Università degli Studi di Napoli Federico II
Università degli Studi di Palermo
Università degli Studi di Salerno

BioMAc 2016

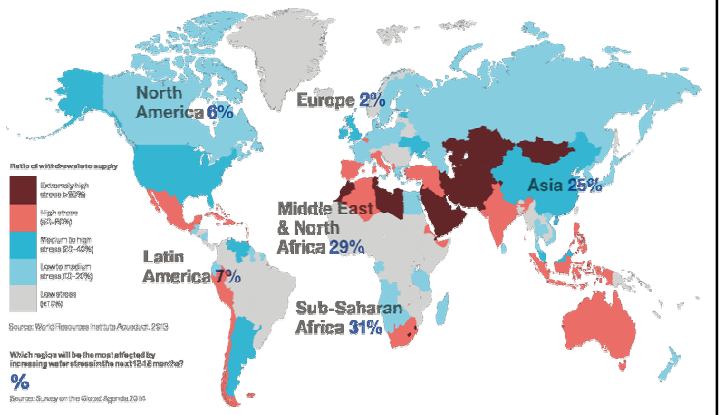
Bioreattori a Membrane (MBR)
e trattamenti avanzati per la depurazione delle Acque

Sviluppo tecnologico nella depurazione delle acque reflue: dai CAS agli MBR e prospettive future

Vincenzo Belgiorno (Università di Salerno)

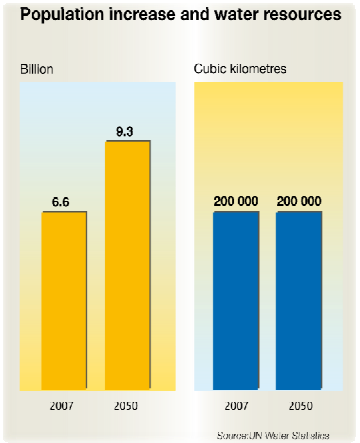
Palermo, 27-28 ottobre 2016

Scarsità della risorsa idrica



BioMAc 2016

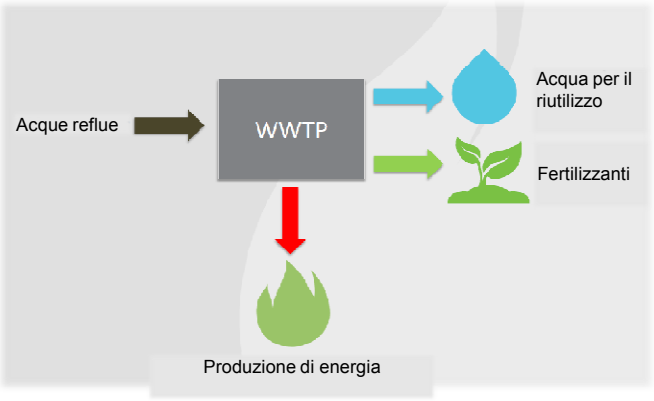
Incremento della popolazione e risorsa idrica



Unep, 2010

BioMAc 2016

Approccio corretto



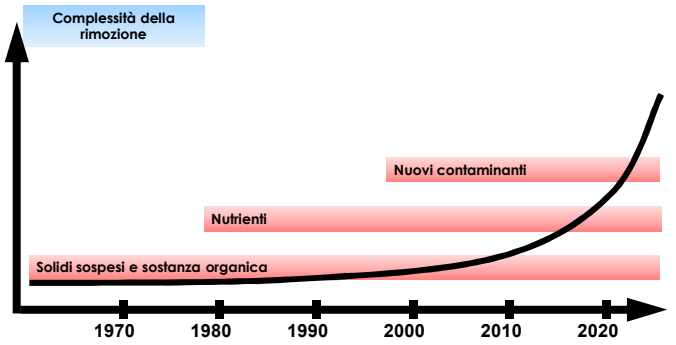
BioMAc 2016

Progressi della tecnologia

- Efficienze di rimozione e recupero di risorsa idrica
- Aree di impronta e volumetrie richieste
- Produzione e consumo di energia
- Quantità di fango generate
- Impatti ambientali
- Costi

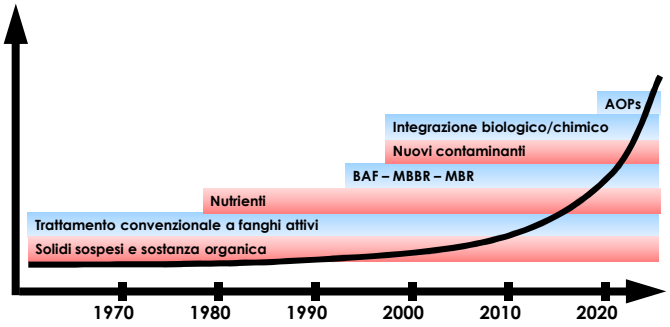
BioMAc 2016

Evoluzione delle tipologie di contaminanti



BioMAc 2016

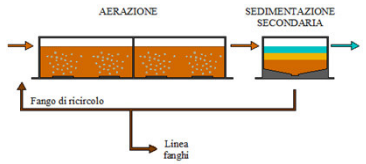
Sviluppo tecnologico



BioMAc 2016

Trattamenti biologici convenzionali

Impianti a fanghi attivi



Vantaggi:

- ✓Tecnologia consolidata e flessibile
- ✓Rapporto qualità effluente / costi

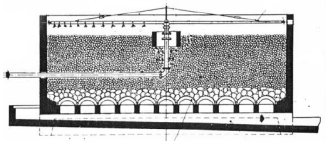
Svantaggi:

- ✓Spazi di ingombro elevati
- ✓Quantità elevata di fanghi
- ✓Poco efficaci nei confronti dei contaminanti emergenti

BioMAc 2016

Trattamenti biologici convenzionali

Filtri percolatori



Vantaggi:

✓Bassi consumi energetici

✓Ottima capacità di adattamento a forti variazioni di carico organico

✓Limitato numero di opere elettromeccaniche/ridotti costi di manutenzione.

Svantaggi:

✓Rendimenti di rimozione di BOD inferiori

✓Maggiore area di impronta necessaria

✓Maggiore rischio di odori sgradevoli e insetti

BioMAc 2016

Trattamenti biologici convenzionali

Rotori biologici (RBC)

Vantaggi:

✓-Semplicità di gestione e manutenzione del processo

✓-Processo stabile

✓-Consumi energetici molto ridotti

Svantaggi:

✓Costi di investimento più alti dei letti percolatori

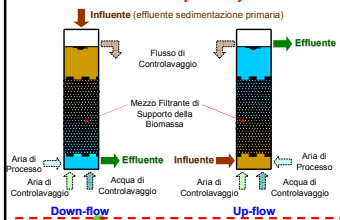
✓Applicazioni a piccole e medie comunità

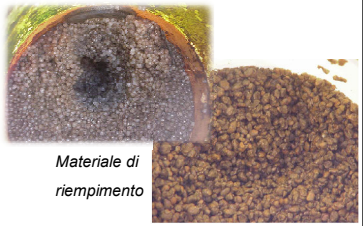
✓Efficienza limitata

BioMAc 2016

Evoluzione dei trattamenti biologici convenzionali

Biofiltri aerati (BAF)





Materiale di riempimento

Vantaggi:

✓-Ingombro in pianta ridotto

✓-Elevati carichi volumetrici

✓-Effluente chiarificato

✓-Elevato grado di controllo automatico

Svantaggi:

✓-Necessità di trattamenti preliminari efficienti

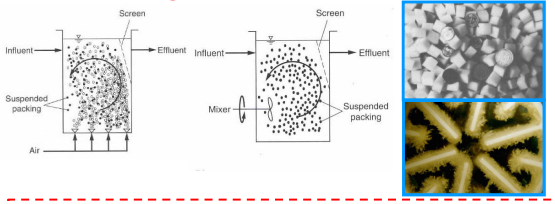
✓--Maggiore complessità di gestione

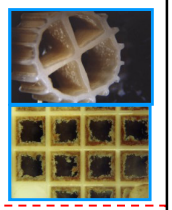
✓-Necessità di controlavaggio

BioMAc 2016

Evoluzione dei trattamenti biologici convenzionali

Reattori biologici a letto mobile (MBBR)





Vantaggi:

✓--Facilmente utilizzabile per l'upgrade di impianti a fanghi attivi

✓--Ingombro in pianta minore dei classici impianti a fanghi attivi

✓-Limitate perdite di carico

Svantaggi:

✓--Necessari trattamenti preliminari efficienti

✓Aerazione con bolle medio/grandi

-

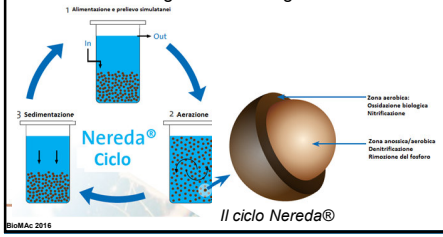
BioMAc 2016

Evoluzione dei trattamenti biologici convenzionali

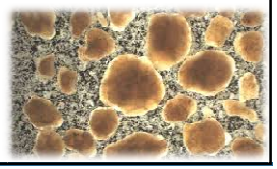
Reattori a biomassa granulare aerobica

- ✓ Fanghi granulari aerobici caratterizzati da una struttura compatta e da una maggiore sedimentabilità
- ✓ Capacità di sfruttare la rapida crescita dei microrganismi ad alti fattori di carico organico
- ✓ Età del fango elevate ed alte performance depurative con la rimozione simultanea di carbonio, azoto e fosforo -
- ✓ Instabilità a lungo termine dei granuli

Biomassa granulare Nereda® (sinistra) e fangho attivo (destra) dopo 5 minuti di sedimentazione

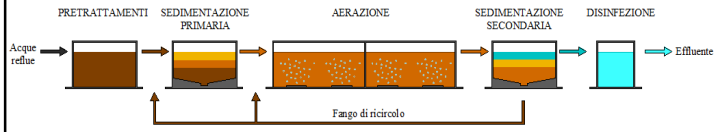


Il ciclo Nereda®



Bioreattori a membrane (MBR)

Dai convenzionali impianti a fanghi attivi (CAS)…



… ai reattori MBR

Vantaggi:

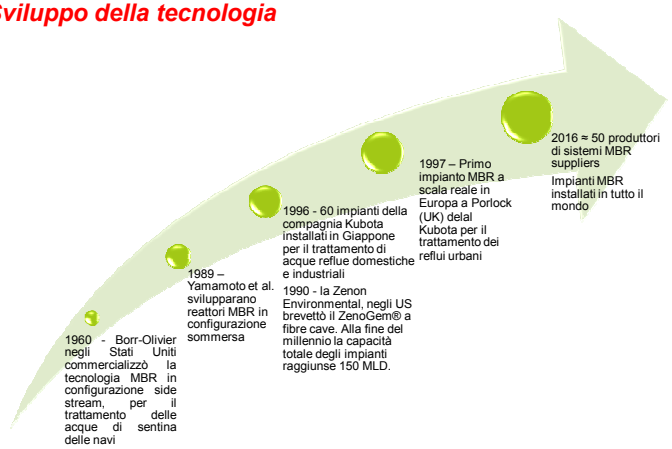
- ✓-Elevata qualità dell' effluente con possibilità di riutilizzo
- ✓Minor ingombro dei reattori
- ✓Ridotta produzione di fanghi

Svantaggi:

- ✓--Costo rilevante delle membrane
- ✓Mancata standardizzazione dei moduli
- ✓Fouling

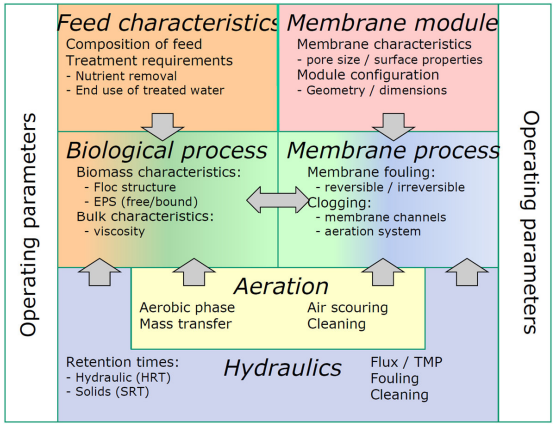
Bioreattori a membrane (MBR)

Sviluppo della tecnologia



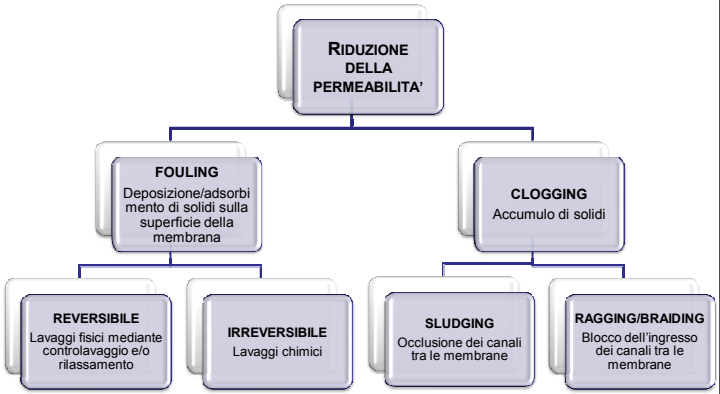
Bioreattori a membrane (MBR)

Parametri operativi



Bioreattori a membrane (MBR)

Fouling e clogging



Bioreattori a membrane (MBR)

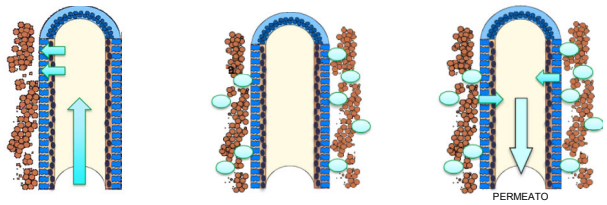
Fouling, fouling, fouling…

- ✓ **Fouling chimico-fisico**: attribuibile a composti inorganici (Fe, Al, idrossidi..), proteine e composti organici colloidali
- ✓ **Fouling biologico:** derivante dai prodotti dell'attività batterica (EPS, SMP) sulla superficie della membrana

Bioreattori a membrane (MBR)

Metodi attuali per il controllo del fouling

✓ **Lavaggio fisico per fouling reversibile**



Controlavaggio
Applicato per 1-2 min ogni 10-15 min di filtrazione

Rilassamento
Interruzione della filtrazione per 10-20 secondi ogni 2-5 minuti

Air scouring
Durante la filtrazione con bolle grosse

✓ **Lavaggio chimico per fouling irreversibile:**

- Agenti ossidanti (e.g NaCl) per fouling organico
- Acidi (e.g. HCl) per fouling inorganico

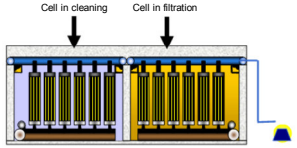
Bioreattori a membrane (MBR): sviluppi tecnologici sul mercato

✓ **INCREMENTO DELLA VITA UTILE DELLE MEMBRANE (>10 ANNI):**

- Incremento delle frequenze dei lavaggi:
  - Lavaggio di mantenimento con una soluzione di ipoclorito di sodio a basse concentrazioni 2–8 volte al mese
  - Lavaggio chimico intensivo 1 o 2 volte all'anno con soluzione ad elevate concentrazioni
- Miglioramento dei materiali delle membrane

✓ **LAVAGGIO IN SITU DEI MODULI DI MEMBRANE**

[MBR Kubota]



[MBR Evoqua]

CLEAN IN PLACE → SEMPLIFICAZIONE DEI LAVAGGI E SIGNIFICATIVO RISPARMIO DI RISORSE

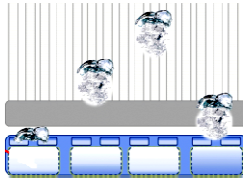
Bioreattori a membrane (MBR): sviluppi tecnologici sul mercato

- Funzionamento a bassi flussi per il controllo del fouling
- Sostituzione facilitata dei moduli delle membrane
- Gestione delle fluttuazioni delle caratteristiche del refluo influente
- Sistemi flessibili con funzionamento estate/inverno

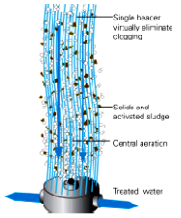
Bioreattori a membrane (MBR): sviluppi tecnologici sul mercato

✓ **MIGLIORE PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI AREAZIONE**

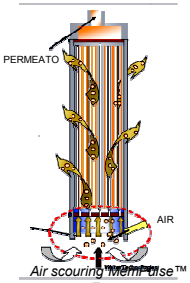
- SAPp < 10 Nm^3 aria per m^3 permeato reflui civili
- Ottimizzazione profondità delle membrane e del punto di alimentazione dell'aria
- Areazione ciclica sequenziale



LEAPmbr Aeration Technology-GE



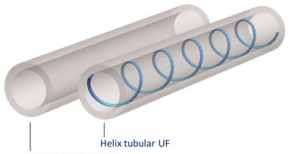
PURON Single Header Design-Koch



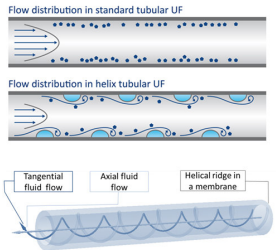
Air scouring MemFlux™ - Evoqua

Bioreattori a membrane (MBR): sviluppi tecnologici sul mercato

Soluzioni per incrementare l'azione degli sforzi di taglio sulla membrana



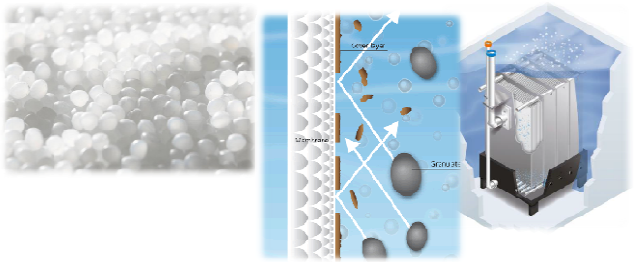
Helix tubular UF, Pentair



- ✓ Inserimento di una spirale elicoidale all'interno della membrana
- ✓ Sviluppo di flussi secondari in corrispondenza della spirale
- ✓ Flusso elicoidale della corrente influente all'interno della membrana ed aumento della velocità di cross flow in corrispondenza delle pareti con incremento degli sforzi di taglio
- ✓ Incremento dei flussi applicabili con basse velocità di cross-flow

Bioreattori a membrane (MBR): sviluppi tecnologici sul mercato

Soluzioni per il miglioramento dell'azione anti-fouling

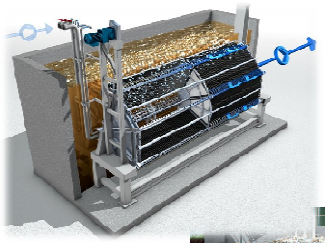


BIO-CEL® - MCP, Microdyn Nadir

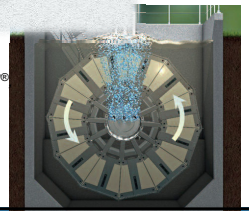
- ✓ Inserimento di granuli in materiale plastico all'interno del reattore
- ✓ Movimento verso l'alto dei granuli grazie all'aerazione e rimozione dello strato superficiale di fango per l'urto con la membrana
- ✓ La turbolenza indotta può migliorare il trasporto dei foulants lontano dalla membrana

Bioreattori a membrane (MBR): sviluppi tecnologici sul mercato

Soluzioni per il miglioramento dell'azione anti-fouling



- ✓ Membrane rotanti o vibranti
- ✓ Elevata azione tangenziale o turbolenza sulla superficie della membrana
- ✓ Riduzione dei consumi energetici attraverso la pulizia sequenziale delle superfice della membrana



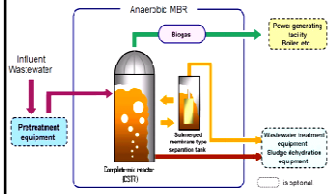
Membrane Filtration VRM® Huber

Bioreattori a membrane (MBR): ulteriori sviluppi

✓ **Riduzione della domanda di energia:**

- Membrane ceramiche
- MBR anaerobici (AnMBR)

TAMI Ceramic Membranes



Salad Dressing Factory (Ken's Foods), 310 m³/d, 34.000 mg/L COD influente, ADI-Kubota, (Massachusetts, USA)

Prospettive future dei trattamenti biologici

- Migliore ed ulteriore integrazione dei sistemi anaerobici e aerobici
- Utilizzo di biomasse con specifiche caratteristiche
- Processo ANAMMOX® per la rimozione dell'azoto
- Combinazione con processi di ossidazione avanzata (AOPs)
- Sistemi biolettrochimici per la produzione di energia elettrica (MFC) o di idrogeno (MEC)

Conclusioni

- Evoluzione dei trattamenti biologici convenzionali di tipo aerobico ed anaerobico
- Diversi fattori influenzano la scelta della tecnologia di trattamento più opportuna
- I reattori MBR rappresentano una tecnologia d'avanguardia per il trattamento ed il riutilizzo delle acque reflue
- Prospettive future sono rivolte alla combinazione di processi biologici aerobici con processi anaerobici o AOPs, allo sviluppo di tecnologie per la rimozione di contaminanti emergenti ed alla produzione di energia

BioMAc 2016

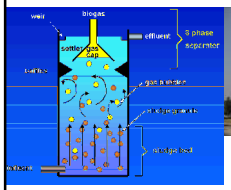
SEEDOTTI DALL'AMBIENTE

prof. ing. Vincenzo Belgiorno
Sanitary Environmental Engineering Division (SEED)
Dipartimento di Ingegneria Civile
Università degli Studi di Salerno
e.mail: v.belgiorno@unisa.it

BioMAc 2016

Trattamenti biologici anaerobici

Reattori UASB/EGSB



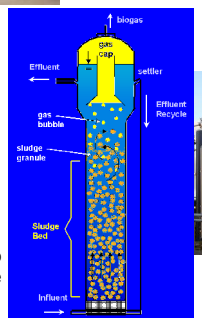
Reattore UASB

UASB

- ✓ Reattori con altezza tra i 3 e 8 m
- ✓ Nessun ricircolo dell'effluente
- ✓ Velocità tra 0.7-1.5 m/h
- ✓ Letto di fango statico

EGSB

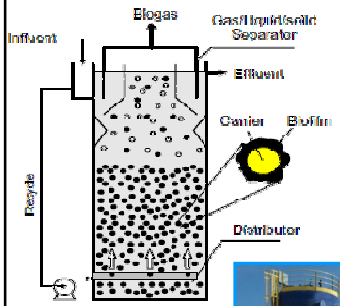
- ✓ Reattori più alti
- ✓ Ricircolo dell'effluente
- ✓ Velocità > 4 m h^{-1}
- ✓ Espansione del letto di fango
- ✓ Adatto anche per reflui a basso carico organico e a basse temperature



Reattore EGSB

Trattamenti biologici anaerobici

Reattore anaerobico a letto fluidizzato ed espanso (AnFBR)

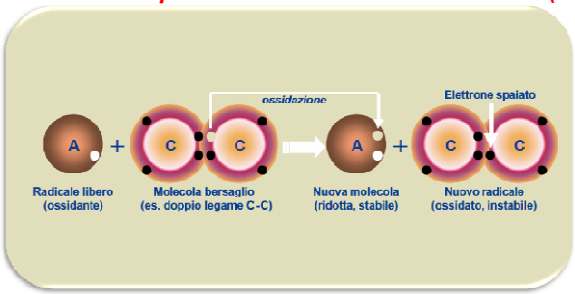


- ✓ Trattamento di reflui industriali
- ✓ Biomassa adesa su piccole particelle inerti quali sabbia fine o carbone attivo
- ✓ Maggior contatto tra il substrato ed i microrganismi ad alti fattori di carico organico
- ✓ Letto espanso (espansione tra il 15-25%) o letto fluido (< 25-300% di espansione)

Envirogen Technologies

Prospettive future

Combinazione con processi di ossidazione avanzata (AOPs)



- ✓ Applicati per l'ossidazione dei costituenti organici complessi trasformandoli in prodotti finali più semplici
- ✓ Produzione di radicali ossidrili ($OH^{\bullet}$)
- ✓ Reazioni di ossidazione che possono portare anche alla completa mineralizzazione dei composti

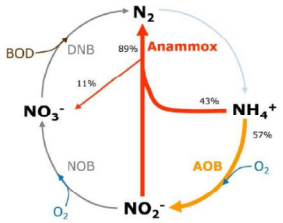
Prospettive future

Processi Anammox

Primo reattore a scala reale a Rotterdam (Netherlands)

Nel processo Anammox in condizioni anossiche i nitriti sono convertiti a nitrogeno gassoso utilizzando l'ammoniaca come donatrice di elettroni anzichè la sostanza organica o l'aggiunta di metanolo

$$NH_4^+ + NO_2^- \rightarrow N_2 + 2\,H_2O$$

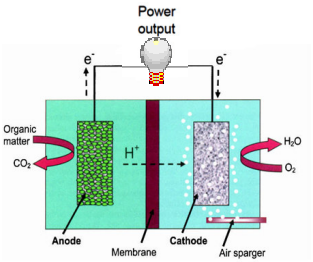


Rimozione dell'azoto nel processo ANAMMOX (Geilvoet et al., 2015)

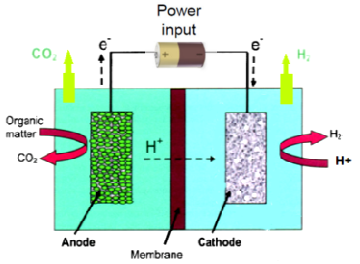
Prospettive future

Sistemi bioelettrochimici (BES)

Celle a combustibile microbico (MFC)



CELLE DI ELETTROLISI MICROBICA (mec)



Adattato da Logan, 2007

Produzione di **elettricità o combustibile** dalla acque reflue.

L'energia potenzialmente contenuta nelle acque reflue è pari a **2-5 kWh/m³** *(Logan and Rabaey, 2012)*