

# Università degli Studi di Napoli Federico II



*Scuola Politecnica e delle Scienze di Base*

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

CORSO DI LAUREA IN

**INGEGNERIA PER L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO**

TESI DI LAUREA IN

**INGEGNERIA SANITARIA-AMBIENTALE**

***Celle a combustibile microbiche per il trattamento  
delle acque reflue e per la bioenergia***

RELATORE

Prof. Ing. Francesco Pirozzi

CORRELATORE

Ing. Antonio Panico

CANDIDATA

Simona Russo

Matr. N49/175

Anno Accademico 2013/2014

## INTRODUZIONE

L'uso massiccio di combustibili fossili sta accelerando l'**esaurimento dei giacimenti** e sta provocando fenomeni di **inquinamento** e il **surriscaldamento globale** → **combustibili alternativi**.



**BIOENERGIA**: energia prodotta dalla **biomassa**, la quale è definita dalla direttiva 2009/28/CE come “[...] la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani”.

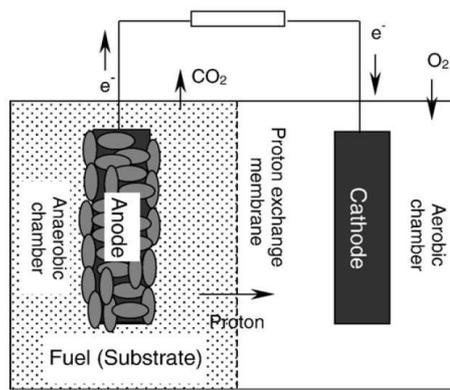


La **MFC** converte l'energia immagazzinata nei legami chimici dei composti organici in **energia elettrica**, attraverso le reazioni catalitiche dei microrganismi, biodegradando sostanze organiche naturali, **senza emissioni nette di CO<sub>2</sub>**.

## DESCRIZIONE

La MFC è composta da:

- camera anodica (anodo);
- camera catodica (catodo);
- membrana a scambio protonico (PEM).



### ❖ ANODO:

- materiali altamente conduttivi;
- elevata superficie specifica e porosità;
- scarsa propensione ad incrostazioni o a corrosione;
- catalizzatore per l'ossidazione della sostanza organica: biofilm.

### ❖ CATODO:

- materiali simili a quelli utilizzati per l'anodo;
- catalizzatore per la riduzione dell'ossigeno: rivestimento in platino o biofilm (biocatodo).

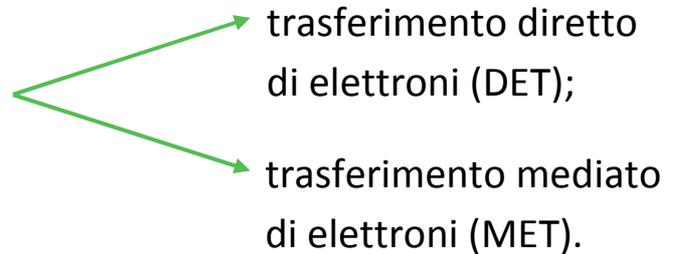
### ❖ PEM:

- consente ai protoni di muoversi verso il catodo, impedendo la diffusione di O<sub>2</sub> all'anodo;
- nafion.

## PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

I microrganismi in camera anodica ossidano substrati organici e generano elettroni e protoni. Gli elettroni sono assorbiti dall'anodo e trasportati al catodo attraverso un circuito esterno (**corrente elettrica**). Attraversata la PEM, i protoni entrano in camera catodica, combinandosi con l'O<sub>2</sub> a formare H<sub>2</sub>O.

Il **trasferimento di elettroni** tra microrganismi ed elettrodi:



- ❖ **DET**: quando i microrganismi sono elettrochimicamente attivi, in grado, cioè, di donare elettroni ad un oggetto esterno o di accettarne, senza l'intervento di specie redox.
- ❖ **MET**: quando i microrganismi sono non attivi, incapaci, cioè, di trasferire elettroni direttamente all'anodo, necessitando di specie redox attive, dette *mediatori*.

## PRESTAZIONI

L'energia raccolta dalla bioconversione della sostanza organica:



- *perdite ohmiche*: resistenza dell'elettrolita al flusso di ioni, resistenza della PEM, resistenza al flusso di elettroni attraverso l'elettrodo;
- *perdite di polarizzazione di attivazione*: energia di attivazione che i reagenti devono superare per far avvenire la reazione, associata a lente cinetiche degli elettrodi;
- *perdite di polarizzazione di concentrazione*: i reagenti si consumano rapidamente agli elettrodi con conseguenti gradienti di concentrazione e limitazioni nel trasferimento di massa.



La tensione di cella effettiva è sempre inferiore alla tensione di cella teorica (differenza tra il potenziale dell'anodo e del catodo).

Le prestazioni della MFC sono misurate utilizzando la *densità di potenza*: rapporto tra potenza e superficie anodo/catodo.



La densità di potenza influenza l'*efficienza Coulombiana*: percentuale di elettroni recuperati dalla materia organica rispetto al valore massimo teorico.

Per *ottimizzare le prestazioni* della MFC:

- elettroliti molto conduttivi;
- elettrodi con maggiore rugosità e superficie specifica;
- elettrocatalizzatori;
- distanza ridotta tra i due elettrodi;
- materiali separatori a bassa resistenza;
- elevate temperature;
- eliminazione gradiente di pH.

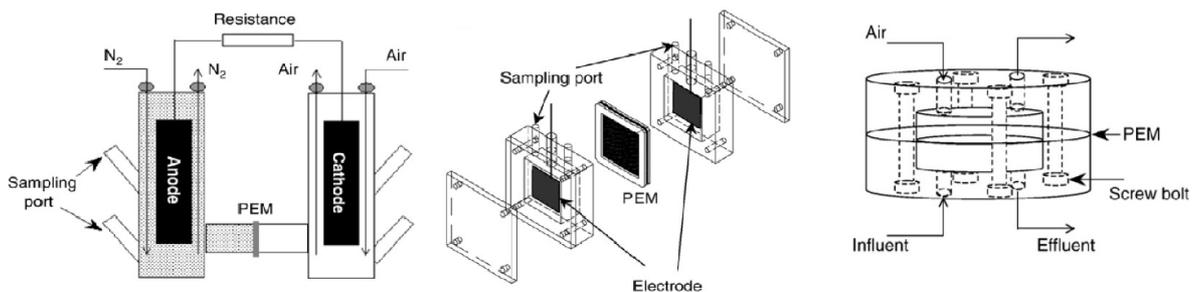
## CONFIGURAZIONI

I sistemi di MFCs possono essere:

- a due compartimenti;
- a singolo comparto.

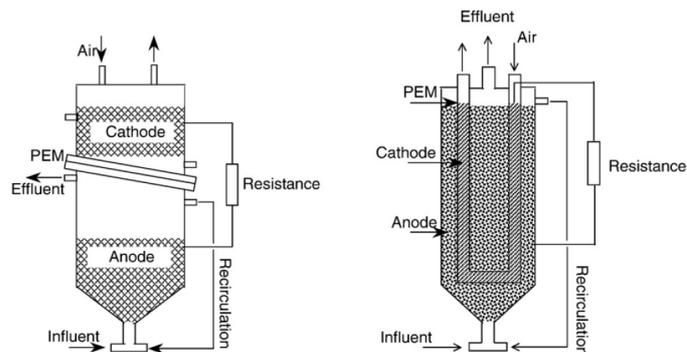
### ❖ MFC a due compartimenti:

- camera anodica e camera catodica collegate da una PEM;
- diverse forme (cilindrica, rettangolare, in miniatura);
- geometrie complesse → difficili da realizzarsi in scala reale;



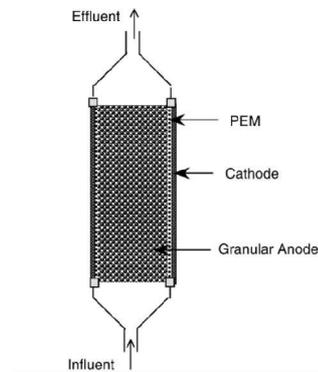
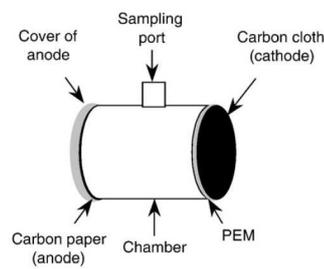
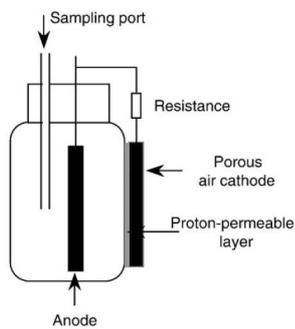
### • modalità *flusso diretto verso l'alto*:

- sistema di ricircolo → favorisce le reazioni elettrochimiche e la formazione del biofilm;
- geometrie più semplici;
- costi energetici del pompaggio → trattamento reflui piuttosto che produzione elettricità.



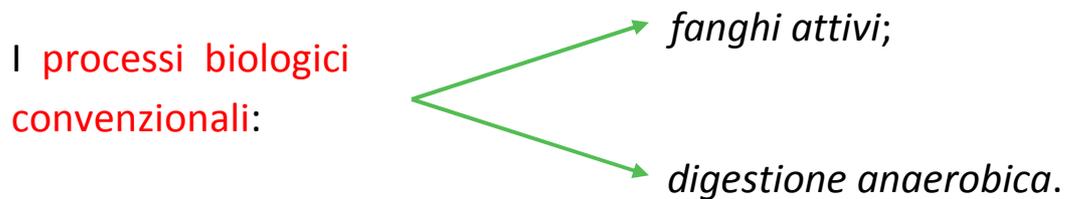
### ❖ MFC a singolo comparto:

- camera anodica con catodo esterno → assenza aerazione, geometrie semplici e risparmio nei costi;
- diverse forme (rettangolare, cilindrica, tubolare);
- maggiore produzione di energia elettrica.



## APPLICAZIONI

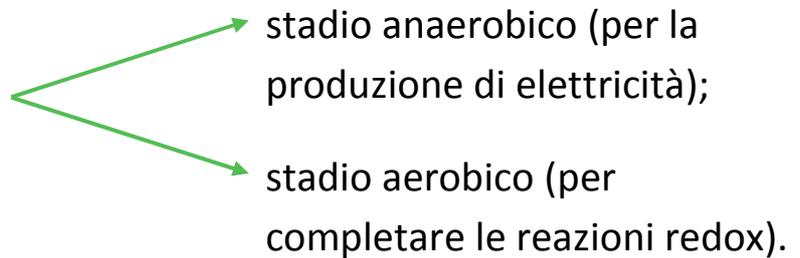
### ➤ Trattamento delle acque reflue



- ❖ **Fanghi attivi:** si sviluppa una biomassa (fango attivo) in grado di biodegradare il refluo in ingresso in condizioni aerobiche, assicurate da sistemi di aerazione.
- ❖ **Digestione anaerobica:** il materiale organico presente nei liquami viene convertito biologicamente in assenza di ossigeno, dando luogo principalmente a CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>.

Sarebbe più conveniente, con scarichi ad alta concentrazione, utilizzare i trattamenti anaerobici.

Il **trattamento con MFC** è considerato "ibrido":

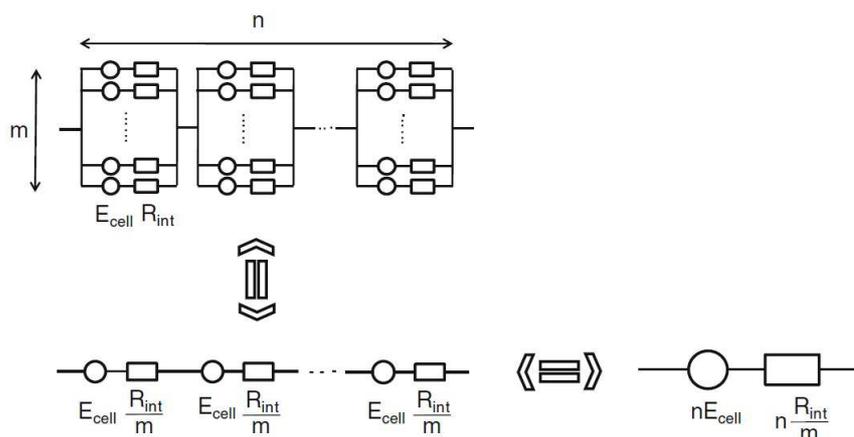


I **Vantaggi** nell'utilizzare una MFC:

- Recupero dell'elettricità per il funzionamento dell'impianto di trattamento;
- Ossidazione (perfino completa) di composti organici;
- Ridotta produzione di fanghi della depurazione;
- Annullamento del costo dell'aerazione (con MFC a un comparto con catodo esterno).

L'**energia** potenzialmente recuperabile dai reflui domestici ( $BOD \sim 200 \div 300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) è  $0,65 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ . Dal confronto con la domanda di energia per l'aerazione nel trattamento a fanghi attivi,  $0,2 \div 0,4 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ , si vede che le MFCs renderebbero il sistema di trattamento energeticamente **autosufficiente**.

Le MFCs sono state studiate soprattutto in *scala di laboratorio*, il passaggio alla *scala reale* comporta problemi di prestazioni a causa dello *scale-up*: l'aumento di volume della singola unità modifica la distanza tra gli elettrodi con riduzione della densità di potenza → MFC modulare: piccole unità singole in serie e/o in parallelo.



### ➤ Produzione di bioidrogeno

Sono mantenute condizioni anaerobiche in camera catodica e si applica una tensione aggiuntiva al catodo per superare la barriera termodinamica che si oppone alla generazione di idrogeno da protoni ed elettroni.

### ➤ Biosensori

La correlazione lineare riscontrata tra rendimento coulombiano e carico inquinante delle acque reflue rende la MFC un possibile sensore del BOD.

## CONCLUSIONI

Nonostante i vantaggi teorici, l'utilizzo della MFC è ancora limitato. Sono necessari **miglioramenti**:

- progetto della MFC;
- materiali e distanza degli elettrodi;
- selezione delle specie microbiche;
- evoluzione dei metodi di raccolta di energia;
- MFC con biocatalizzatore e senza membrana;
- materiali convenienti.

La tecnologia MFC potrebbe coesistere con quella di digestione anaerobica, sfruttando la stessa biomassa e producendo energia elettrica e biogas.

L'applicazione della MFC potrebbe portare ad una nuova forma di **valorizzazione dei reflui e dei rifiuti** con produzione diretta di energia elettrica, superando le perdite energetiche nella conversione di combustibili a energia.