layer

Membrana in acqua pulita

Occlusione dei pori

Deposito superficiale

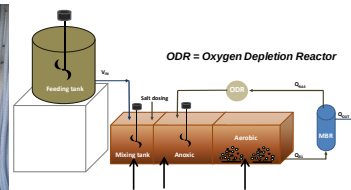


Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Attività sperimentali

Impianto SB-MBR per il trattamento di reflui salini



Modulo a fibre cave: porosità 0.04 μm; Zenon ZW10;
9 min filtrazione + 1 min controlavaggio

Incremento della salinità influente da 0 a 10 gNaCl/L

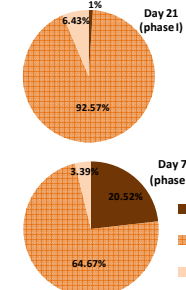
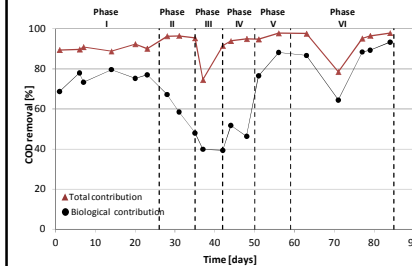


Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Attività sperimentali

Principali Risultati



- ✓ Rimozione totale del COD 93%, con leggere riduzioni in corrispondenza delle fasi III (4 g NaCl L⁻¹) e VI (10 g NaCl L⁻¹)
- ✓ Maggiore effetto sul rendimento biologico (fasi II, IV)

- ✓ Aumento della resistenza da Pore blocking (sporco irreversibile)



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Processi MBBR

Il processo MBBR è un processo a **biomassa adesiva puro** che si caratterizza per la crescita del biofilm su piccoli elementi plastici in **libero movimento** all'interno del reattore biologico



Principali vantaggi:

- ✓ Basse perdite di carico
- ✓ Nessun pericolo di canalizzazioni preferenziali
- ✓ Nessuna necessità di periodici controlavaggi
- ✓ Reattori a completa miscelazione

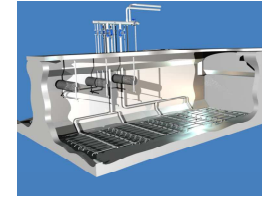


Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»

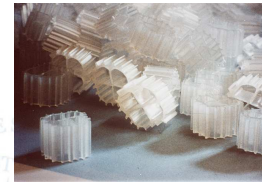


Processi MBBR

Principali Componenti:



- a) Reattore
- b) Materiale di riempimento
- c) Sistema di aerazione
- d) Griglie di contenimento
- e) Soffianti
- f) Miscelatori



Grado di riempimento (%)
(volume occupato dai supporti a vasca vuota):

Possibile: 0 – 70 %
Usuale: 50 – 65 %

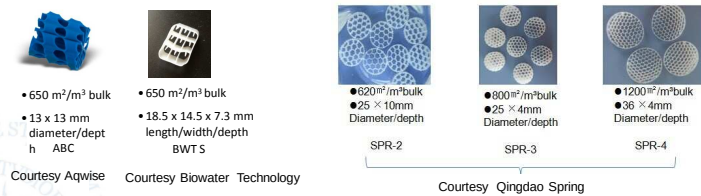
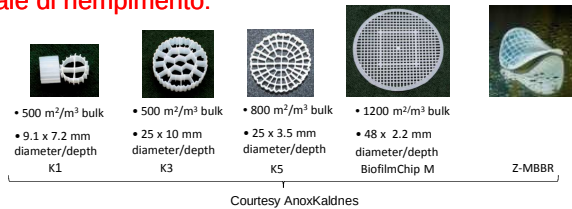


Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Processi MBBR

Materiale di riempimento:

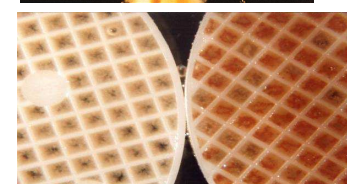
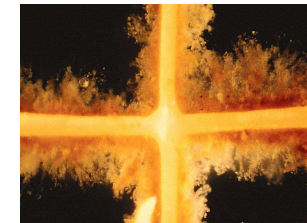
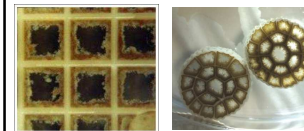


Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Processi MBBR

Crescita del biofilm



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Processi MBBR

Sistema di aerazione

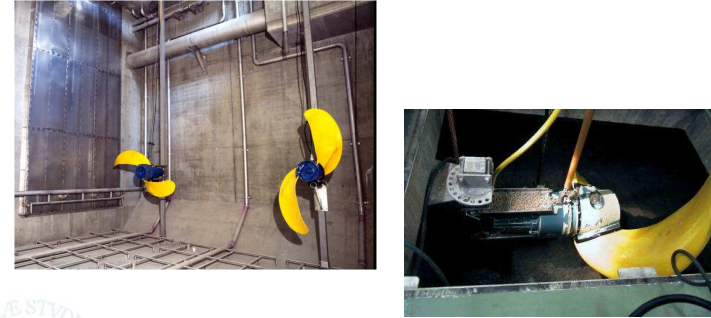


Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Processi MBBR

Sistema di miscelazione (comparti anossici)



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Processi MBBR

Griglie di contenimento



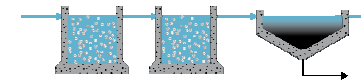
Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



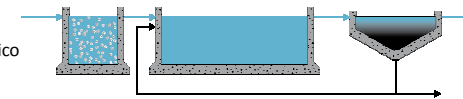
Processi MBBR

Principali schemi di funzionamento

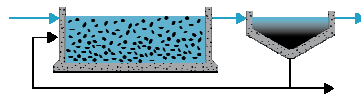
Processo MBBR
puro



MBBR come pre-
trattamento ad alto carico



Processo ibrido IFAS
(sospesa + adesa)



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Processi MBBR

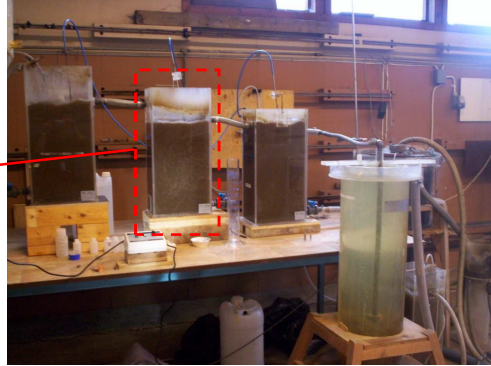
Attività sperimentale: processo MBBR ibrido per trattamento reflui municipali in climi rigidi

Alimentazione:
refluo reale

IFAS 60%



Materiale di riempimento:
Kaldnes K1™

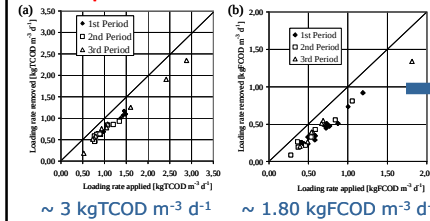


Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Processi MBBR

Principali risultati



Ottimi rendimenti di rimozione del substrato organico anche in presenza di carichi elevati e di basse temperature (8°C)

	1° Periodo	2° Periodo	3° Periodo
Ossigeno disciolto [mg O ₂ L ⁻¹]	5.00	5.00	5.00
Cinetica di nitrificazione del biofilm [g NH ₄ -N m ⁻² d ⁻¹]	0.71	0.9	0.92
Cinetica di nitrificazione del biofilm [g NO ₃ -N m ⁻² d ⁻¹]	0.72	0.9	1.02
Cinetica di nitrificazione della biomassa sospesa [mg NH ₄ -N g ⁻¹ VSS h ⁻¹]	1.27	2.05	2.80

Elevate cinetiche di nitrificazione del biofilm. Buone cinetiche della biomassa sospesa: effetto «seeding» dei nitrificanti dal biofilm al mixed liquor



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



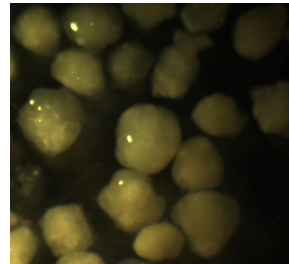
Processi a biomassa granulare

I granuli possono essere definiti come **aggregati microbici** densi e compatti caratterizzati da:

- ❖ superficie esterna quasi sferica
- ❖ dimensioni maggiori rispetto ai fiocchi di fango attivo
- ❖ velocità di sedimentazione molto elevate (> 60 m/h).

I granuli si formano attraverso l'**auto-immobilizzazione** di microrganismi e la conseguente formazione di **densi agglomerati** che contengono milioni di organismi per grammo di biomassa.

Non sono necessari supporti per la loro formazione.



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»

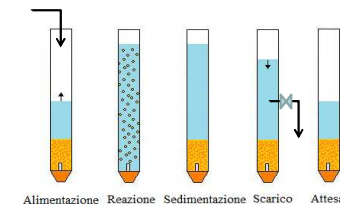


Processi a biomassa granulare

Finora è stata ottenuta in reattori SBR, la cui caratteristica è quella di essere alimentati in maniera discontinua e di operare in fasi sequenziali secondo il seguente ordine:

- **alimentazione**
- **reazione**
- **sedimentazione**
- **scarico surnatante**
- **attesa**

Le varie fasi hanno durate differenti a seconda delle necessità operative.



Attualmente i pochi impianti realizzati in piena scala sono tutti di tipo SBR.



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Processi a biomassa granulare

La formazione dei granuli aerobici è influenzata da diversi parametri, quali:

- ❖ **Carico organico volumetrico** ($> 1,2 \text{ KgCOD/m}^3\text{giorno}$ per accelerare la formazione)
- ❖ **Sforzi di taglio idrodinamici:**
In termini di velocità superficiale del flusso d'aria ascensionale ($> 1,2 \text{ cm/sec}$), alti valori di esso favoriscono la formazione dei granuli, ne migliorano la densità e stimolano la produzione dei polisaccaridi
- ❖ **Produzione di EPS (Extracellular Polysaccharides Substance)**
I polisaccaridi svolgono il doppio ruolo di adesione – coesione delle cellule microbiche, contribuendo, sia alla formazione dei granuli che al mantenimento della loro stabilità ed integrità
- ❖ **Idrofobicità della superficie cellulare:**
All'aumentare di essa è favorita l'interazione fra le cellule
- ❖ **Concentrazione di ossigeno disciolto** ($> 6 \text{ mg/l}$)



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Processi a biomassa granulare

- ❖ **HRT (Tempo di Ritenzione Idraulica)**
HRT compresi tra 2–12 ore provocano un aumento della produzione di EPS e dell'idrofobicità che migliorano le caratteristiche di sedimentabilità
- ❖ **Pressione di selezione idraulica** (3-5 m/h) che dipende dai tempi di sedimentazione
- ❖ **Fase di abbondanza e di inedia**
La prima è la fase in cui il substrato è a disposizione dei batteri prima di essere consumato. Non appena il substrato viene consumato inizia il periodo di inedia. Durante l'inedia aumenta l'idrofobicità a favore dell'auto-aggregazione e vengono degradati gli EPS in eccesso.



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»

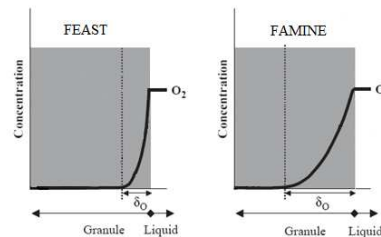


Processi a biomassa granulare

ALTERNANZA DI FASI

Nei sistemi SBR la rimozione della sostanza organica avviene in due distinte fasi:

- FEAST** (periodo di abbondanza) → **Accumulazione di riserve**
- FAMINE** (periodo di inedia) → **Crescita cellulare**



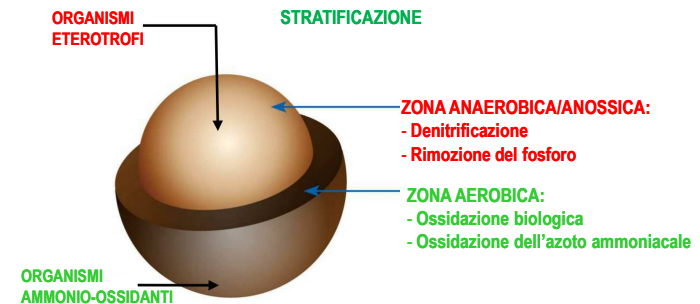
La differente profondità di penetrazione dell'ossigeno nelle due fasi determina la **stratificazione** della struttura del granulo.



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Processi a biomassa granulare



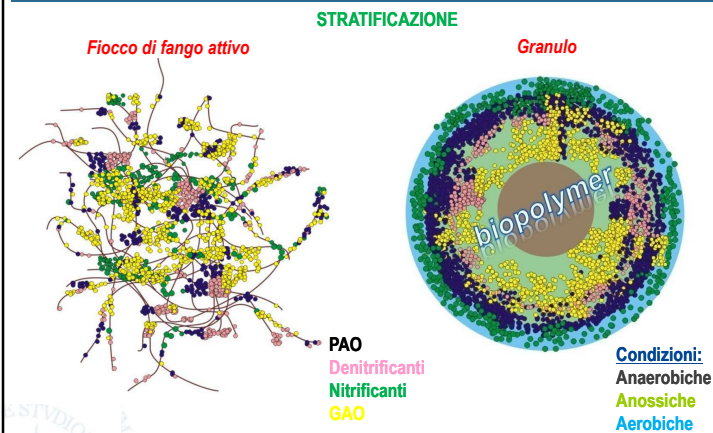
Quello che negli impianti a fanghi attivi viene svolto in diversi reattori può essere ottenuto all'interno di un granulo.



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



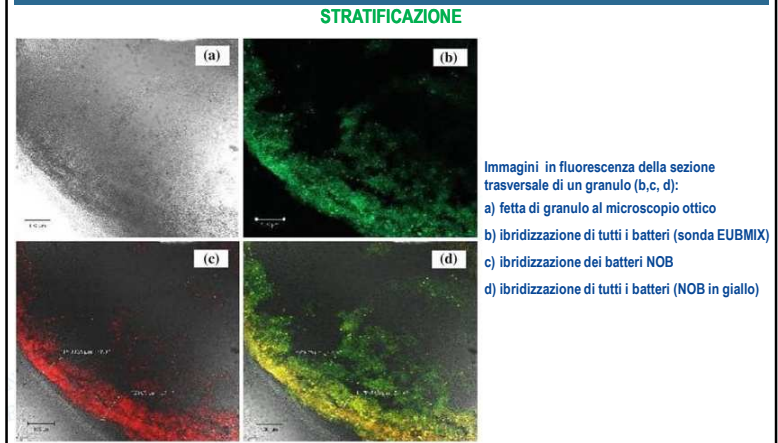
Processi a biomassa granulare



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Processi a biomassa granulare

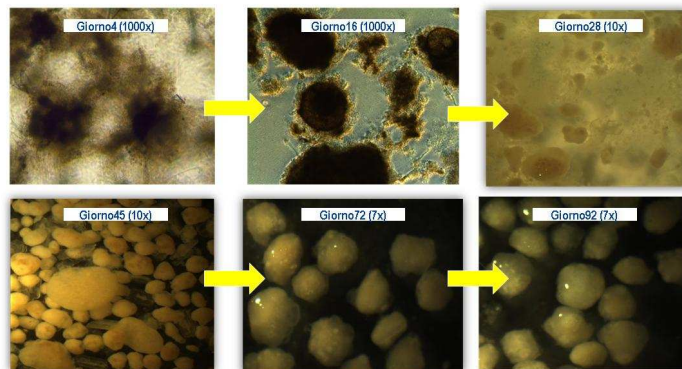


Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Processi a biomassa granulare

INOCULO e COLTIVAZIONE DEI GRANULI:

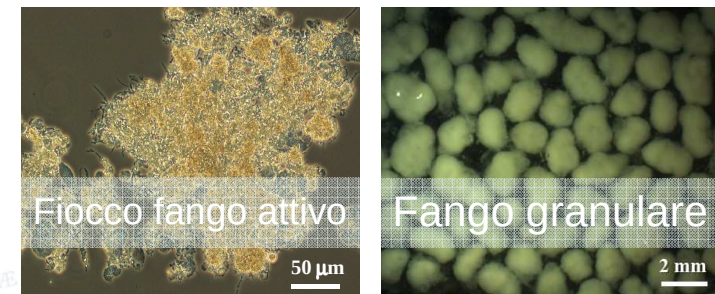


Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Processi a biomassa granulare

**Caratteristiche fisiche e morfologiche dei granuli:
confronto fra fiocchi di fango attivo e fango granulare**

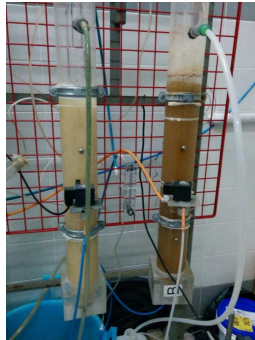
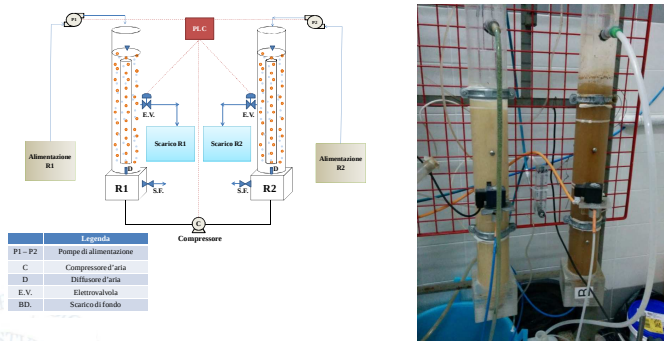


Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Processi a biomassa granulare

Attività sperimentale: utilizzo di reattori granulari per il trattamento di reflui industriali ad alto carico

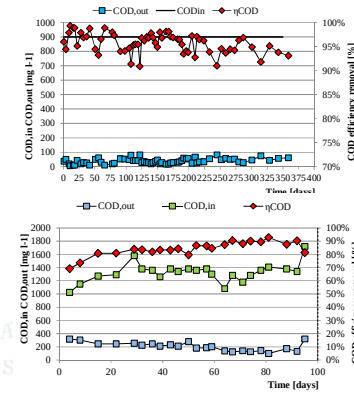


Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»



Processi a biomassa granulare

Principali risultati



Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!!





Laboratorio di Ingegneria Sanitaria
Ambientale «Prof. Luigi Gagliardi»

