

23 aprile 2013

---



Istituto Tecnico Industriale Ettore Molinari

# Energia elettrica dai microbi

*Pierangela Cristiani*

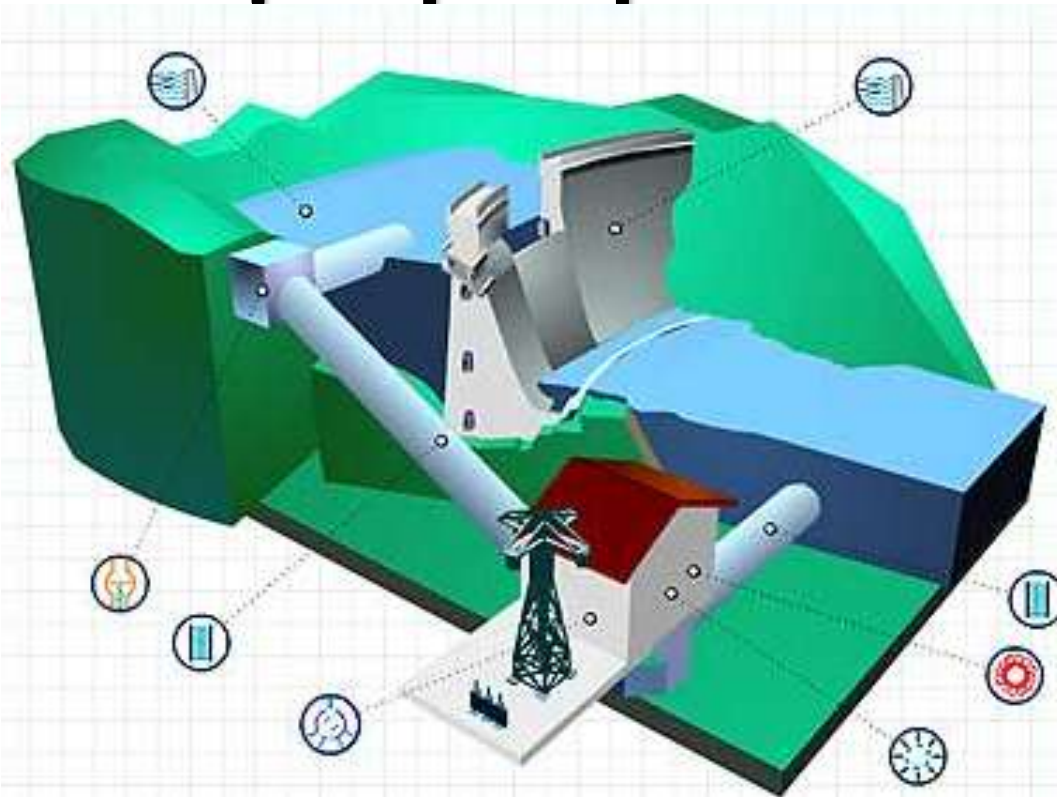
*RSE – Ricerca sul Sistema Energetico SpA*

*Dipartimento Ambiente e Sviluppo Sostenibile*

*Sistemi bioenergetici*

---

# La centrale idroelettrica usa l'acqua per produrre energia elettrica



- Bacino
- Diga
- Turbina
- Condotta Forzata
- Valvola
- Opera di Restituzione
- Trasformatore
- Alternatore

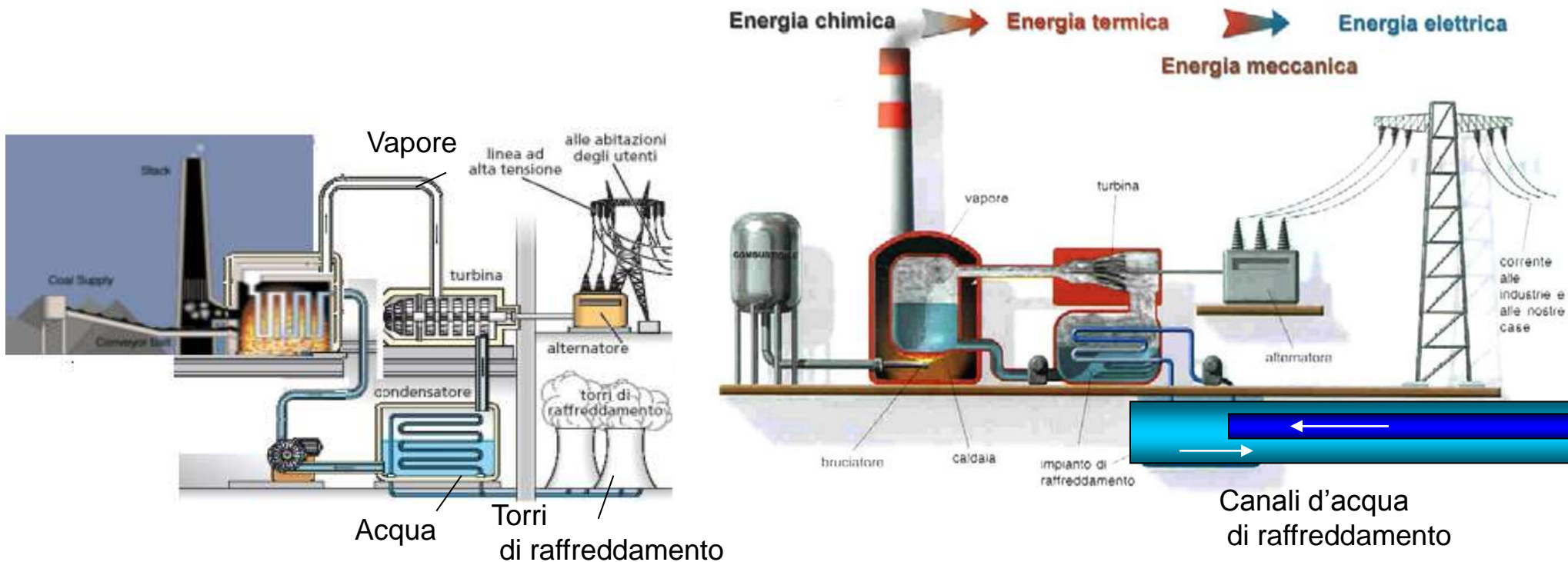
energia potenziale  
↓  
energia meccanica  
↓  
energia elettrica

Potenza installata in Italia: 20.759 MW,  
Energia elettrica prodotta: 51.636 GWh,  
**19,4%** della produzione totale  
(Dati ENEL 1999).

L'acqua di processo non subisce nessun trattamento.  
La forte velocità impedisce l'insediamento degli organismi sessili nelle condotte.  
I pesci devono poter evitare di entrare nelle condotte di ingresso e uscita  
(barriere all'ingresso e scale di rimonta per salmoni all'uscita, ecc...).

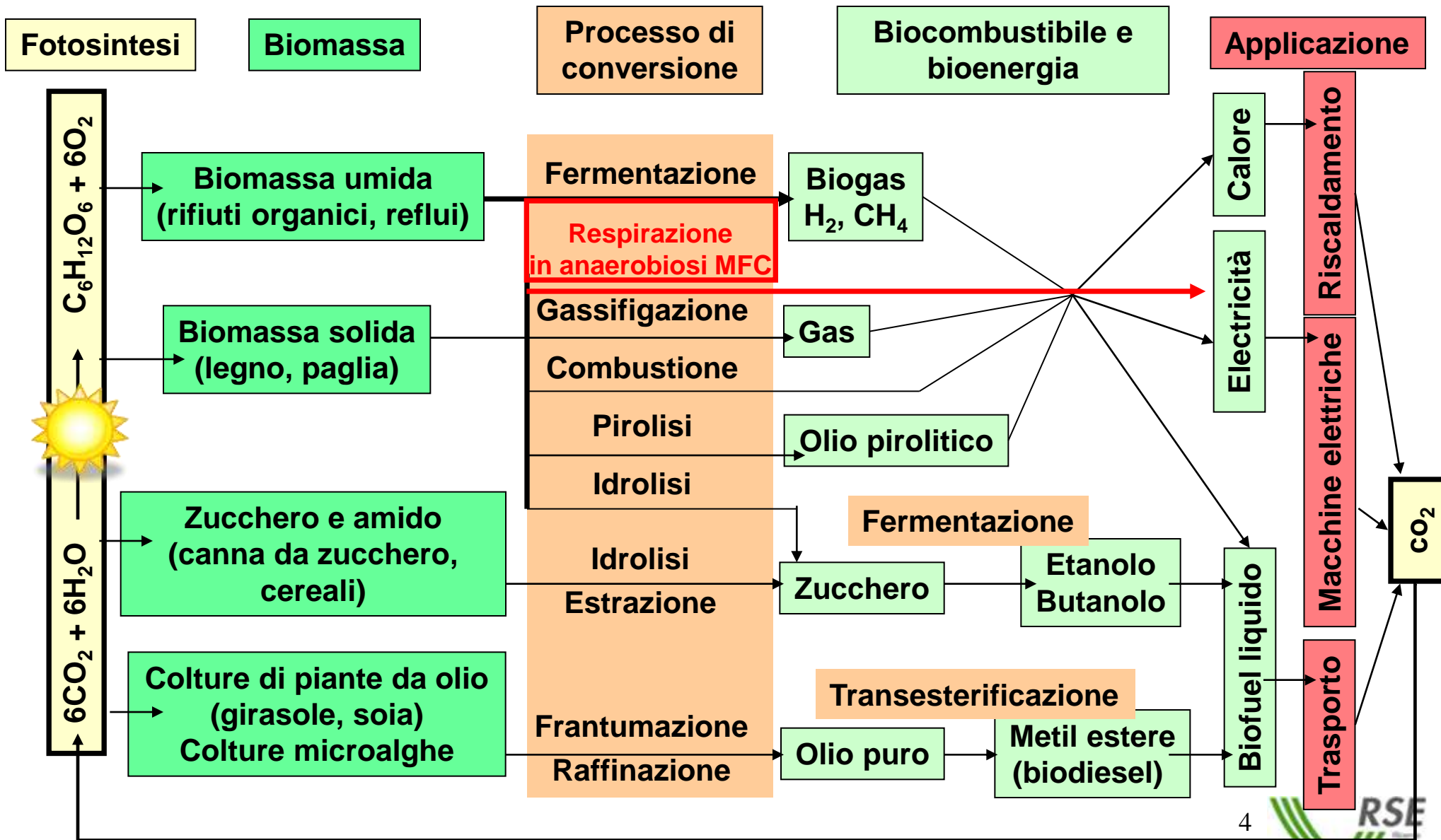
# La centrale termoelettrica usa la combustione per produrre energia elettrica e l'acqua come recettore di calore

Rendimento del ciclo termoelettrico: ~ 65% calore ~ 35% Energia elettrica



52.584 MW, 209 TWh 71% produzione totale (del 1999)

# Biomassa → Bioenergia

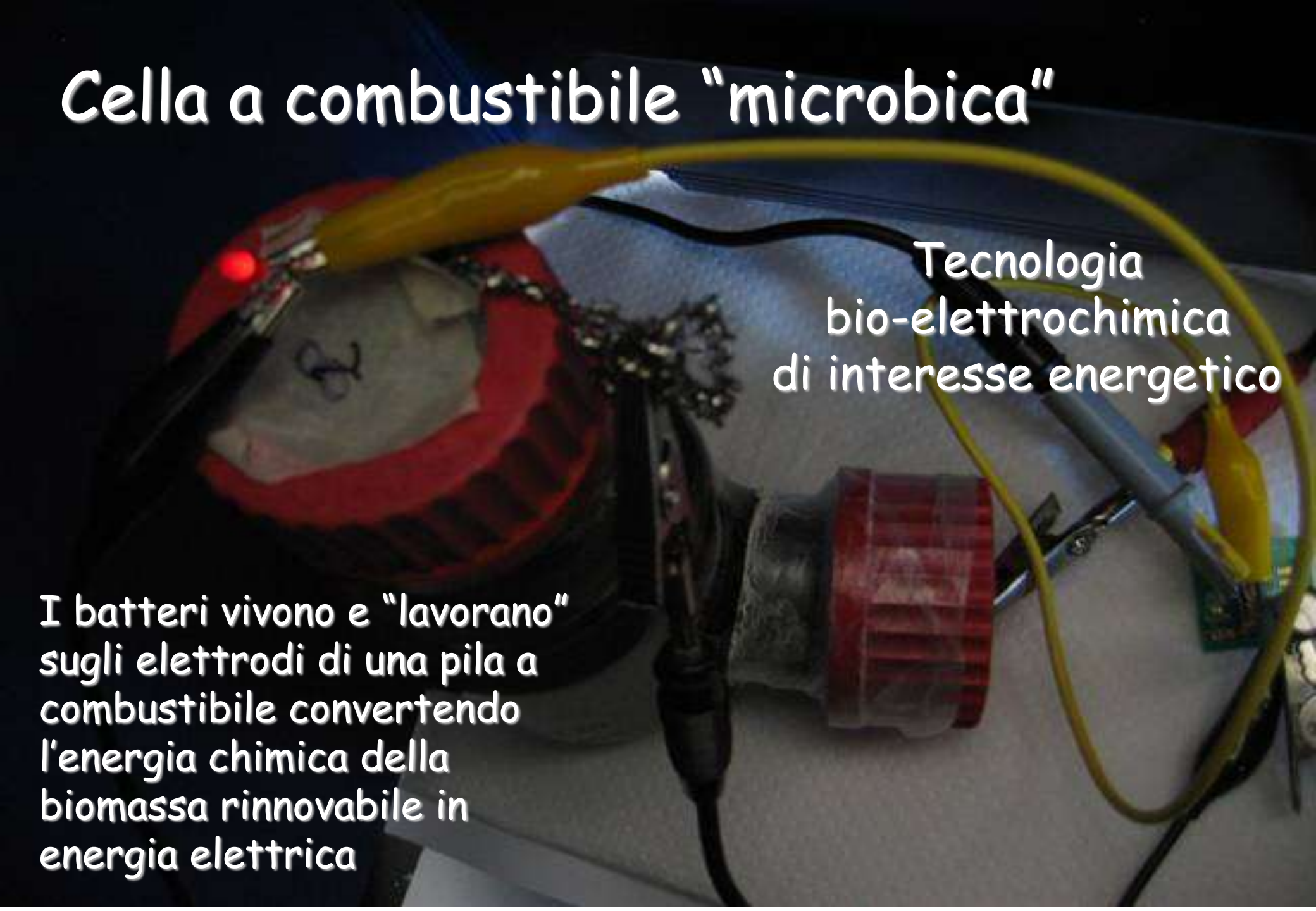




# Cella a combustibile "microbica"

Tecnologia  
bio-elettrochimica  
di interesse energetico

I batteri vivono e "lavorano"  
sugli elettrodi di una pila a  
combustibile convertendo  
l'energia chimica della  
biomassa rinnovabile in  
energia elettrica

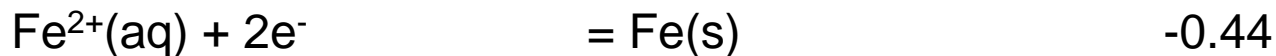


# Tabella potenziali di riduzione

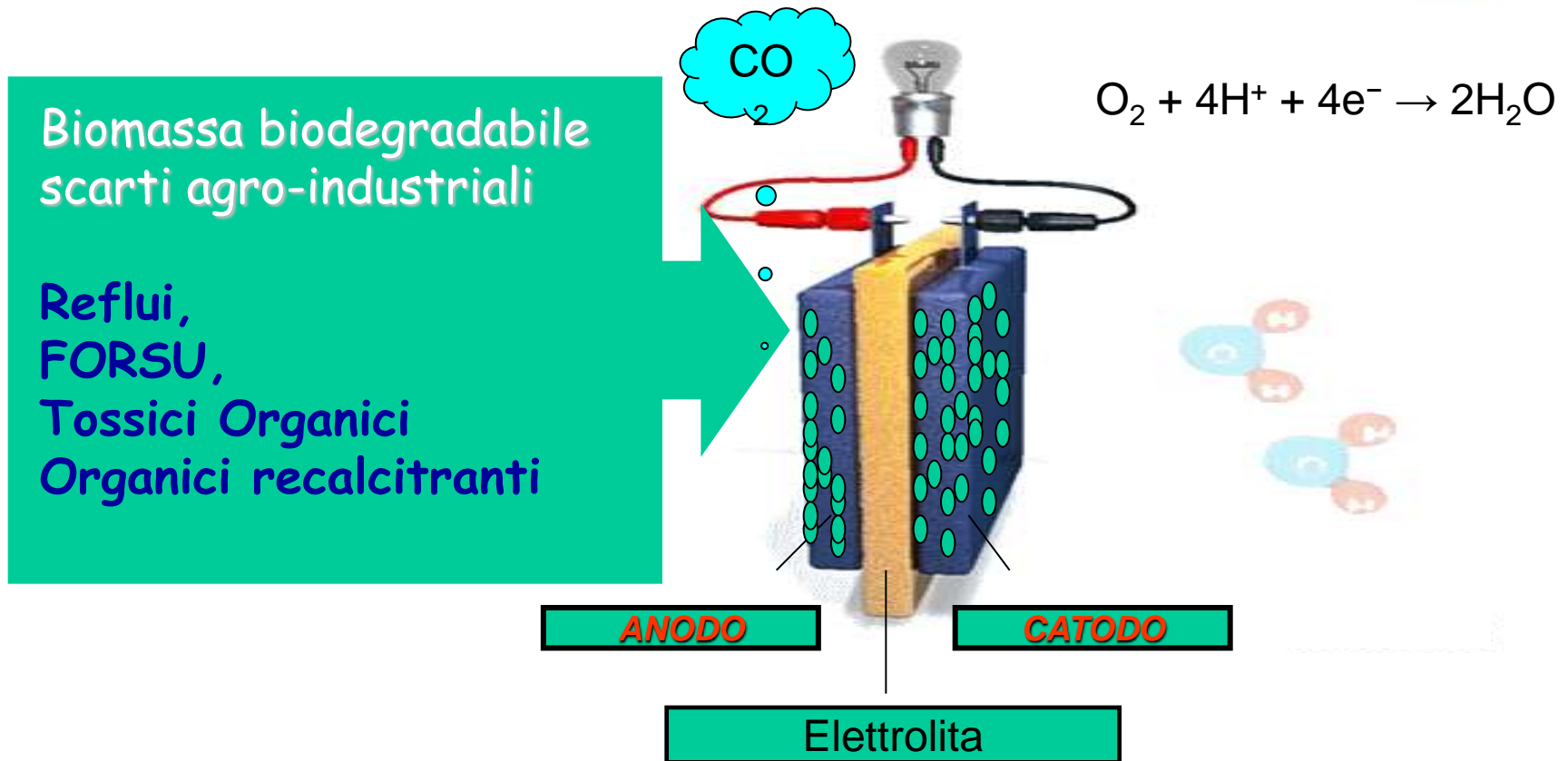
$O_2 (g) + 4H^+(aq) + 4e^-$	$= 2H_2O(l)$	+1.23
$NO_3^-(aq) + 4H^+(aq) + 3e^-$	$= NO(g) + H_2O(l)$	+0.96
$SO_4^{2-}(aq) + 4H^+(aq) + 2e^-$	$= H_2SO_3 (aq) + H_2O(l)$	+0.17
$O_2 (g) + 2H_2O(l) + 4e^-$	$= 4OH^-(aq)$	+0.40
$NO_3^-(aq) + H_2O(l) + 2e^-$	$= NO_2^-(aq) + 2OH^-(aq)$	+0.01



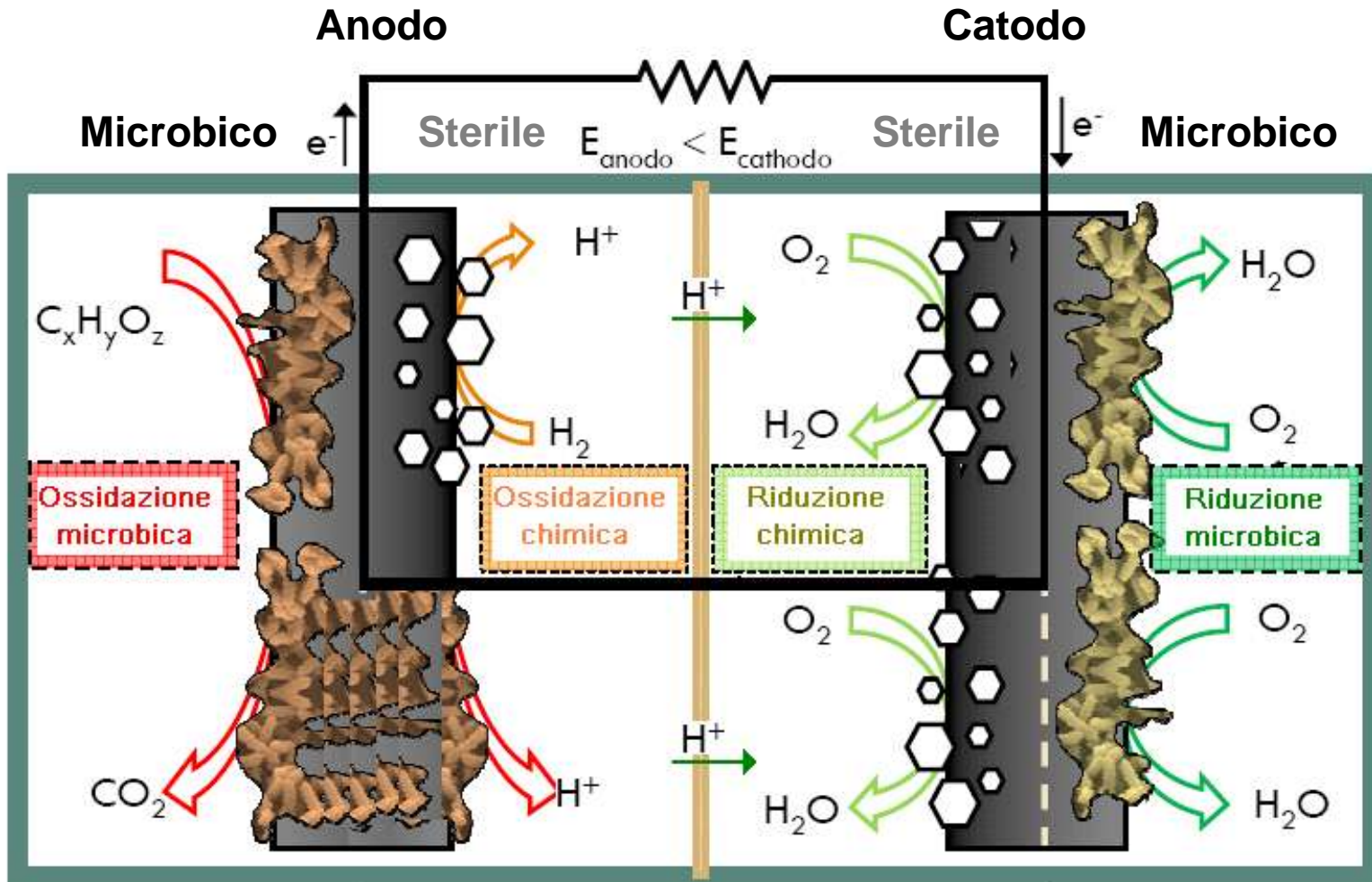
alcani < alcheni < alcoli < alchini < aldeidi < chetoni < acidi carbossilici < anidride carbonica



# Cella a combustibile Microbica



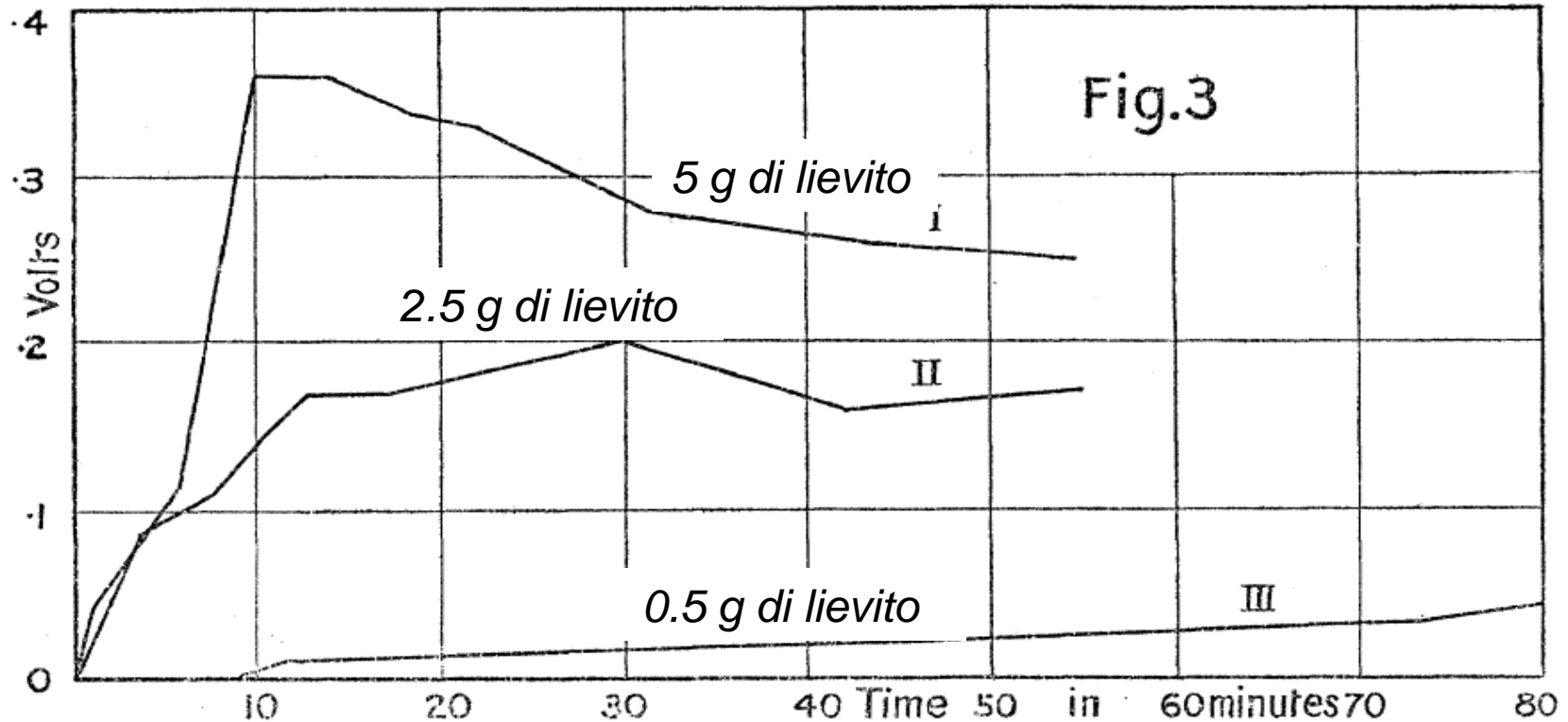
# Celle a combustibile





# LA STORIA: 1911- Cella galvanica di Potter

Botanico dell'Università di Durham (UK)



*Coltura di lievito (Saccaromyces cerevisiae e batteri) in soluzione 10 % di glucosio all'anodo e soluzione di glucosio 10 % sterile al catodo.*

Jan. 11, 1966

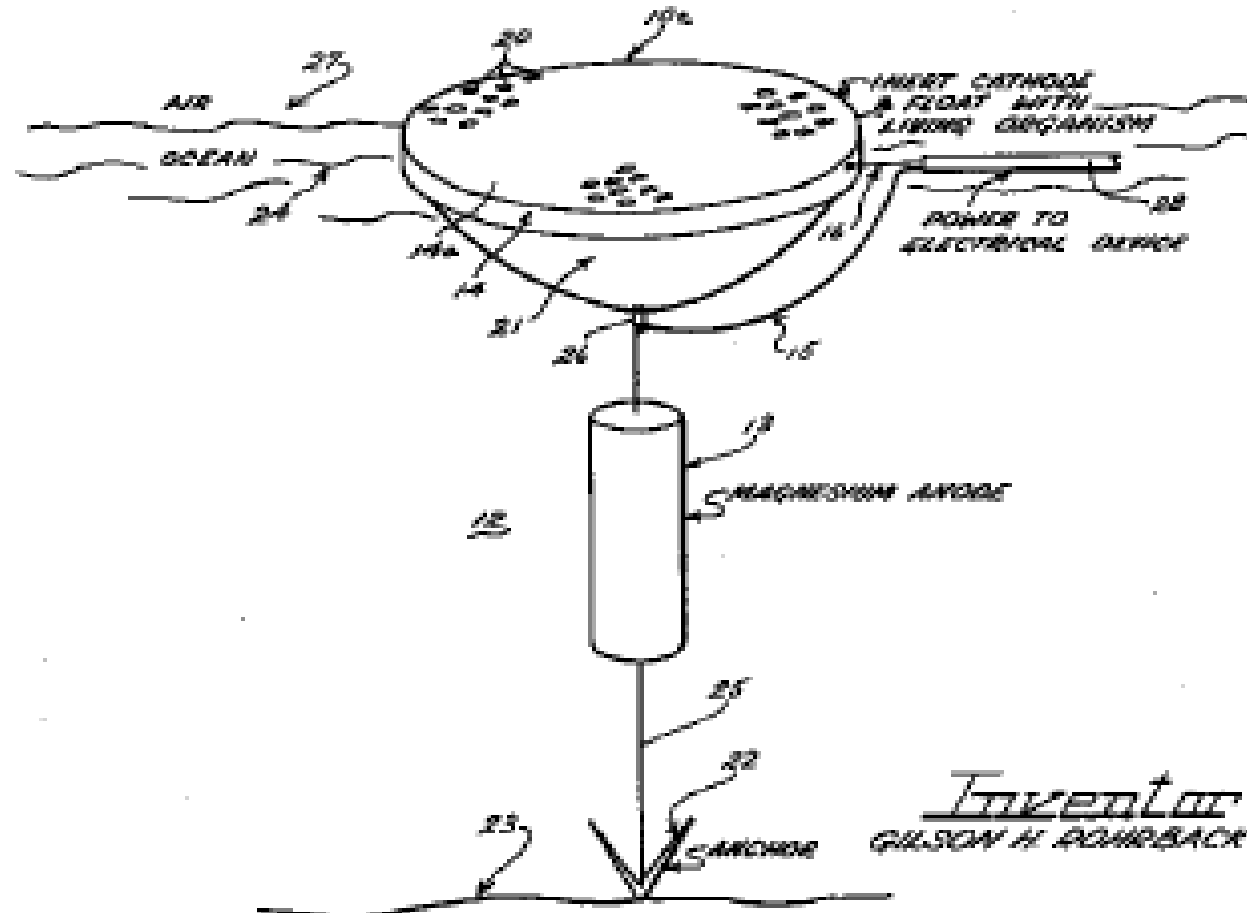
G. H. ROHRBACK

3,228,799

BIOLOGICAL ELECTRICAL POWER GENERATION

Filed Aug. 1, 1960

5 Sheets-Sheet 4



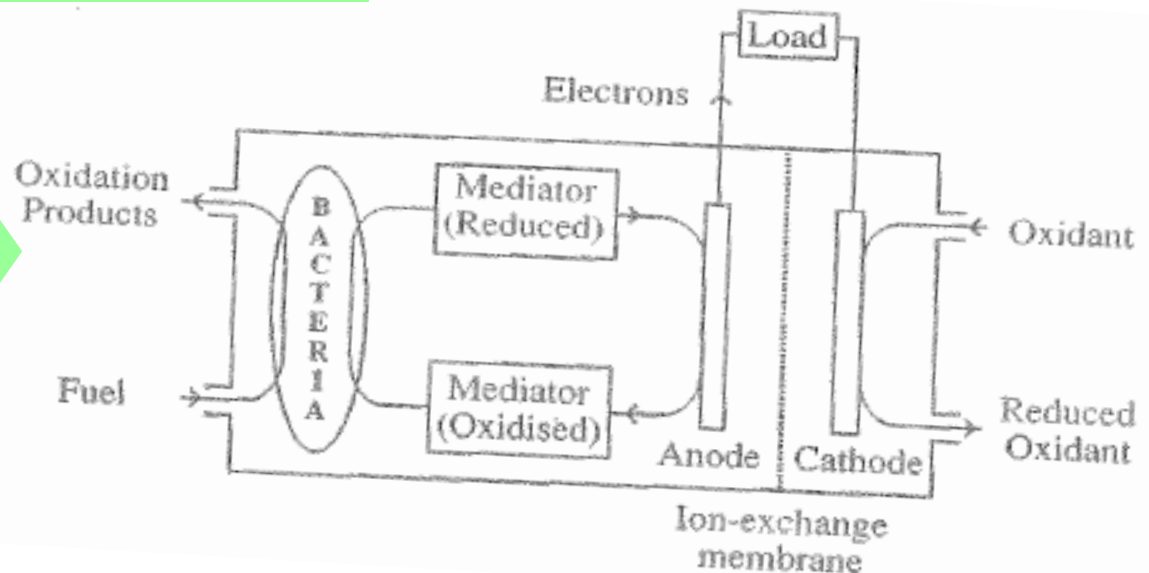
By Hill, Sherman, Munn, Kass & Simpson Attorneys

# Il Depuratore potrà diventare una "microbial power station"? Una sfida degli anni 2000



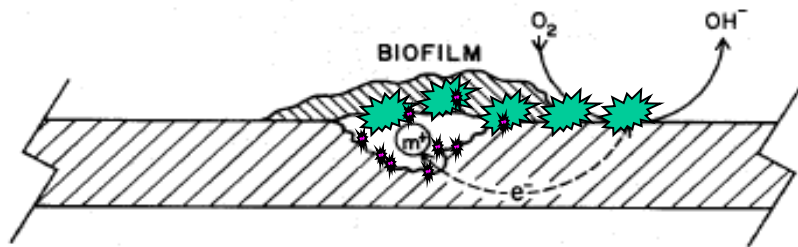
MFC able to remove pollutants from wastes and wastewaters generating electrical current (Habermann and Pommer, 1991)

MFC could be useful especially in the developing countries for a decentralize power production.  
Allen and Bennetto (1993)

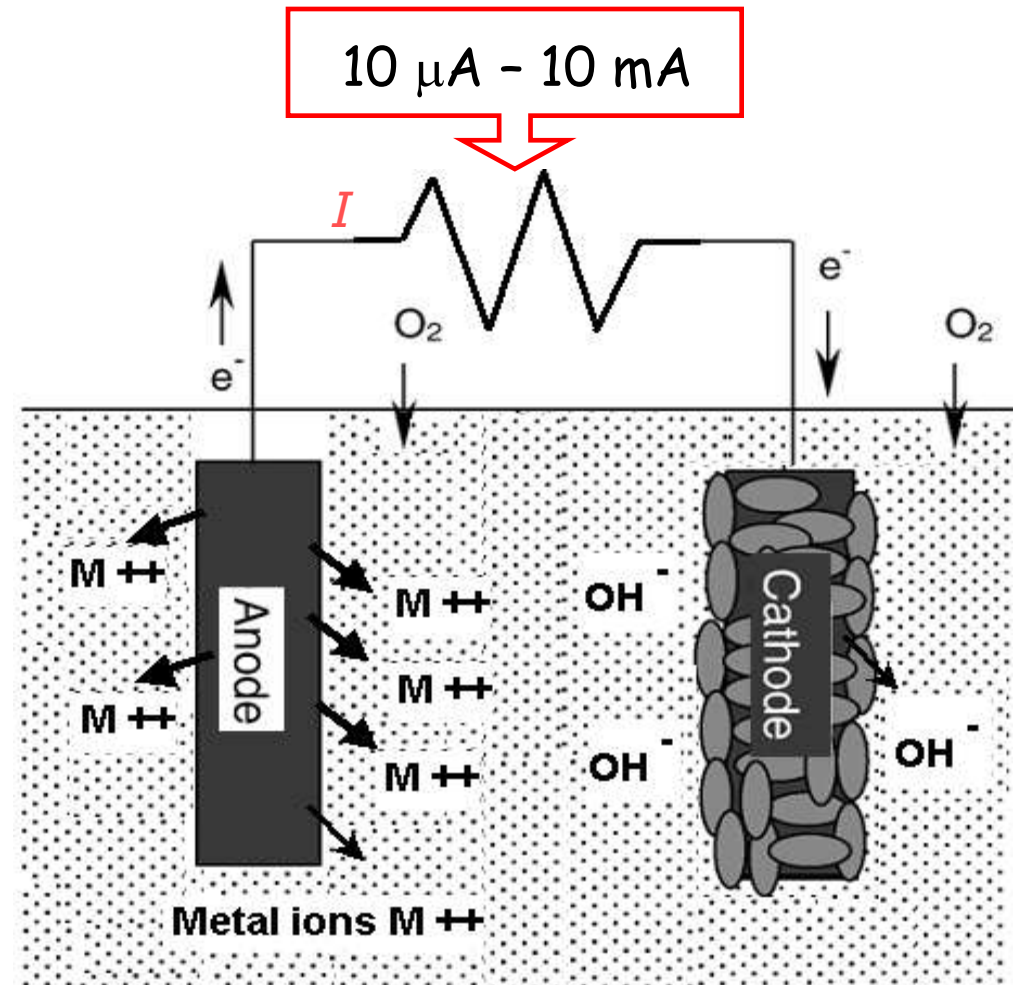


# Anni 90': Sensori elettrochimici di biofilm

L'elettro-attività dei batteri è stata inizialmente utilizzata per combattere il biofilm! ...  
... e la corrosione microbiologica

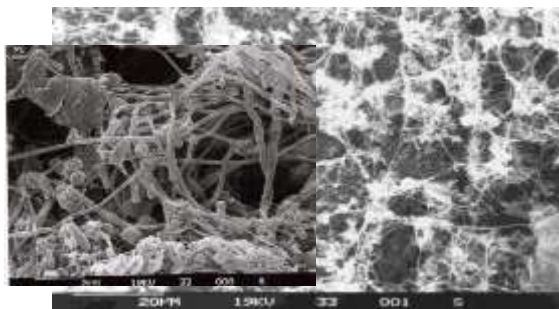
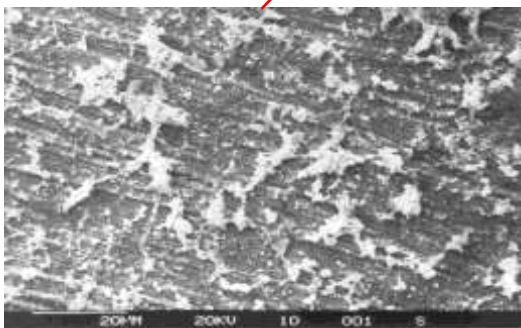
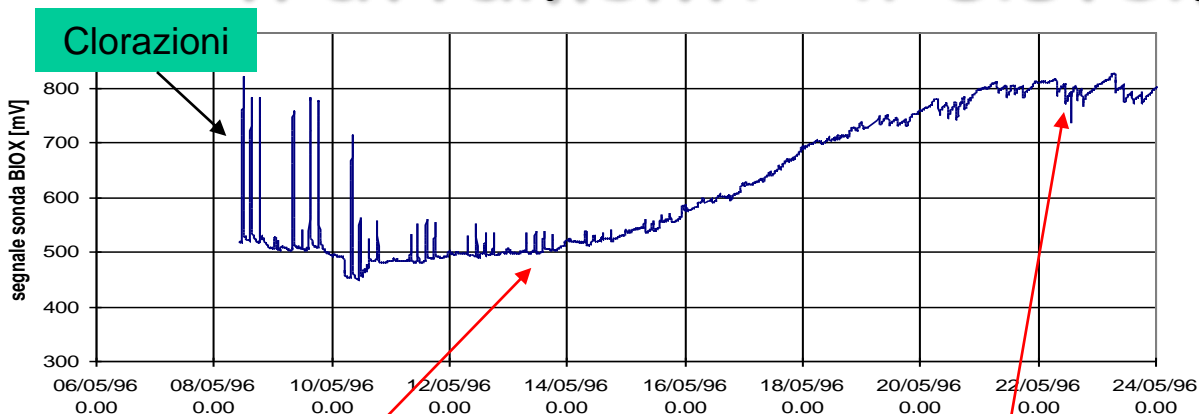


Un semplice sensore elettrochimico di biofilm si ottiene accoppiando galvanicamente l'acciaio inossidabile ad un anodo sacrificiale di zinco (sonda BIOX)





# Monitoraggio e ottimizzazione dei trattamenti: il sistema BIOX

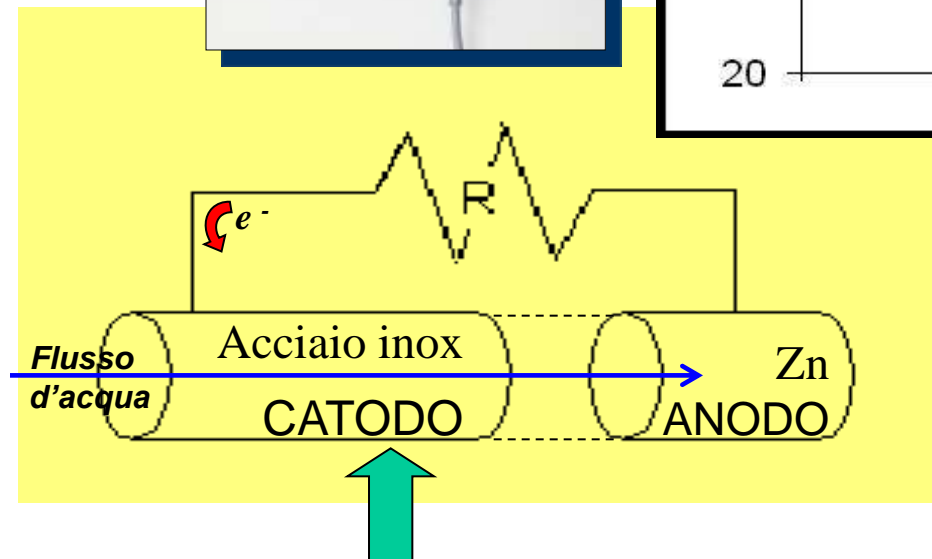
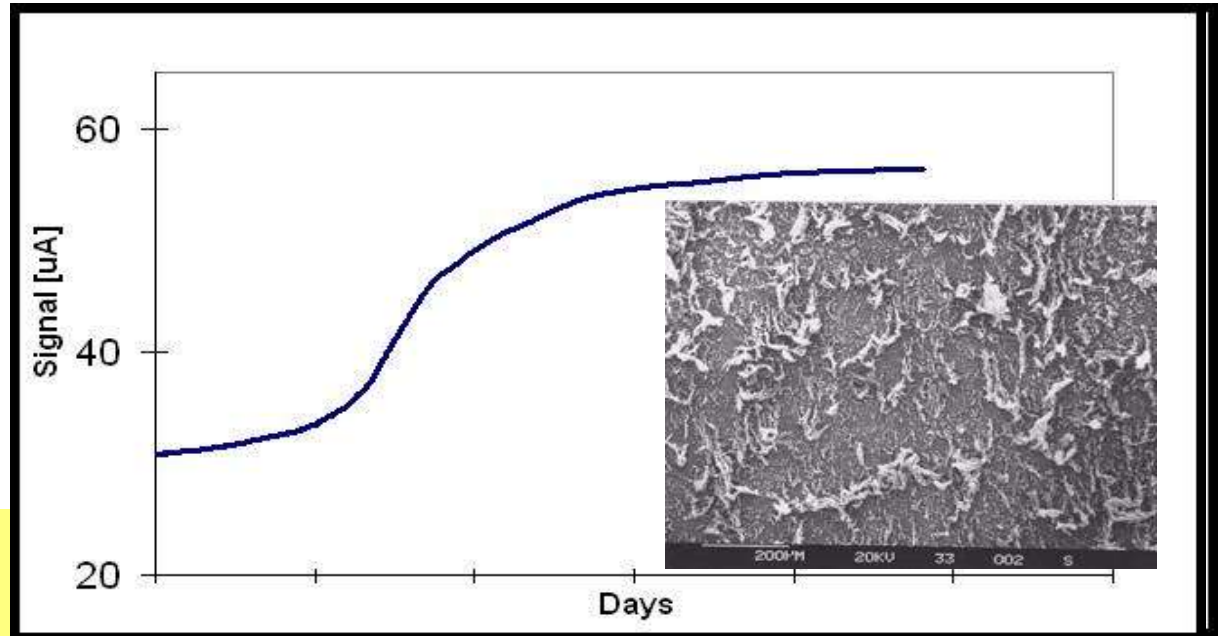
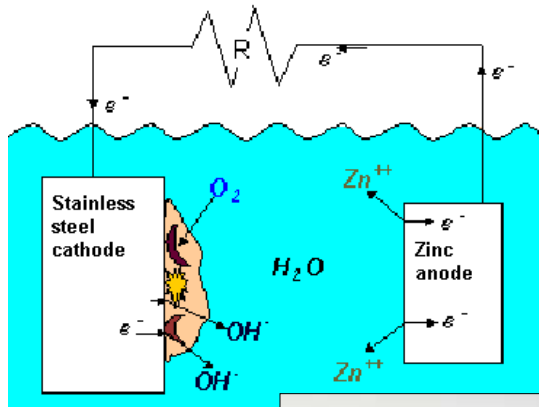


Il sistema BIOX è un'apparecchiatura di monitoraggio elettrochimico on-line che impiega uno speciale sensore elettrochimico, la cui risposta è correlata ai cambiamenti dei processi cinetici catodici indotti dalla crescita di batteri aerobici sulla superficie degli elettrodi o dagli agenti ossidanti disciolti nell'acqua.

La sonda elettrochimica BIOX segnala la crescita di un primo stadio di biofilm ( $10^6 - 10^7$  unità/cm di batteri sulla superficie dell'elettrodo) ed è contemporaneamente sensibile alla presenza di specie ossidanti quali: **cloro, bromo, biossido di cloro, acido peracetico, acqua ossigenata, ozono ed altri**, nell'intervallo di concentrazioni utilizzate per i trattamenti (Cristiani 2002).

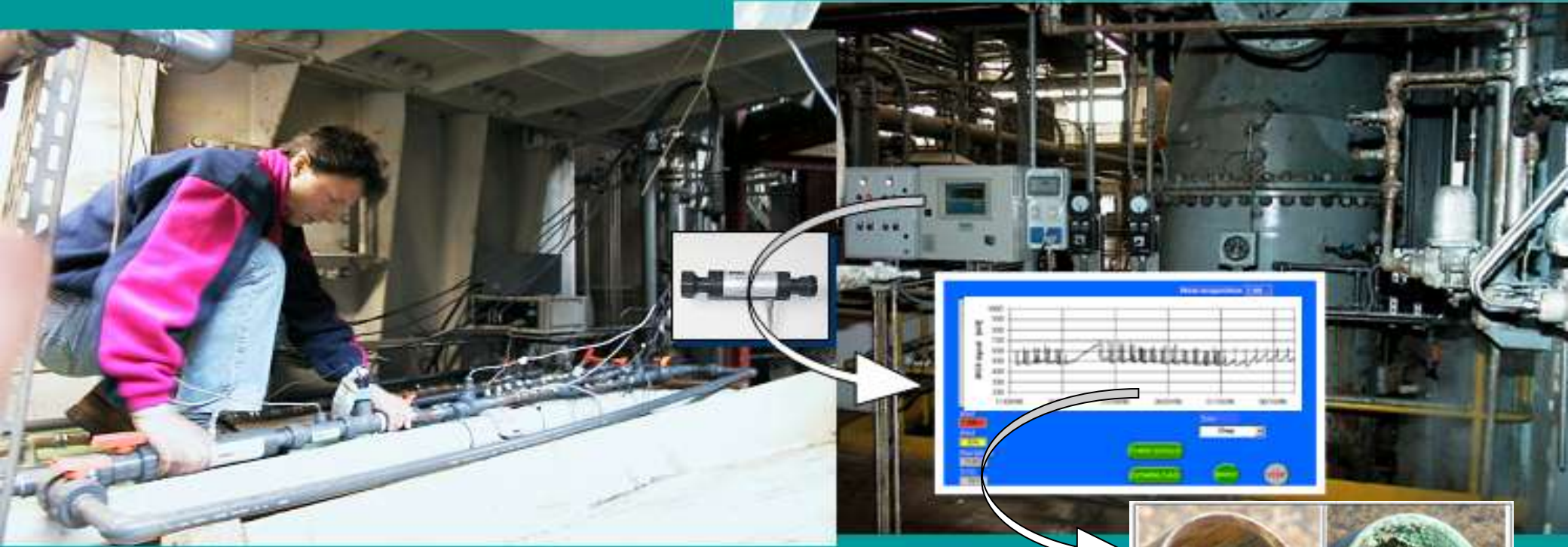


# BIOX: Una speciale pila microbica sensore di biofilm



Il biofilm insediato sul catodo di acciaio inossidabile catalizza la reazione di riduzione dell'ossigeno e la corrente nella pila aumenta, sostenuta dalla dissoluzione di ioni zinco (Mollica e Cristiani 1996)

# Applicazione industriale dei sensori di biofilm BIOX



I sensori di biofilm sono utilizzati per ottimizzare i trattamenti antifouling nei circuiti di raffreddamento industriali (In Europa e in USA)





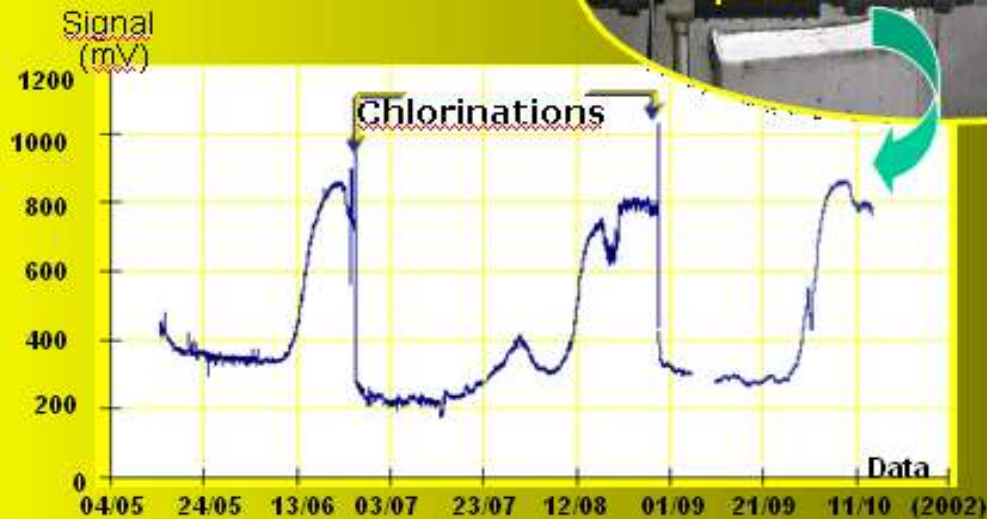
# Applicazioni dei sensori di biofilm in acquedottistica



Potenziali applicazioni:  
Early warning

Prevenzione:

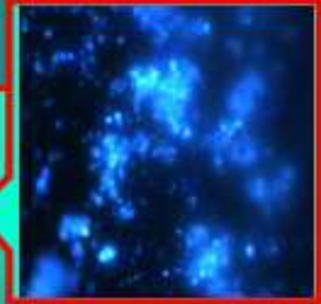
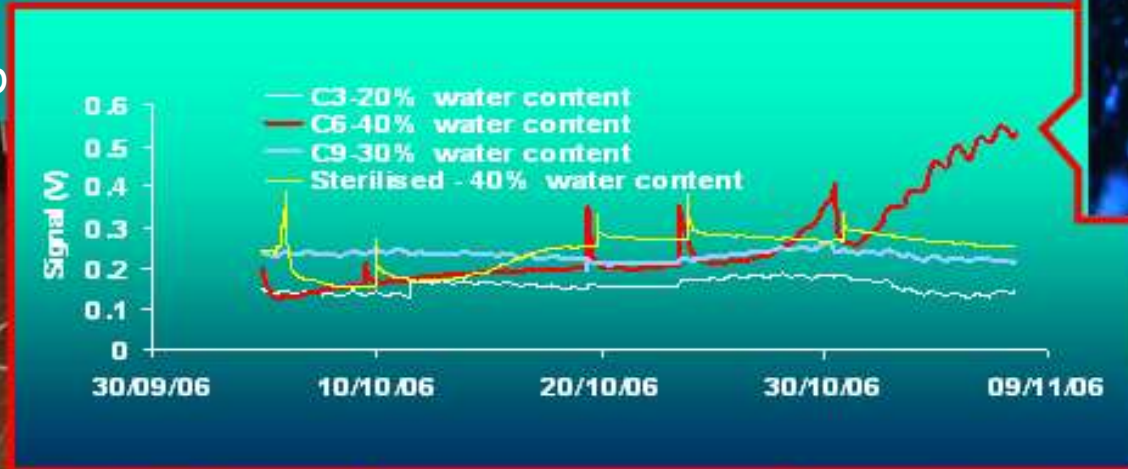
- della corrosione
- del rischio patogeno
- del rischio di attacchi terroristici chimici



# Sensori di biofilm nel terreno

Potenziati applicazioni:  
Ottimizzazione dei  
processi di biorisanamento

- suoli
- discariche
- fitodepurazione
- acque



Biofilm at  
Epiyfluorescent  
microscopy



[Cristiani et al. 2002]

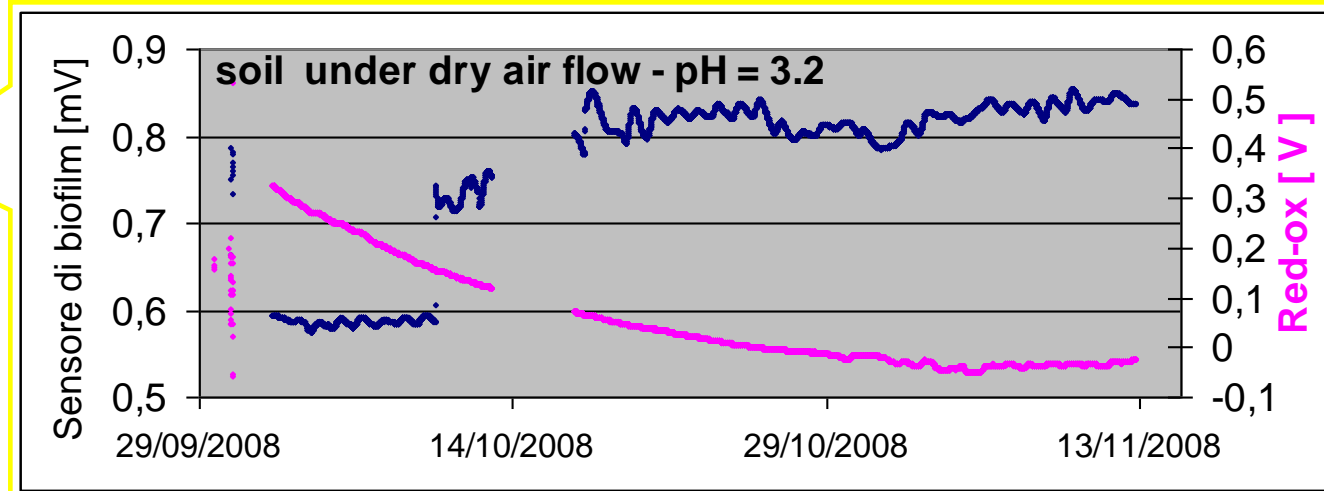
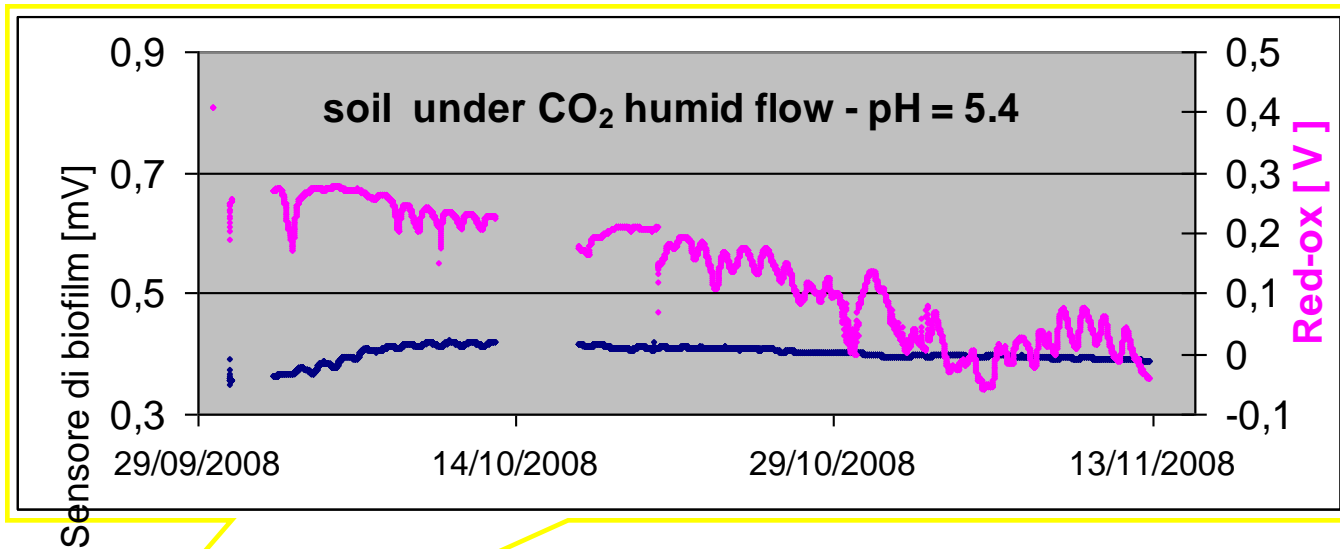


Biofilm probes



SOIL MICROCOSMOS

# Monitoraggio dell'impatto di $CO_2$ nel suolo





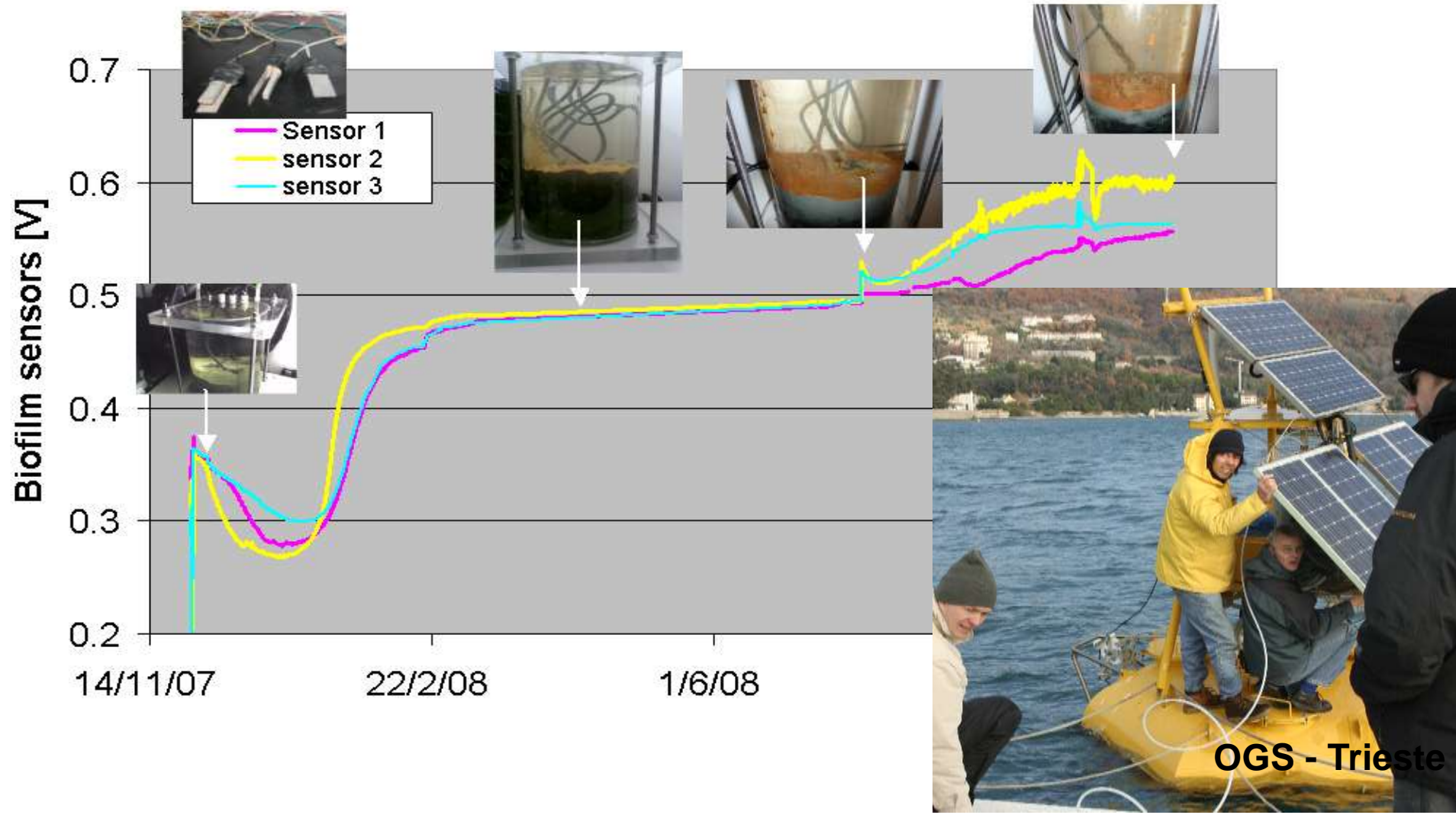
# Impatto di flussi di $\text{CO}_2$ in fuoriuscita dal terreno propedeutici al CCS\*



\* Carbon Capture and Storage

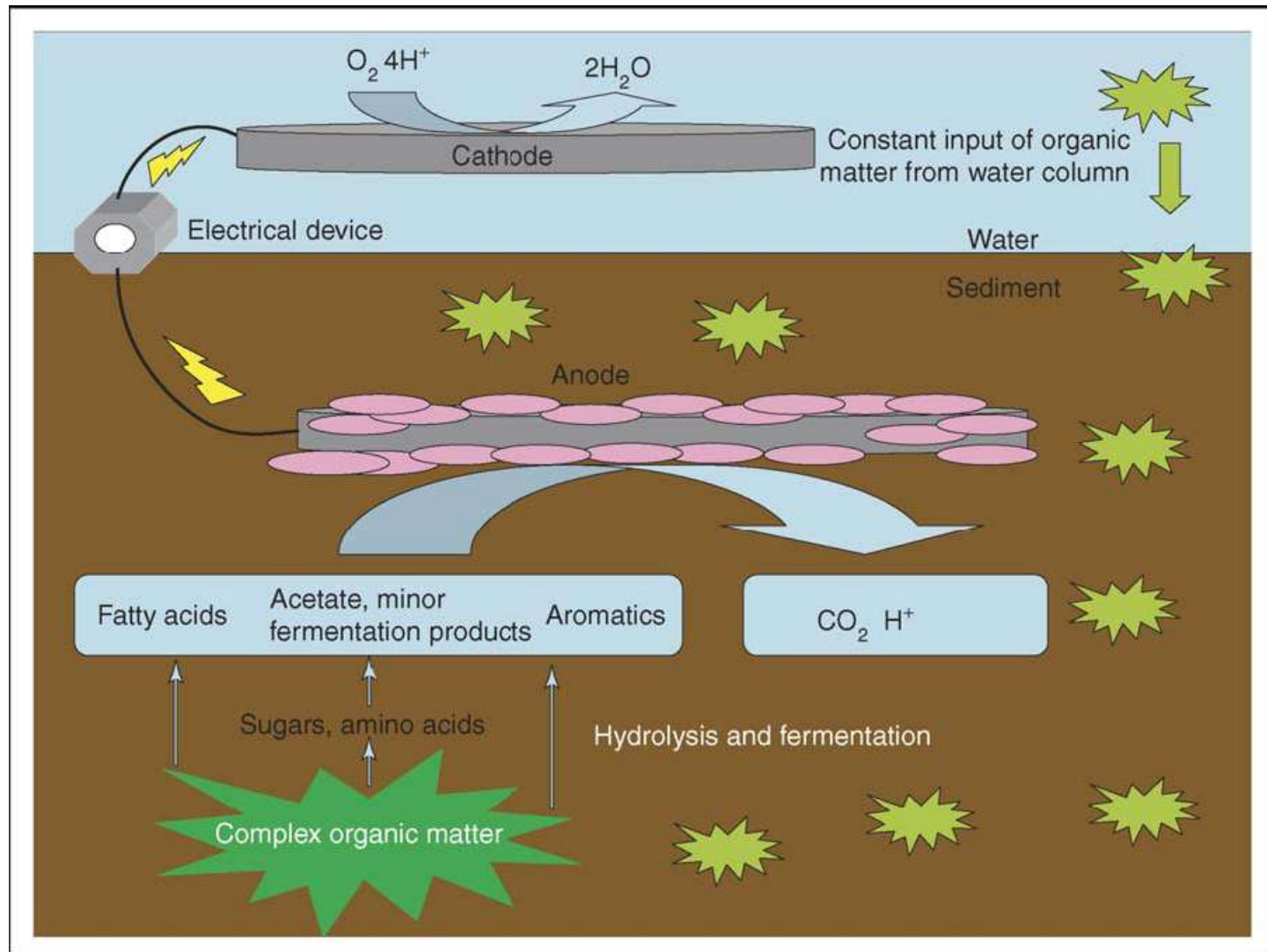
# Monitoraggio del biofilm in sedimenti

## Anaerobic marine sediments





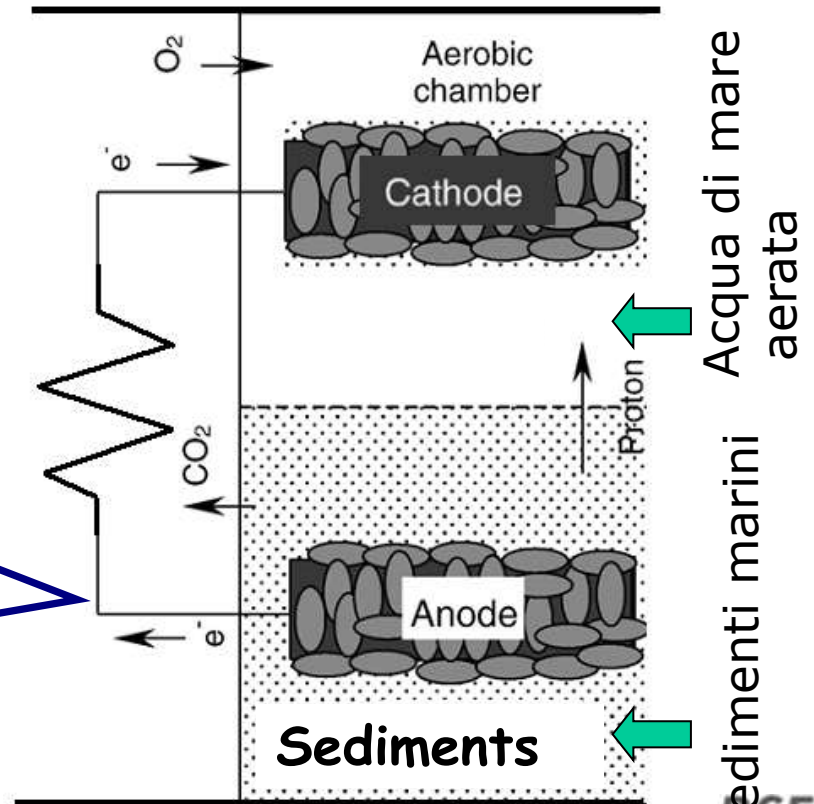
# Energia elettrica dai sedimenti marini



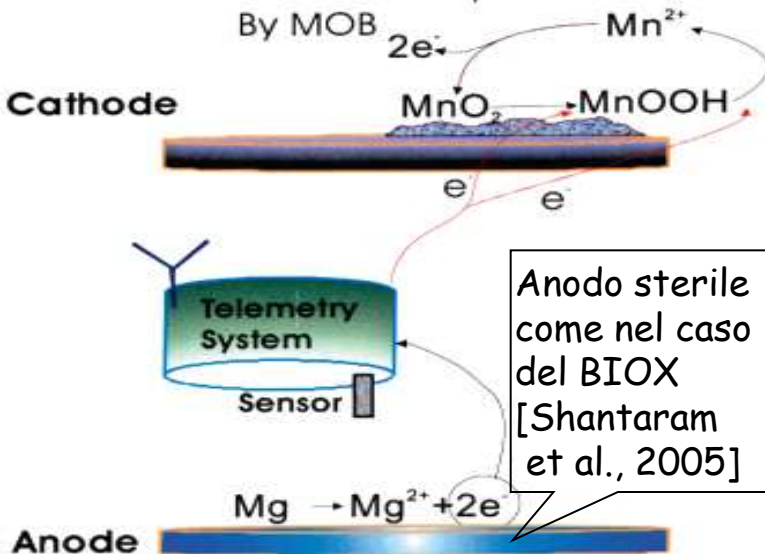
# Energia elettrica dai sedimenti marini, più che un segnale!



ISMAR Laboratorio CNR - Genova

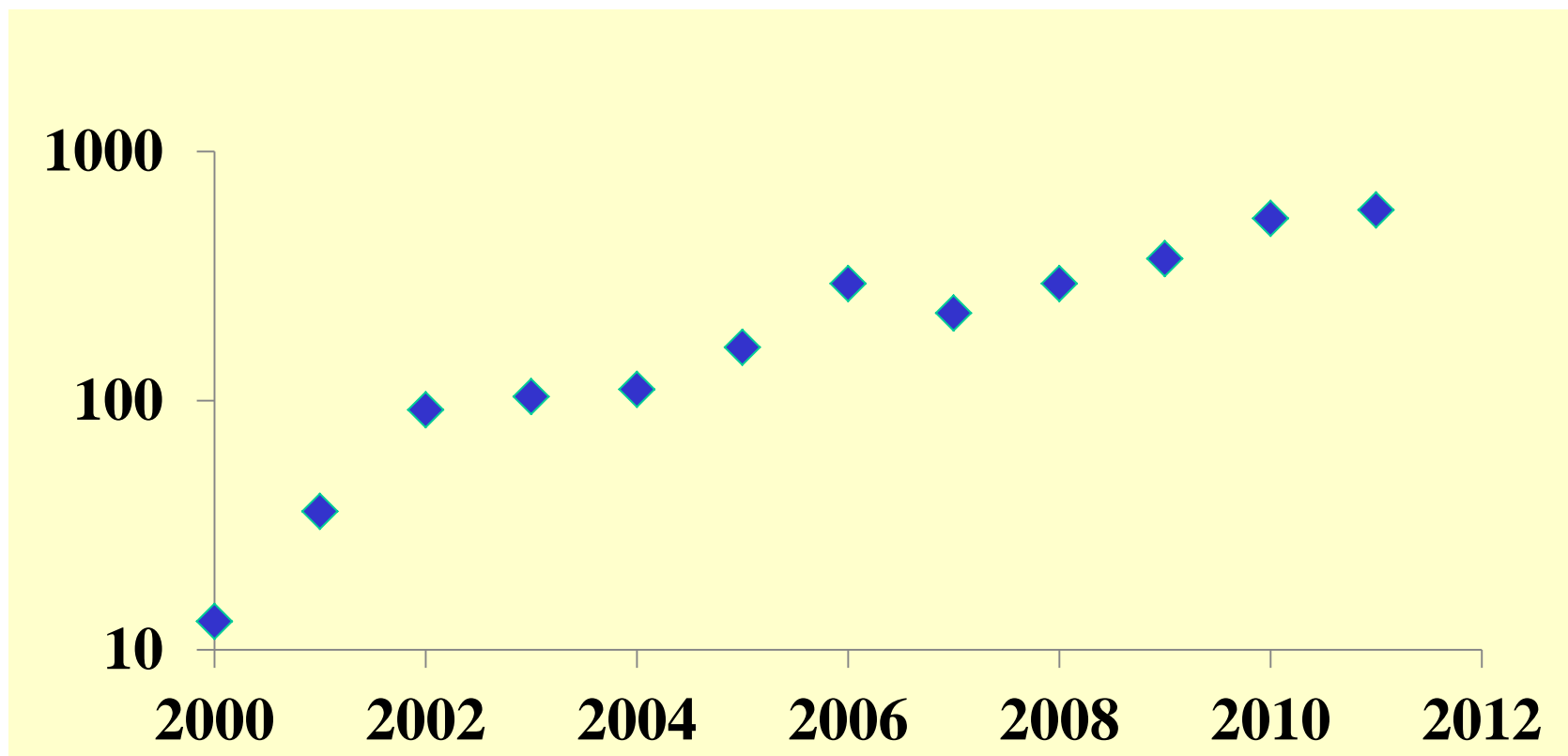


Microbial deposition  
By MOB



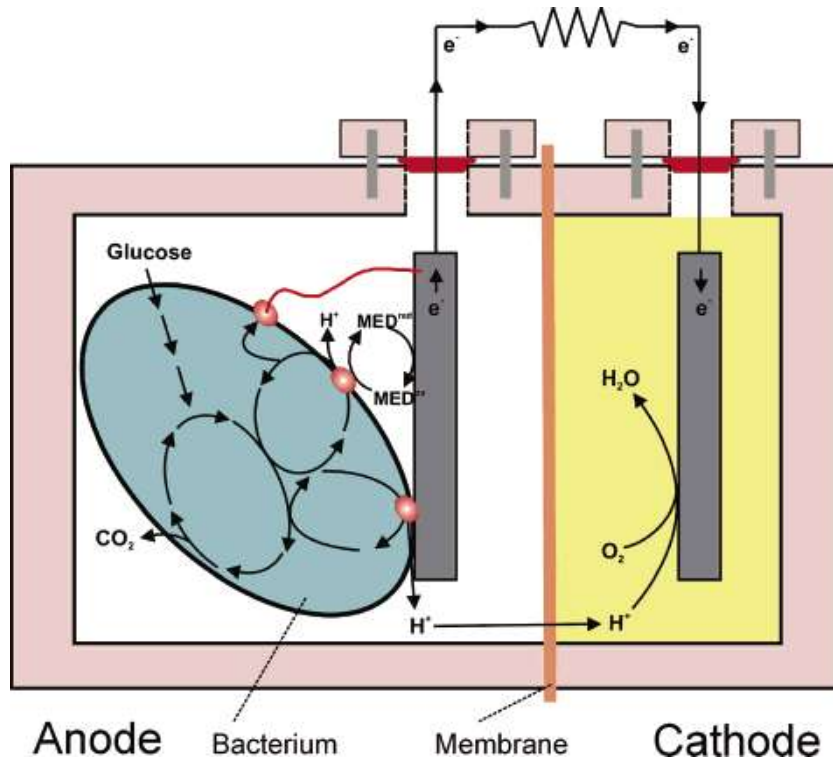
**Biofilm  
anche  
all'anodo!**

# Anni 2000: Pubblicazioni scientifiche riguardanti esplicitamente le MFC (dati Scopus)



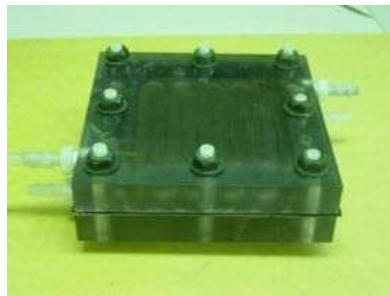
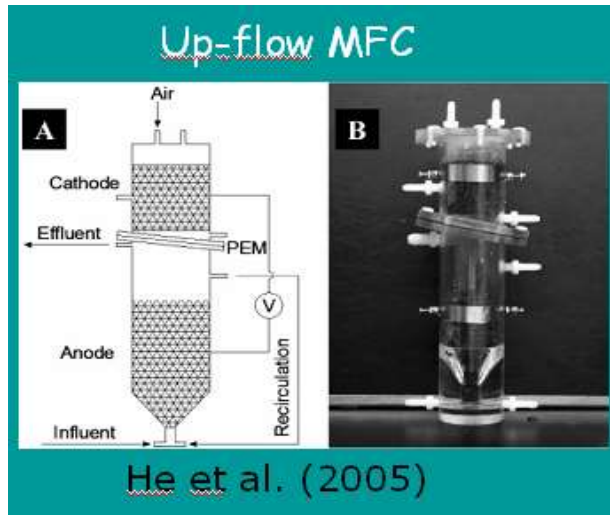
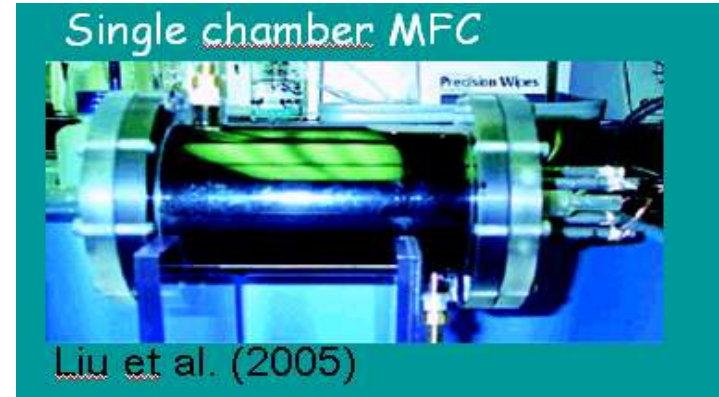
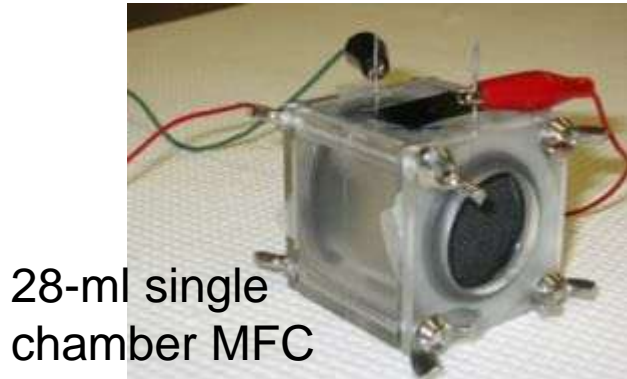


# Meccanismi di trasferimento degli elettroni dal biofilm all'anodo già studiati dagli anni '90



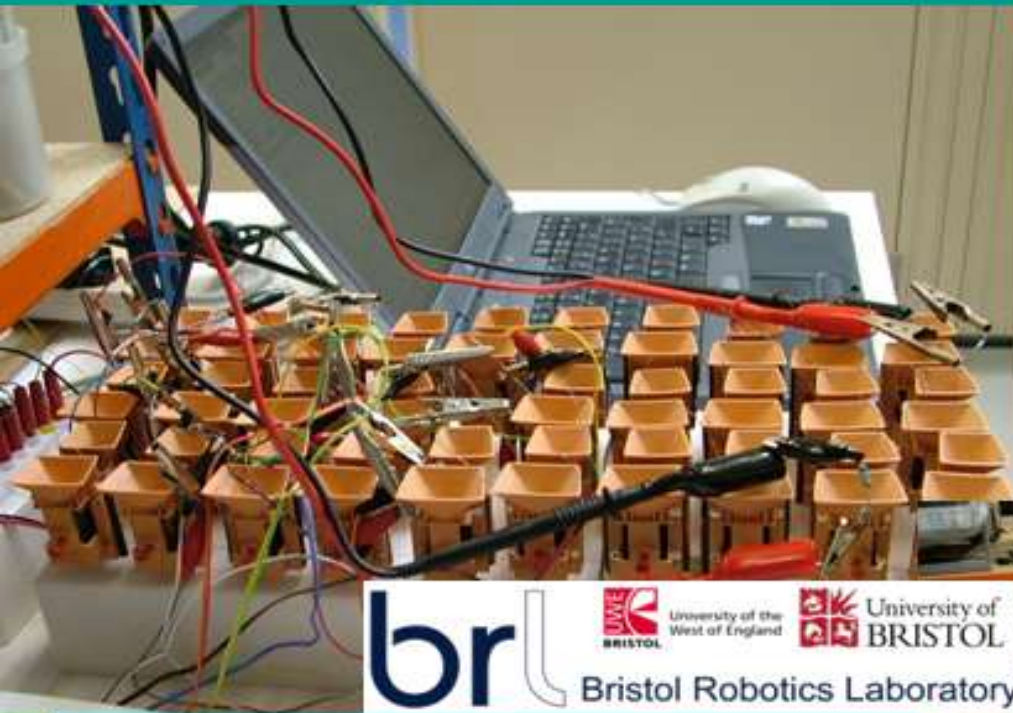
- Enzimi elettrotrasportatori (citocromi) sulla membrana cellulare o nella zona extracellulare
- Micro-pili conduttivi (Nanowires)
- Mediatori riducenti rilasciati in soluzione (come flavine e fenazine)
- Biopolimeri conduttivi sulla membrana

# Differenti configurazioni di microbial fuel cells (MFC)



# Stacks in serie e in parallelo

Un alto numero di MFC, connesse in serie o in parallelo necessario per produrre un output di potenza/corrente utile



Aelterman et al. (2006)



*With permission*

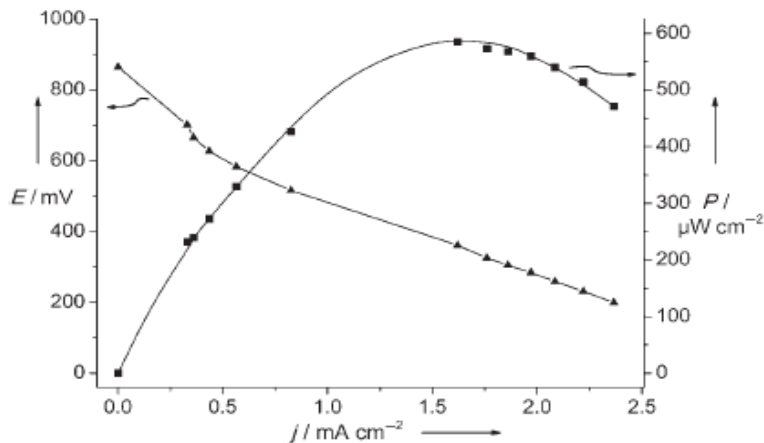


Shin et al. (2006)

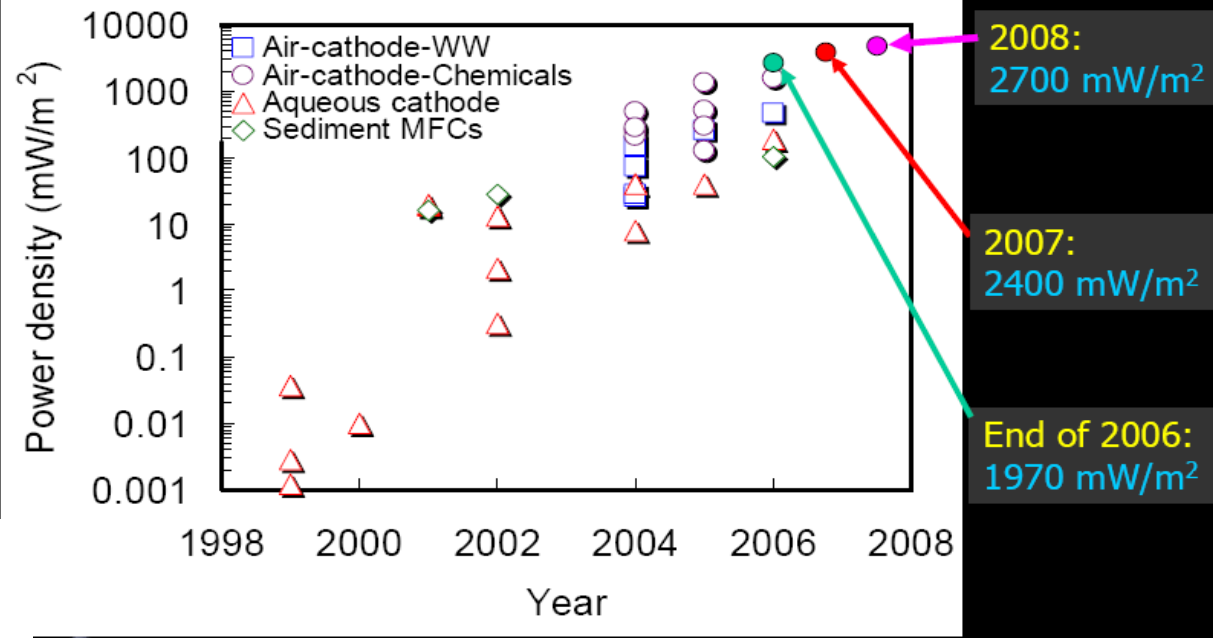


# Le migliori Performances

## Generazione elettrica



[Maximum Power Rosenbaum et al., 2006]

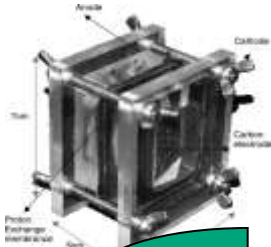


### Logan 2008

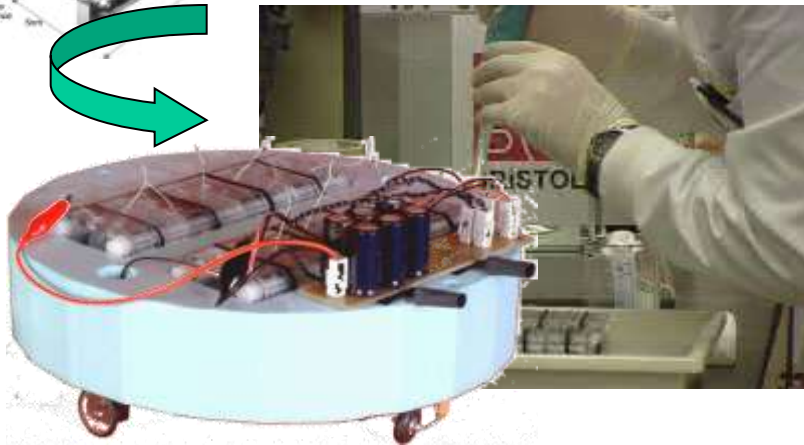
	$P_v$ max (W/m <sup>3</sup> )	Voltage at $P_v$ max (mV)	Current at $P_v$ max (mA)
Series Stack	228	2018	41
Parallel Stack	247	349	255
Individual MFC	258	395	40

[Verstraete, 2008]

# MFC per alimentare robots



Moving robots



Ieropoulos et al. (2003, 2006)

**Raw unrefined fuel:** rotten fruits, dead insects

Anodes containing pure cultures of *E. coli*

O<sub>2</sub> cathode MFCs containing sludge microbes

4 types of behaviour proved: **sensing, processing, communication, actuation**





# Energia dalle acque reflue

Esempio: IMPIANTO di 100000 utenti

- Consumo di acqua pro capite: 300 l/giorno (110 m<sup>3</sup>/anno)
- Contenuto di COD: 300-500 mg/l
- Fattore di conversione: kJ/g<sub>COD</sub> 14.7 (3511 cal/g)

L'Efficienza del 10% è sufficiente per le esigenze del processo



$$\text{Potenza media} = 3.472 \cdot 10^{-3} \text{ l/s} \cdot 0.4 \text{ g/l COD} \cdot 14.7 \text{ kJ/g COD} \cdot 10^5 \text{ persone} \cdot 0.1 \text{ Efficienza} \cong 200 \text{ kW}$$

$$\text{Energia} = \begin{cases} 200 \text{ kW} \cdot 3600 \text{ s} = 720 \text{ MWh} \\ 720 \text{ MWh} \cdot 8760 \text{ ore (1 anno)} = 6307.2 \text{ GWh/anno} \end{cases}$$

$$\text{Potenza} = \frac{\text{Energia (Lavoro)}}{\text{Tempo}}$$

1 W → potenza per sollevare di 1 m un corpo di 102 g (massa) in 1 secondo

$$\text{Energia: } 1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$$

1 J → Calore per innalzare di 1 °C (da 14.5 a 15.5) 1g di acqua a livello del mare (1 atm)

# La depurazione nell'impianto di Nosedo (Milano)



Ogni giorno entrano nel  
depuratore di Nosedo  
432.000 m<sup>3</sup> di  
liquami



Dopo 21 ore, attraverso  
una serie di processi chimici  
e biochimici, ne escono acque  
completamente ripulite



## Il processo di depurazione origina due tipi di rifiuti



Materiale di scarto grigliato  
3.000 ton/anno



Fanghi di depurazione disidratati  
60.000 ton/anno (27% di secco)

Ogni anno 60.000 tonnellate di fanghi,  
il peso di 1.000.000 di cittadini di taglia media,  
vengono caricate su automezzi pesanti  
e trasportate per il loro smaltimento  
in agricoltura nel Pavese e nel Lodigiano





# Celle a combustibile microbiche

**Impianto pilota MFC  
Foster's Brewery  
Birsbarne Australia**

**2 modules of 12  
tubular open air MFC  
Volume: 2.5 mc**

**Trattamento:  
20kgCOD/2.5mc\*d**

**1kW/2.5mc**



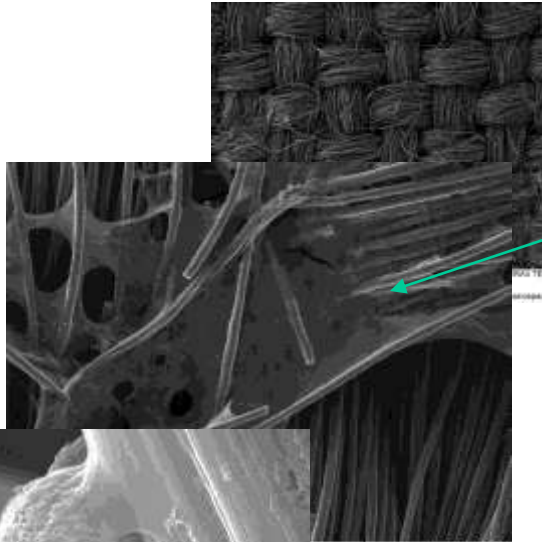
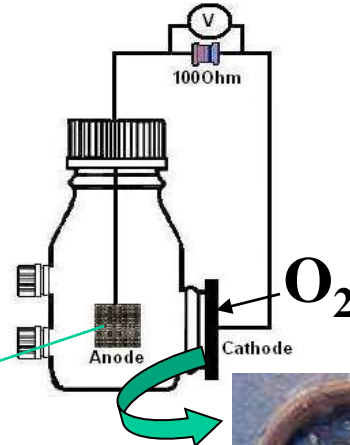
**University of Queensland: K. Rabaey and J. Keller  
Ghent University: P. Aelterman, P. Clauwaert and W. Verstraete**



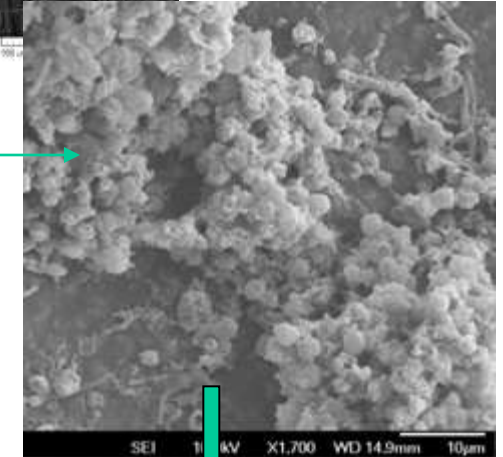
# MFC a singola camera senza membrana

Anodo

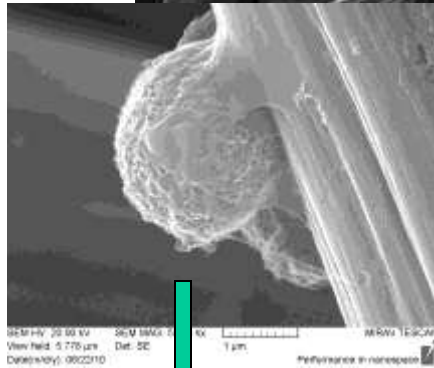
Catodo



Lato acqua



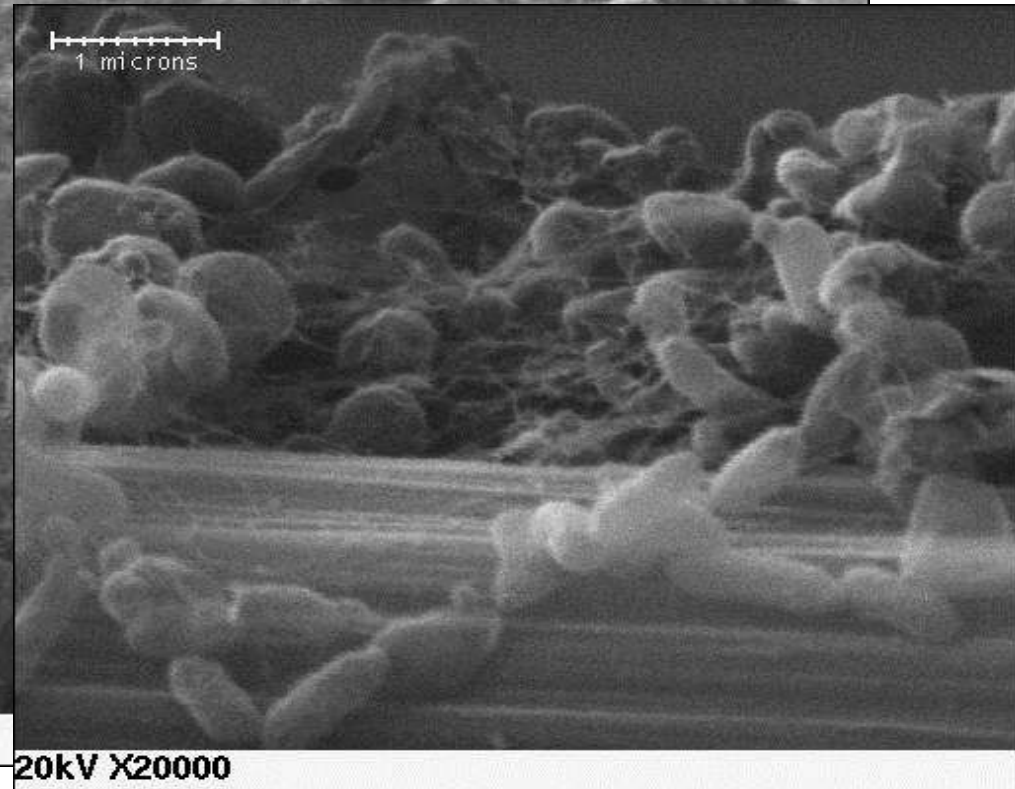
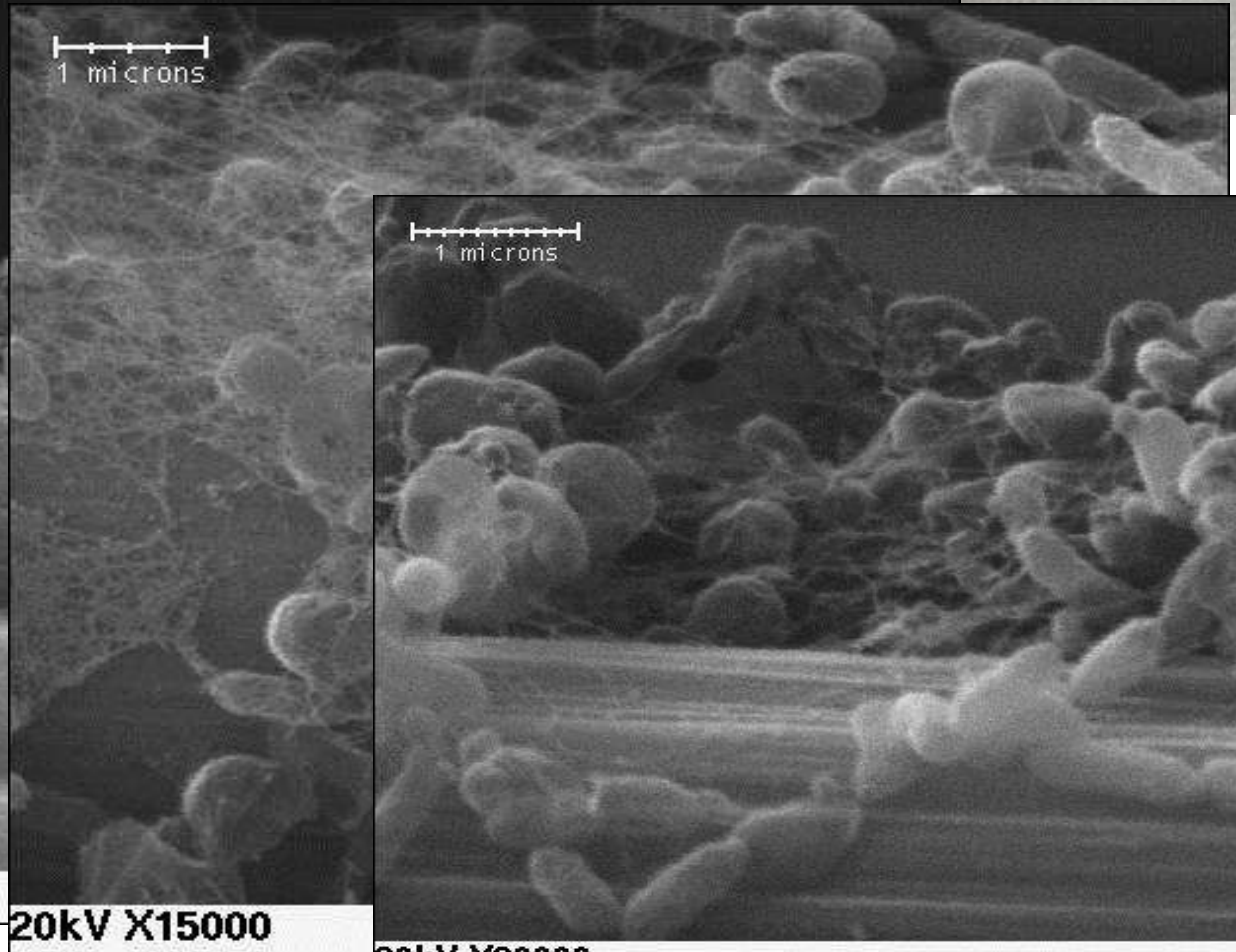
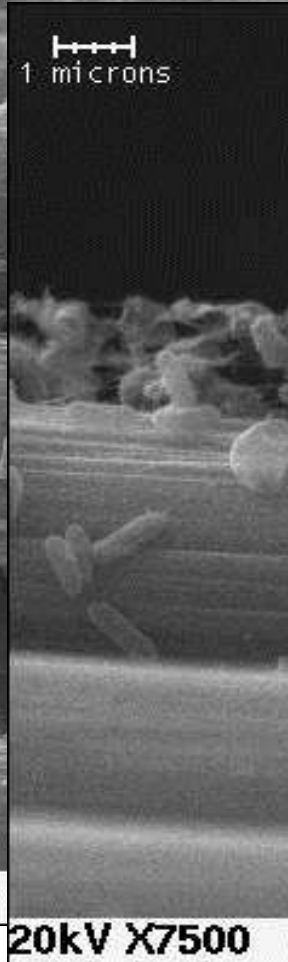
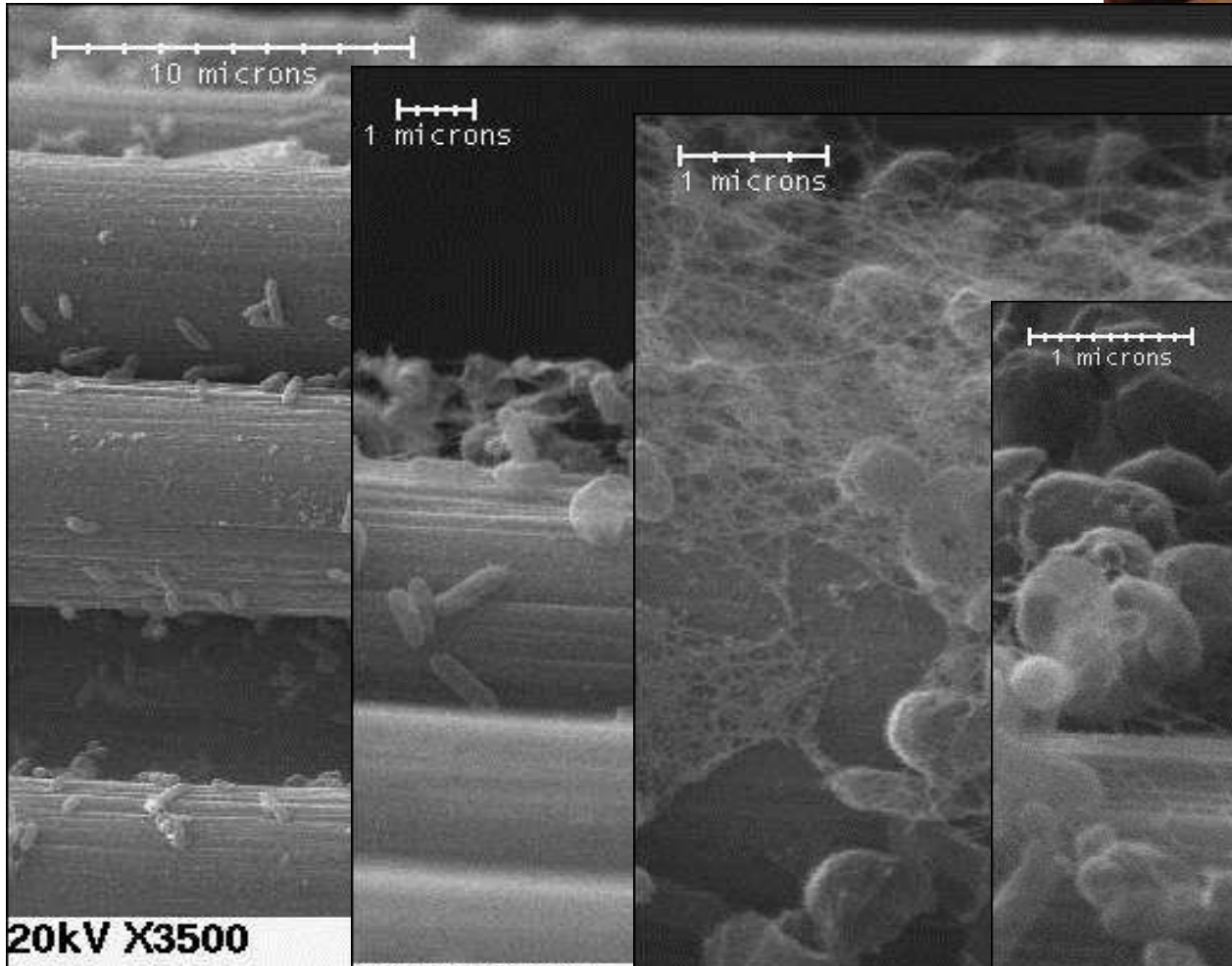
Bio-catodo



Bio-anodo

I batteri garantiscono le condizioni anaerobiche della soluzione (elettrolita)

# Elettrodi di grafite ad alta superficie per l'anodo





# Le prove nei nostri laboratori



Set di celle con elettrodi di vario tipo



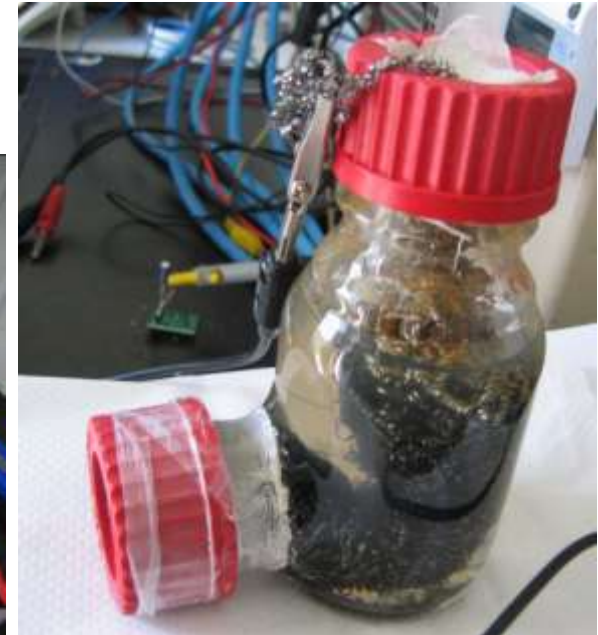
# Le prove nei nostri laboratori

Singola e doppia camera  
(Catodo in aria o acqua)

Elettrodi in:  
Acciaio inossidabile  
Grafite  
Grafite con Platino

Grafite:

- Tessuto
- Feltro
- Carta



# Le prove nei nostri laboratori

