



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


I TRATTAMENTI ANAEROBICI MBR

M. Fabbricino¹, A. Panico², F. Pirozzi¹
(¹Università degli Studi di Napoli Federico II,
²Università Telematica Pegaso)

Palermo, 27-28 ottobre 2016


Sommario

- Introduzione
- Applicazione dei trattamenti anaerobici per la degradazione dell'organico biodegradabile
- Principi della degradazione biologica anaerobica
- Tipologie di substrati per la produzione di biogas
- Tipologie impiantistiche per la digestione anaerobica
- Caratteristiche degli MBR anaerobici
 - Configurazioni impiantistiche
 - Tipologie di membrane
 - Formazione e controllo del fouling nei sistemi AnMBR
 - Applicazioni dei sistemi AnMBR
 - Costi dei sistemi AnMBR
- Considerazioni conclusive




Introduzione

- I bioreattori a membrana (aerobici) sono adoperati fin dagli anni '70
- La diffusione inizialmente è stata limitata a causa di:
 - Onerosità dei costi di impianto
 - Elevato dispendio energetico
- Evoluzione tecnologica e normativa ne ha favorito l'utilizzo
- Le ottime prestazioni ottenute hanno spinto verso l'impiego di sistemi simili, ma di tipo anaerobico
- Possibilità di coniugare elevata efficienza depurativa e piccoli ingombri a basso dispendio energetico e limitata produzione di fango
- Ancora problemi per fouling (anche per caratteristiche dei reflui trattati)



Applicazione dei trattamenti anaerobici

- Trasformazioni operate in assenza di ossigeno libero e legato a composti inorganici
- Produzione di biomassa, e miscela gassosa: 98% CO₂ e CH₄ (35-65%)
- Processi adoperati per flussi di materiale organico liquido e solido
- Possibilità di contenere i costi di gestione per produzione di biogas, assenza di ossigenazione e ridotta produzione di fanghi
- Molto influenzati da condizioni ambientali (pH, T) e dal substrato

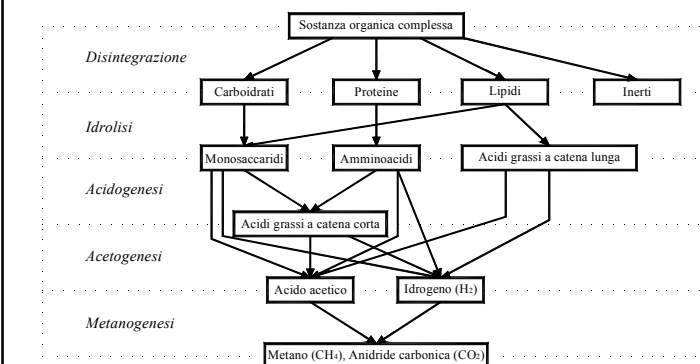


Principi della degradazione biologica anaerobica

- **Successione di reazioni:** i prodotti reazione j costituiscono i substrati di $j+1$
- **Sostanza organica sempre più minuta e struttura molecolare meno complessa**
- **5 fasi:** disintegrazione, idrolisi, acidogenesi, acetogenesi e metanogenesi



Principi della degradazione biologica anaerobica



Principi della degradazione biologica anaerobica

- **pH = 6-8 e non subire brusche variazioni**
- **Acidoproduttori hanno tassi di produzione maggiori dei metanoproduttori**



Tipologie di substrati per la produzione di biogas

- **Tutte le sostanze organiche contenenti carboidrati, proteine e lipidi sono ottimi substrati per la produzione di biogas**
- **Cambia la resa. In qualche caso necessario pretrattamento**
- **In genere maggiore produzione per substrati più ricchi di lipidi (ma più lentamente biodegradabili)**
 - Elevato numero di C e di H nella molecola
 - Problemi di washout (adsorbimento biogas sulla biomassa che si alleggerisce)
- **Substrati più ricchi di carboidrati e proteine hanno velocità maggiori, ma rese minori**
- **Substrati molto biodegradabili (carboidrati) possono portare ad abbassamento del pH per accumulo di acidi**
- **Substrati ricchi di proteine basse rese per basso rapporto C/N. Eventuale concentrazione di ammoniaca che può inibire il processo**



Tipologie di substrati per la produzione di biogas

Substrato	Produzione specifica di metano (m ³ /kg ⁻¹ SV)
Scarti alimentari	0.245-0.525
FORSU	0.390-0.430
Rifiuti mercatali	0.250-0.370
Liquame suino	0.150-0.200
Letame bovino	0.200-0.250
Delezioni avicole	0.220-0.290
Sorgo	0.420
Insilato di mais	0.364
Girasole	0.428-0.454
Barbabietola da zucchero	0.340
Paglia di riso	0.347-0.367
Fruento	0.360
Avena	0.250-0.320
Scarti di cucina	0.370-0.450
Sfalci di prato	0.300
Scarti lavorazione patate	0.426
Scarti lavorazione carote	0.417
Scarti produzioni confetture	0.320
Scarti macelli	0.550-0.670
Scarti lavorazione pesce	0.390
Scarti lavorazione carni maiale	0.230-0.620
Grasso suino	0.900
Acque reflue urbane	(0.200-0.300)*
*espresso come m ³ /kg ⁻¹ COD	



Tipologie impiantistiche digestione anaerobica

- **Varie classificazioni**
- **Substrato**
 - Liquami con sostanza organica in forma disciolta e colloidale/matrici con contenuto elevato di SS (migliaia e decine di migliaia mg/L)
- **Ciclo di trattamento**
 - Mono-stadio/Doppio-stadio
- **Alimentazione**
 - Batch/Continui
- **Temperatura di esercizio**
 - Psicofilo (10-15° C)/mesofilo (35-40° C)/termofilo (50-55° C)
- **Contenuto di umidità**
 - Wet (>90%)/semi-dry (80-90%)/dry (<80%)



Tipologie impiantistiche digestione anaerobica

- La scelta dipende dalle caratteristiche del substrato e da considerazioni tecnico/economiche
 - Filtri biologici anaerobici (BAF)
 - Bioreattori a letto mobile (MBBR) anaerobici
 - Bioreattori anaerobici a letto fisso (UASB)
 - Bioreattori anaerobici a letto espanso (EGSB)
 - Bioreattori anaerobici a membrana (AnMBR)
- Questi ultimi presentano grande versatilità potenziale



Caratteristiche degli MBR anaerobici

- Degradazione della sostanza organica biodegradabile per via anaerobica e separazione con membrana di fase liquida e sospesa (MF e UF)
 - Acque reflue urbane, industriali, zootecniche
 - Percolati di discarica
 - Industria agro-alimentare e ittico-conserviera
- Più rapido start-up rispetto agli altri anaerobici (settimane non mesi)
- Disaccoppiamento HRT e SRT
- Elevata qualità effluente



Caratteristiche degli MBR anaerobici

- La presenza della membrana favorisce il processo biologico perché:
 - Consente elevate concentrazioni della biomassa nonostante i bassi tassi di crescita;
 - Seleziona la biomassa in base a maggiore efficacia e non sedimentabilità
 - Consente acclimatazione a condizioni ambientali non favorevoli (salinità, pesticidi, inquinanti emergenti)
- Problema fouling

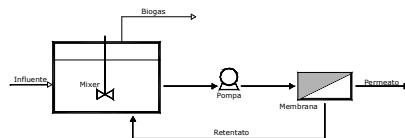


Configurazioni impiantistiche

- Le stesse degli aerobici:
 - membrane esterne al reattore (side-stream);
 - membrane sommerse interne (submerged);
 - membrane sommerse esterne (submerged side-stream).



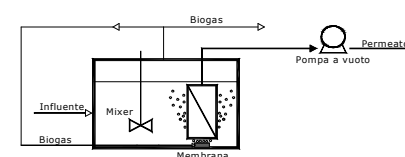
Configurazioni impiantistiche



- Side-stream:
 - Cross-flow con velocità 2-4 m/s;
 - Retentato ricircolato nel reattore
 - Possibili problemi per turbolenza pompa che favorisce rilascio EPS: per limitare sforzi di taglio meglio centrifughe che rotative;
 - Più facile manutenzione, senza fermo impianto.



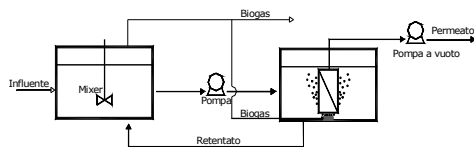
Configurazioni impiantistiche



- Submerged:
 - Costi energetici minori (pressione idrostatica vasca a favore);
 - Contrasto al fouling da biogas immesso al fondo (scouring, meno efficace rispetto a side-stream);
 - Biogas facilita agitazione (in aggiunta a mixer meccanico);
 - Meno agevole manutenzione.



Configurazioni impiantistiche



- **Submerged side-stream:**
 - Vantaggi e svantaggi dell'uno e dell'altro sistema



Tipologie membrane

- **Plastiche**
 - Fluoruro di polivinilidene (PVDF); Polietersulfone (PES); Polietilene (PE); Polipropilene (PP); Polisulfone (PSF);
 - Meno costose, ma meno performanti
- **Ceramiche e metalliche:**
 - Stabili chimicamente e termicamente;
 - Resistenti a corrosione e abrasione
 - Costi maggiori (specie le metalliche), ma più performanti
- Ceramiche sono da preferire (mesofilia, lavaggio chimico, costo)
- Piane da preferire per pulizia, ma nella submerged si preferiscono fibre cave (più compatte)



Formazione e controllo del fouling

- Fouling = sporcamento, perdita permeabilità, lavaggio (costi e vita utile)
- Generato da interazione tra materiale delle membrane e solidi presenti. Maggiori solidi, maggiore fouling = grande criticità degli AnMBR che operano ad alte concentrazioni di solidi per massimizzare cinetiche di crescita e degradazione
- Fouling:
 - Irreversibile (interno ai pori = colloidali, precipitati salini, prodotti biologici)
 - reversibile (deposizione organica ed inorganica su superficie)
 - Rimovibile (fisico o controlavaggio)
 - Irremovibile (chimico)



Formazione e controllo del fouling

- Fouling biologico
 - Cellule vive o morte
 - Sostanze polimeriche extracellulari (EPS)
 - Prodotti microbici solubili (SMP)
- Fouling organico
 - biopolimeri
- Fouling inorganico
 - Precipitati salini (struvite, carbonato di calcio)
- Piane da preferire per pulizia, ma nella submerged si preferiscono fibre cave (più compatte)

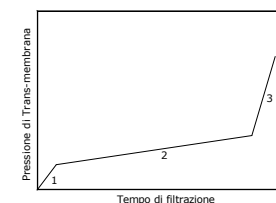


Formazione e controllo del fouling

- **Evoluzione fouling:**
 - **Concomitanza delle tre forme**
 - **Ipotesi:**
 - **Avvio con riduzione improvvisa per deposito colloidale**
 - **Incremento per formazione strato (cake-layer) di materiale eterogeneo**
 - **Consolidamento del cake-layer per sforzi normali (incremento pressione trans-membrana)**



Formazione e controllo del fouling



- **Spessore strato 1-2 ordini di grandezza maggiore negli AnMBR**
- **Per sopperire**
 - **Azione su caratteristiche influente**
 - **Azione su proprietà fisiche delle membrane o pulizia**
 - **Ottimizzazione condizioni operative**



Formazione e controllo del fouling

- **Elevata concentrazione solidi colloidali, pH estremi, alta salinità**
 - **Pretrattamento con chiariflocculazione, correzione pH con acidi e basi forti, scambio ionico**
 - **Aggiunta adsorbenti, coagulanti e nanoparticelle nel bulk**
 - **Carbone attivo in polvere ingloba colloidali e soluti organici ed inorganici e forma solidi di maggiori dimensioni che evitano il clogging (irreversibile). Il sovradosaggio contribuisce al fouling**
 - **Solfato alluminio, cloruro ferrico, cloruro di polialluminio, solfato poliferrico, chitosano**
 - **Elettrocoagulazione meglio (meno fango e nessun reagente)**



Formazione e controllo del fouling

- **Membrane dinamiche**
 - **Materiale di supporto con porosità maggiore (supporto meccanico) su cui strato di solidi fini che regolano porosità effettiva (tipo filtro a spessore)**
- **Membrane pretrattate per essere idrofile e evitare formazione di deposito di solidi**
- **Pulizia a enzimi (costosa)**
- **Pulizia a ultrasuoni sconsigliata**
- **Condizioni operative:**
 - **Velocità corrente o scouring**



Applicazioni dei sistemi AnMBR

- Come detto ottimi per reflui industriali «estremi» di varia origine, per cui si ottengono rendimenti di rimozione del COD superiori al 90%, difficilmente ottenibili con altri sistemi
- Valori dei parametri di progetto molto variabili (anche in base alla T)
 - Flusso idrico 5-100 l/(m h)
 - Carico organico 5-15 kgCOD/(m³ d)
 - Tempo di detenzione 10 h – 5 d
 - Età del fango 30-100 d



Applicazioni dei sistemi AnMBR

- Per reflui urbani non ideali
 - COD e SST rimozione 90%, no N e P
 - Elevate età del fango consentono la rimozione di inquinanti emergenti
- Valori dei parametri di progetto
 - Flusso idrico 2-80 l/(m h)
 - Carico organico 0,8-2 kgCOD/(m³ d)
 - Tempo di detenzione 3-15 h (fino a 2d)
 - Età del fango 100 d



Applicazioni dei sistemi AnMBR

- Applicazioni per rifiuti solidi e percolati
 - Rimozione COD 90%
- Valori dei parametri di progetto
 - Carico organico 8-12 kgCOD/(m³ d) per FORSU, metà per percolati
 - Tempo di detenzione 1,5-11 d
 - Età del fango 300 d



Costi dei sistemi AnMBR

- Costo delle membrane ridotto negli ultimi anni, ma ancora costi capitali e gestionali (anche per manutenzione) elevati
- 85-95% costo energetico totale per membrane (sia per la necessaria pressione, che per scouring e flusso tangenziale)
- Maggiore concentrazione di solidi = maggiore fouling = maggiore costo: 0,11-0,49 kWh/m³
 - 0,22 kWh/m³ SST 12 g/L senza recupero biogas
 - 0,14 kWh/m³ SST 12 g/L con recupero biogas
 - Non conveniente > SST



Conclusioni

Sotto la spinta dell'esigenza di una più oculata gestione della risorsa idrica e della ricerca di fonti energetiche rinnovabili e pulite, nel recente passato, è cresciuto un forte interesse per i sistemi AnMBR, dal momento che essi sono in grado di abbinare le elevate prestazioni depurative, proprie dei processi a membrana, con la potenzialità offerta dai processi biologici anaerobici di trasformare la sostanza organica in biogas. A questi vantaggi va aggiunto che gli AnMBR non richiedono ossigeno, la cui fornitura costituisce un onere rilevante, danno luogo a una bassa produzione di fango di supero e forniscono un contributo non trascurabile anche nei riguardi della rimozione di contaminanti emergenti. Ciononostante, sono stati realizzati con sistemi AnMBR solo pochi impianti reali, perché il *fouling* delle membrane, particolarmente intenso per i processi biologici in ambiente anaerobico, rappresenta un serio ostacolo al loro impiego. Passi in avanti, sia nella comprensione del fenomeno che nell'individuazione di rimedi capaci di prevenirne la formazione, sono stati fatti negli anni recenti e dalla mole di studi che sono attualmente in corso è facile prevedere che nuovi e interessanti risultati saranno a breve resi disponibili.



M. Fabbricino¹, A. Panico², F. Pirozzi¹

¹Università degli Studi di Napoli Federico II

²Università Telematica Pegaso

nome.cognome@unina/unipegaso.it

