

Produzione ecosostenibile di energia: produzione di biogas e idrogeno dai carboidrati degli scarti vegetali



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

Roberto De Philippis

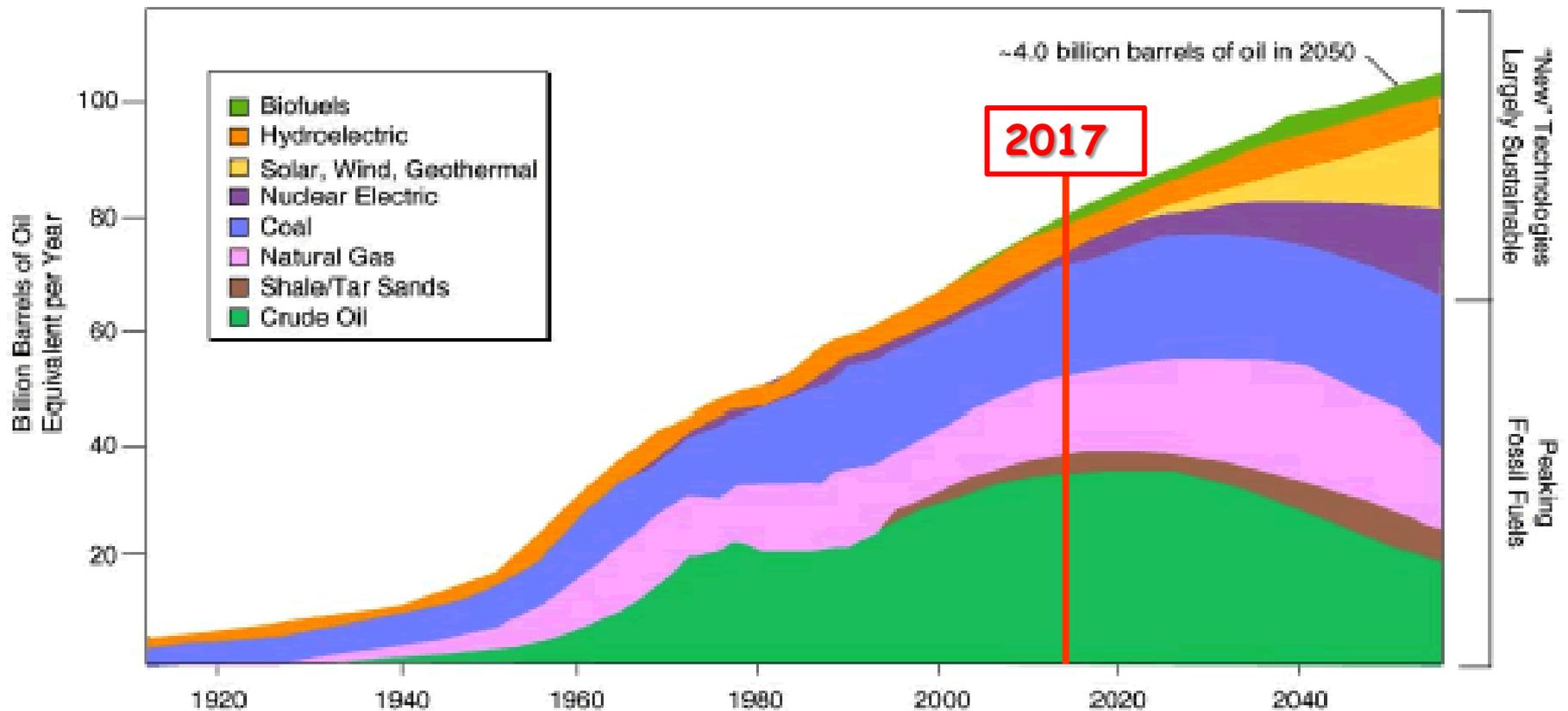
*Dipartimento di Scienze delle Produzioni
Agroalimentari e dell'Ambiente - DISPAA
Università degli Studi di Firenze*

Produzione ecosostenibile di energia: produzione di biogas e idrogeno dai carboidrati degli scarti vegetali

- I consumi energetici mondiali
- Fonti fossili non rinnovabili e gas a effetto serra
- Le biotecnologie microbiche possono contribuire a dare una soluzione?
- I processi microbici di produzione di biogas e di idrogeno
- Stato della ricerca
- Spunti didattici di riflessione

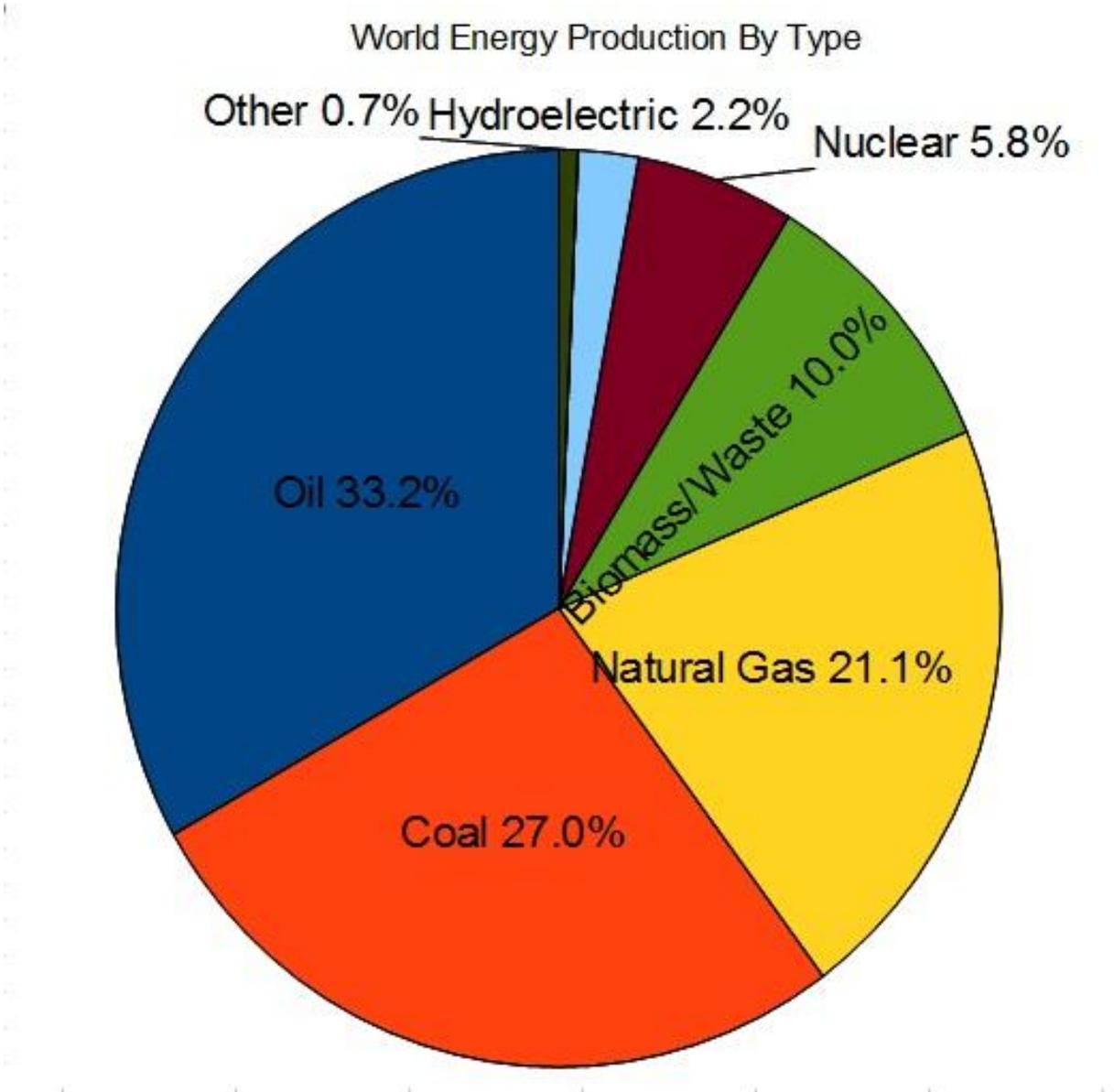
Incremento dei consumi mondiali di energia

World Energy Demand—Long-Term Energy Sources



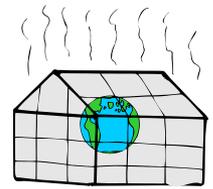
Sources: Lynn Orr, *Changing the World's Energy Systems*, Stanford University Global Climate & Energy Project (after John Edwards, American Association of Petroleum Geologists); SRI Consulting.

Fonti energetiche utilizzate per produrre energia (2010)

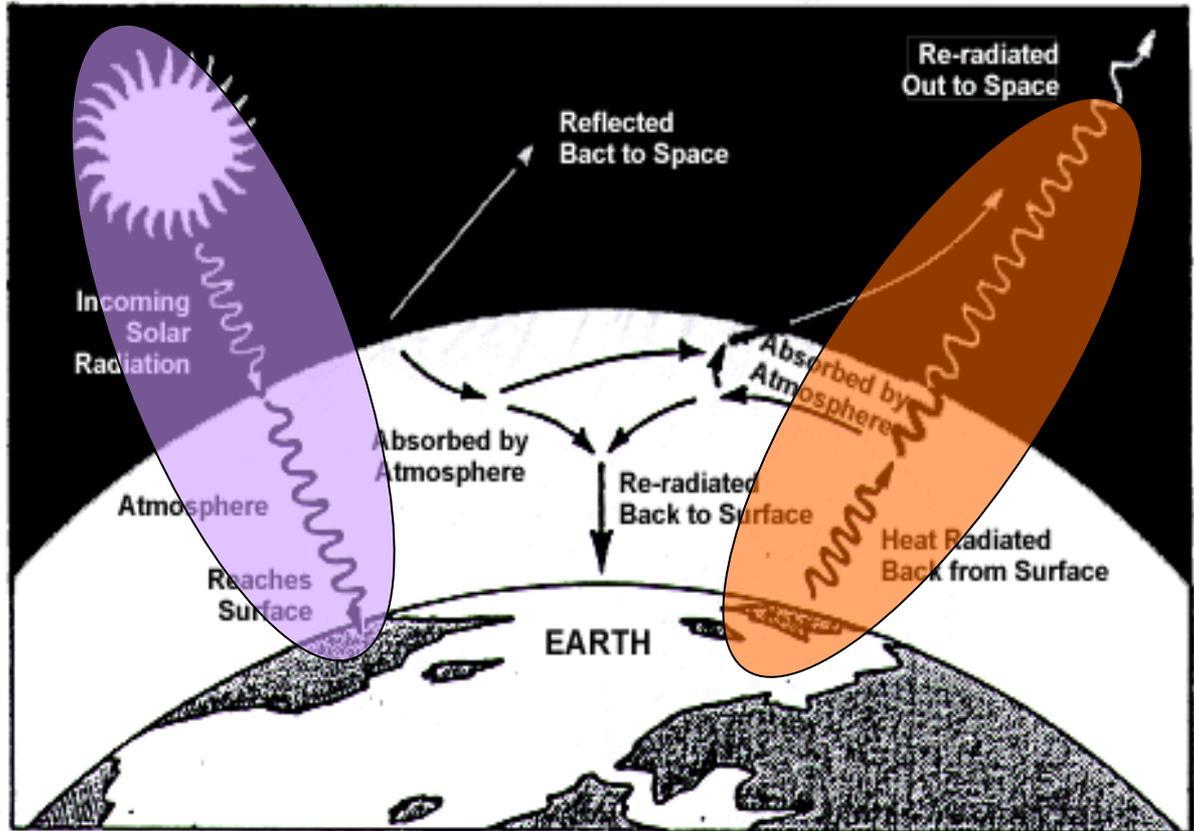


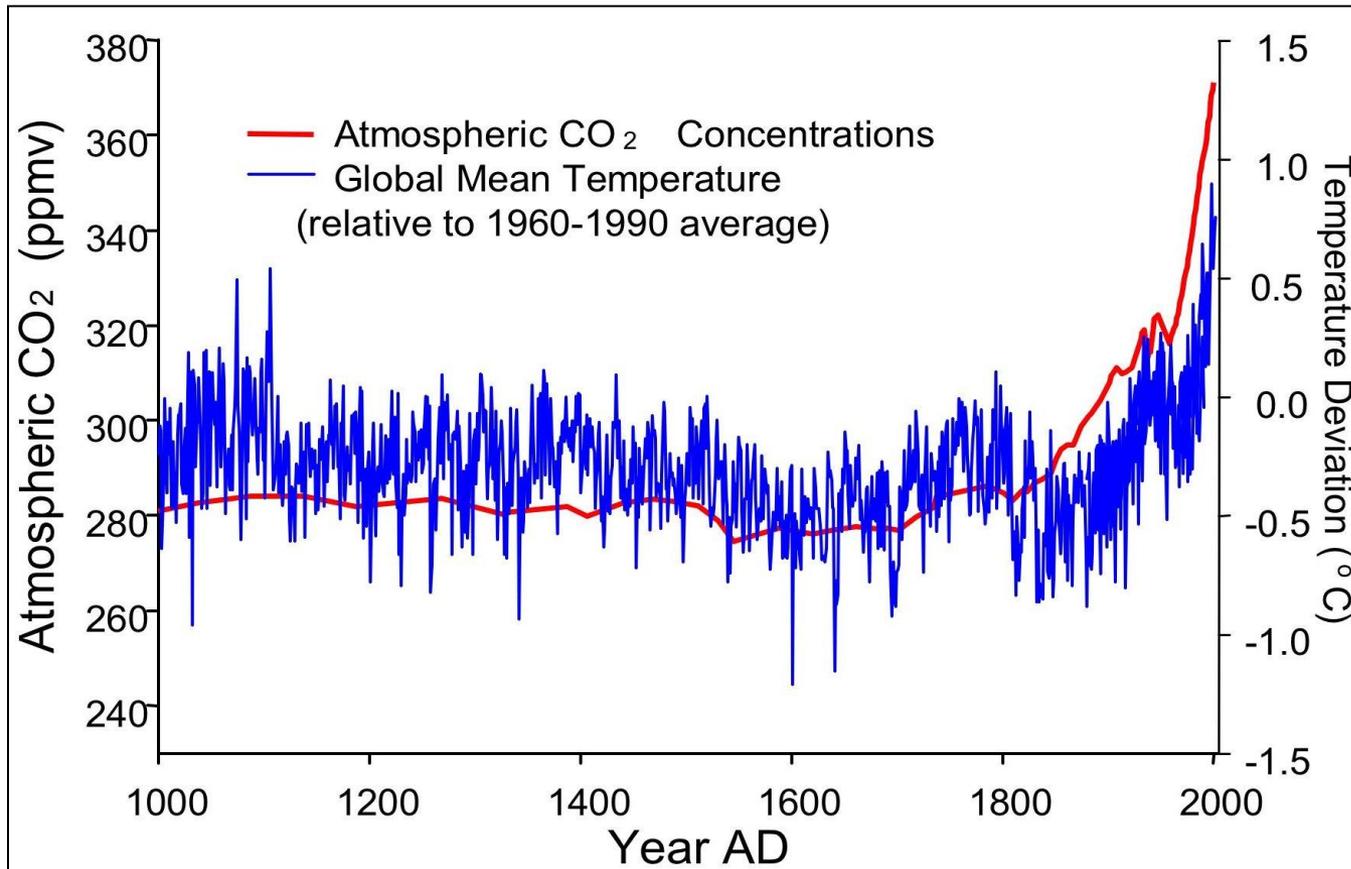
**Conseguenze per l'ambiente
dell'uso di fonti non rinnovabili ad
alto contenuto di carbonio**

GLOBAL WARMING



 **343 W/m²**
30% riflessa
70% assorbita

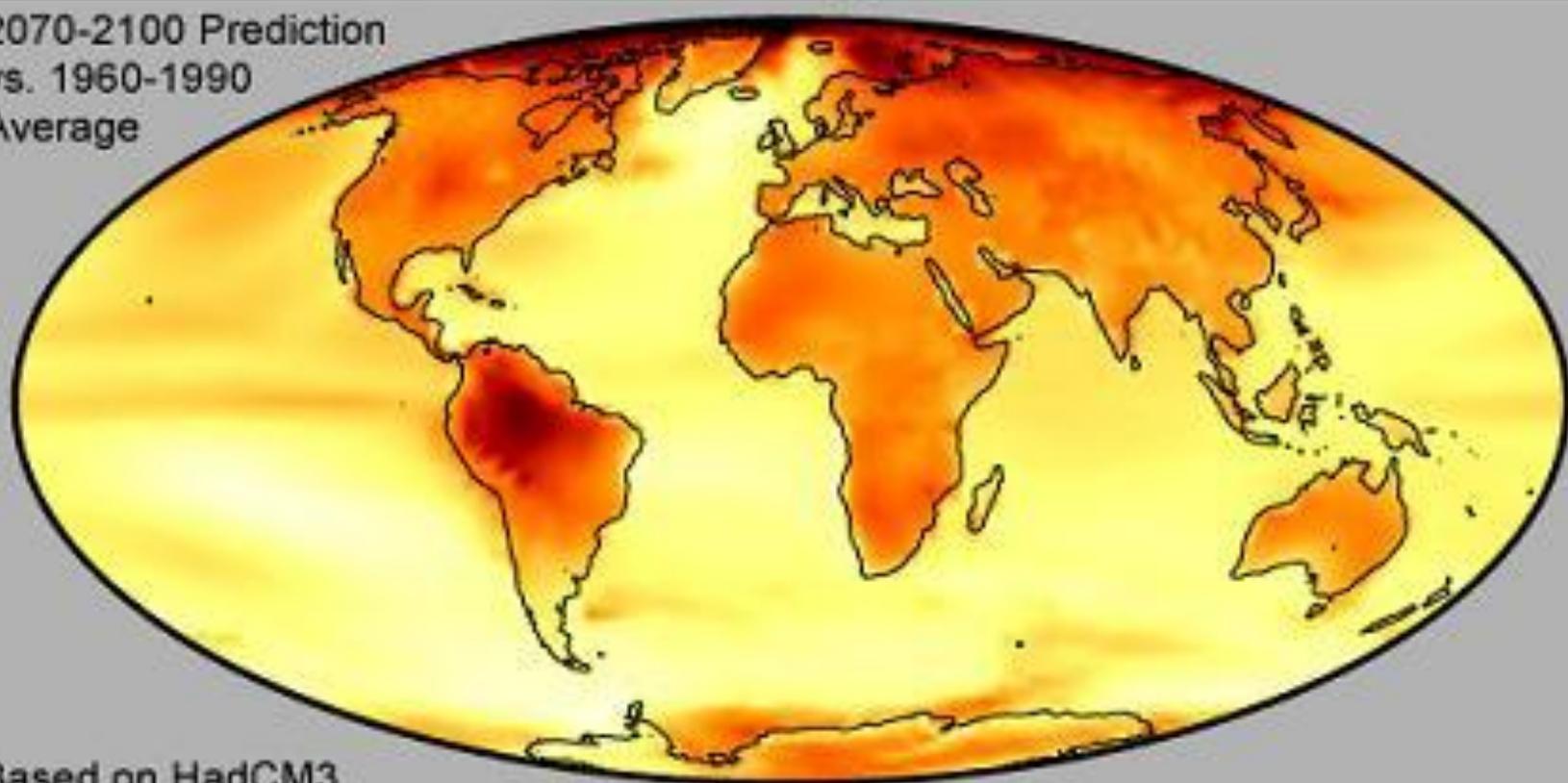




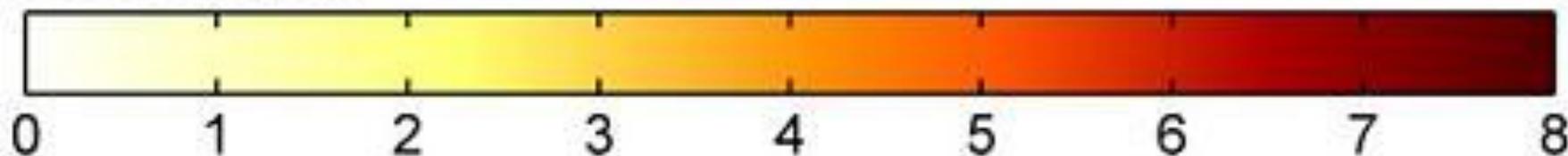
Emissioni di CO₂ e aumento di temperatura

Global Warming Predictions

2070-2100 Prediction
vs. 1960-1990
Average



Based on HadCM3



Temperature Increase ($^{\circ}\text{C}$)

Fonti rinnovabili di energia

Fonti di energia rinnovabili
e senza emissione di CO₂...

SOLARE: 126.000 TW

FONTE
ENERGIA?

GEOTERMICO: 92.000 TW

ENERGIA DELLE MAREE: 0,1 TW

ONDE MARINE: 2 TW

VENTO : 5 TW

CALORE DA OCEANI: 10 TW

BIOMASSE: 172 TW

DOMANDA MONDIALE DI ENERGIA:
15,0 TW

All'aumentare del contenuto di idrogeno aumenta la quantità di energia disponibile

Combustibile	H (% in massa)	C (% in massa)	Potere calorifico inferiore (Kj/kg)
Legno secco	4	39.5	15.000
Carboni fossili	3.9	83.1	33.500
Metanolo	12	38	19.700
Olio combustibile	12	85	41.000
Gasolio	13	86	43.300
Benzina	14	86	43.600
Metano	25	75	50.000
Idrogeno	100	0	120.000

Fonti e vettori energetici

Fonte di energia primaria

- Sorgente di energia disponibile, già presente in natura
 - Petrolio
 - Gas naturale
 - Energia solare
 - Carbone
 - Vento

Vettore energetico

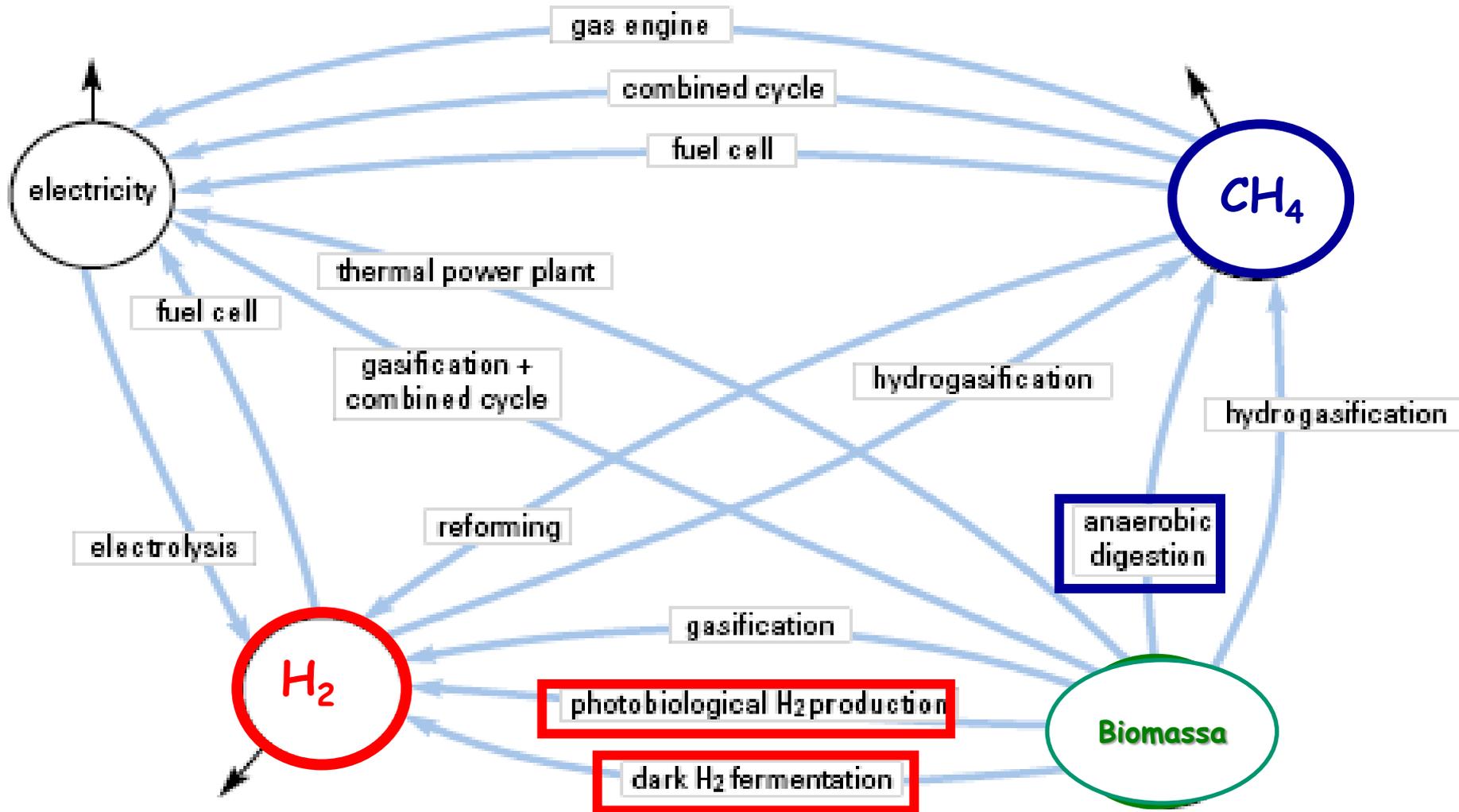
- Sorgente di energia non presente in natura, utilizzata per trasportare energia
 - Elettricità
 - Idrogeno

Le possibili soluzioni

Uso di vettori energetici

- aventi impatto ambientale quasi nullo;
- ottenibili da fonti energetiche primarie rinnovabili, intercambiabili e ampiamente disponibili;
- facilmente distribuibili attraverso una rete ampia e diffusa.

Biomasse vegetali e biotecnologie microbiche possono dare soluzioni ecosostenibili?



Recupero energia da acque reflue

Da 1 L acqua reflua contenente zuccheri fermentescibili (54 mmoli glucosio)

Combustione

E (54 mmoli glucosio) = 150 kJ

E (evaporazione 1L) = - 2260 kJ

E totale = - 2110 kJ

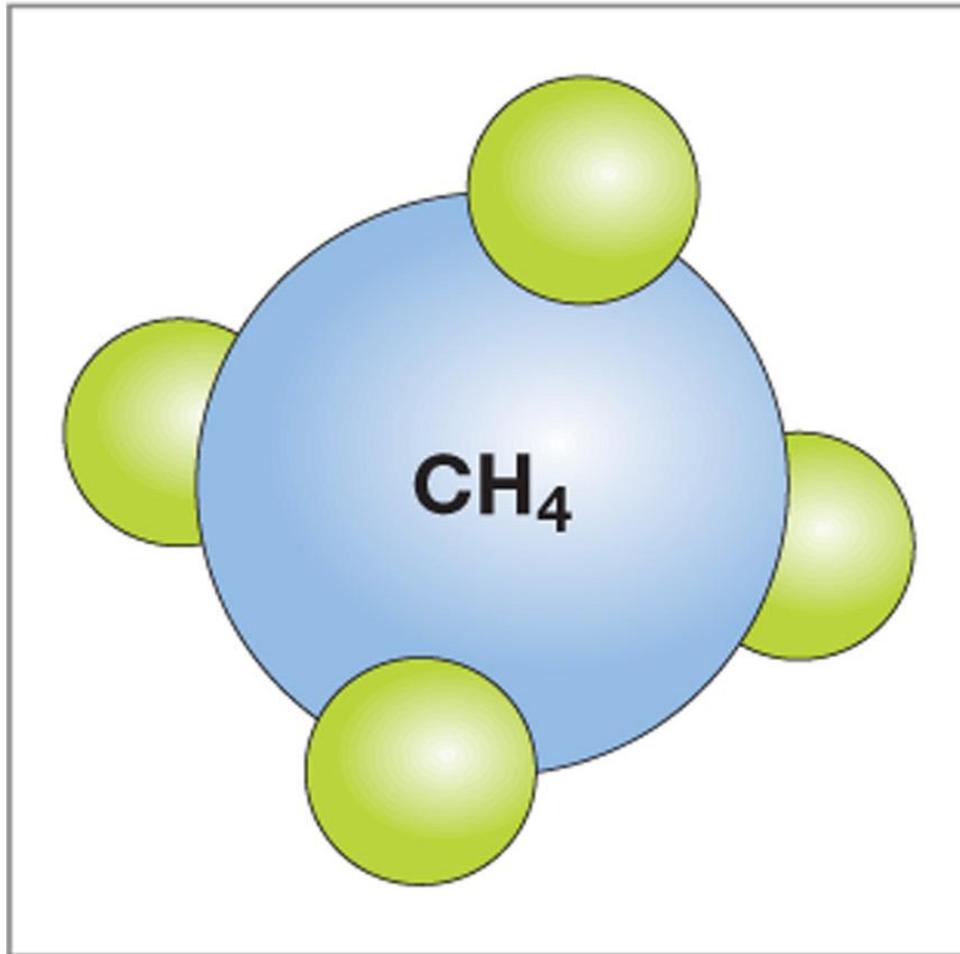
Bioteologie microbiche

E etanolo (lieviti) = 148 kJ

E CH₄ (metanogeni) = 150 kJ

E H₂ (fotoeterotrofi) = 186 kJ

**Digestione anaerobica :
produzione di biogas ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$)**

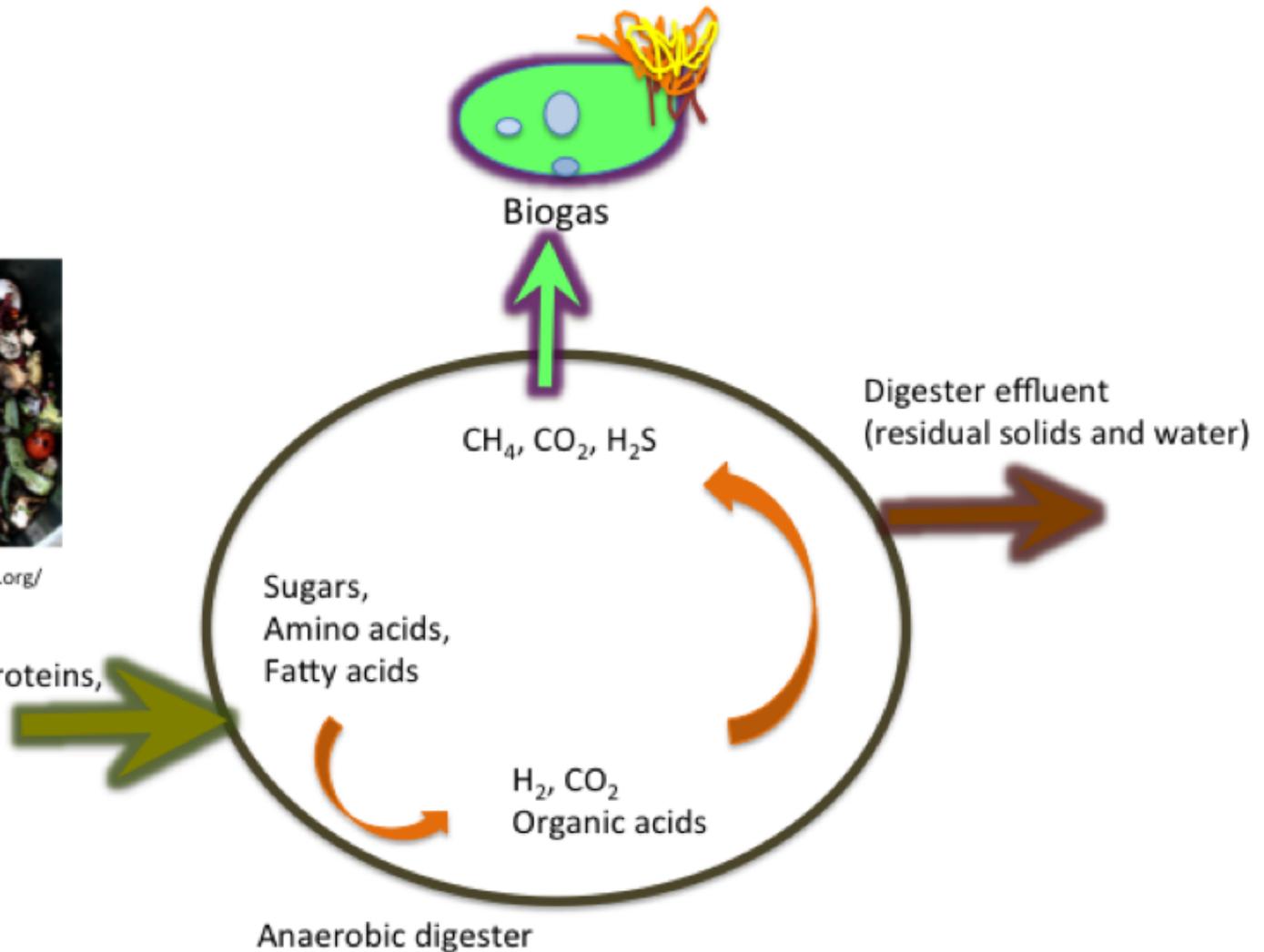


Energia (biogas) dalla digestione anaerobica

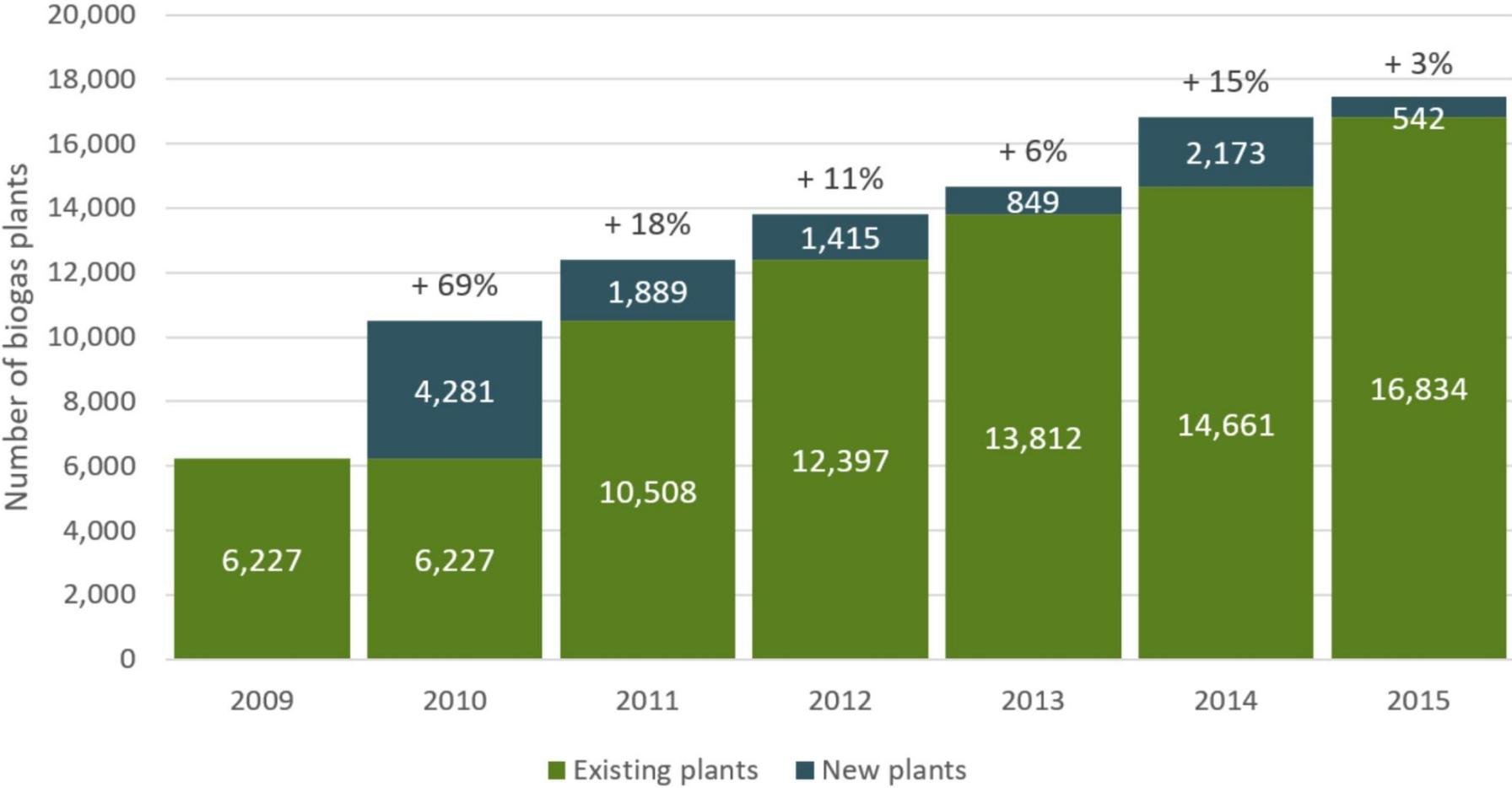


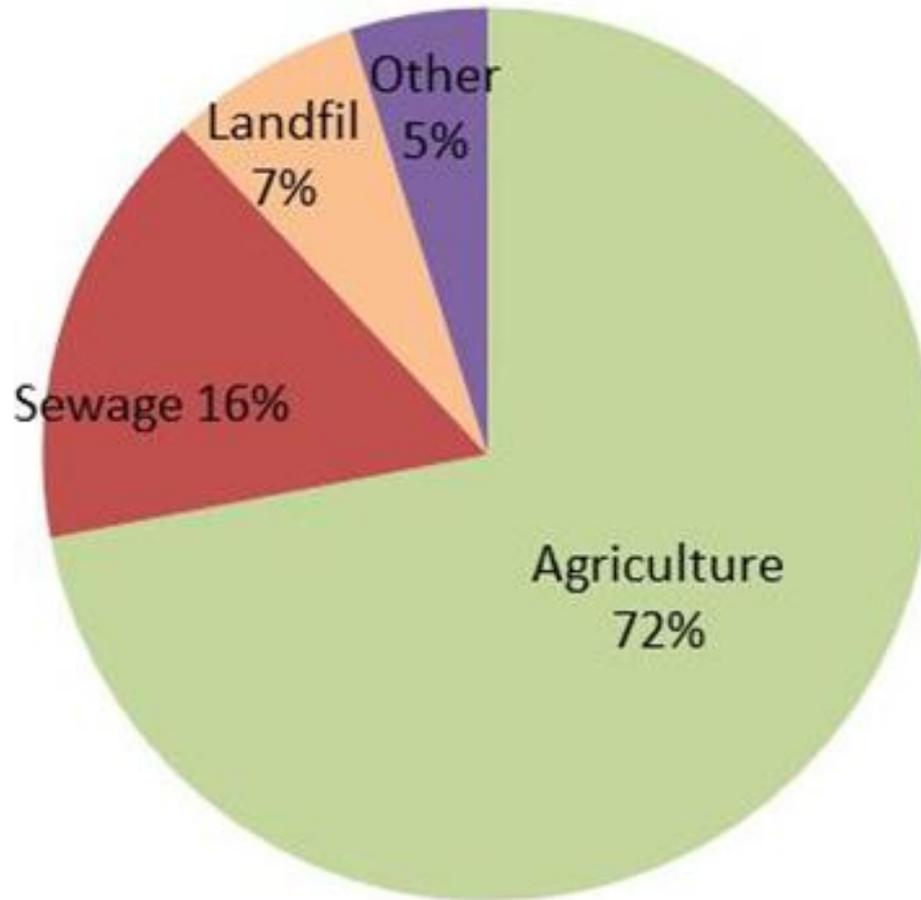
<http://www.howtocompost.org/>

Organic materials
(carbohydrates, proteins,
fats, oils, etc.)



Evolution of the number of biogas plants in Europe



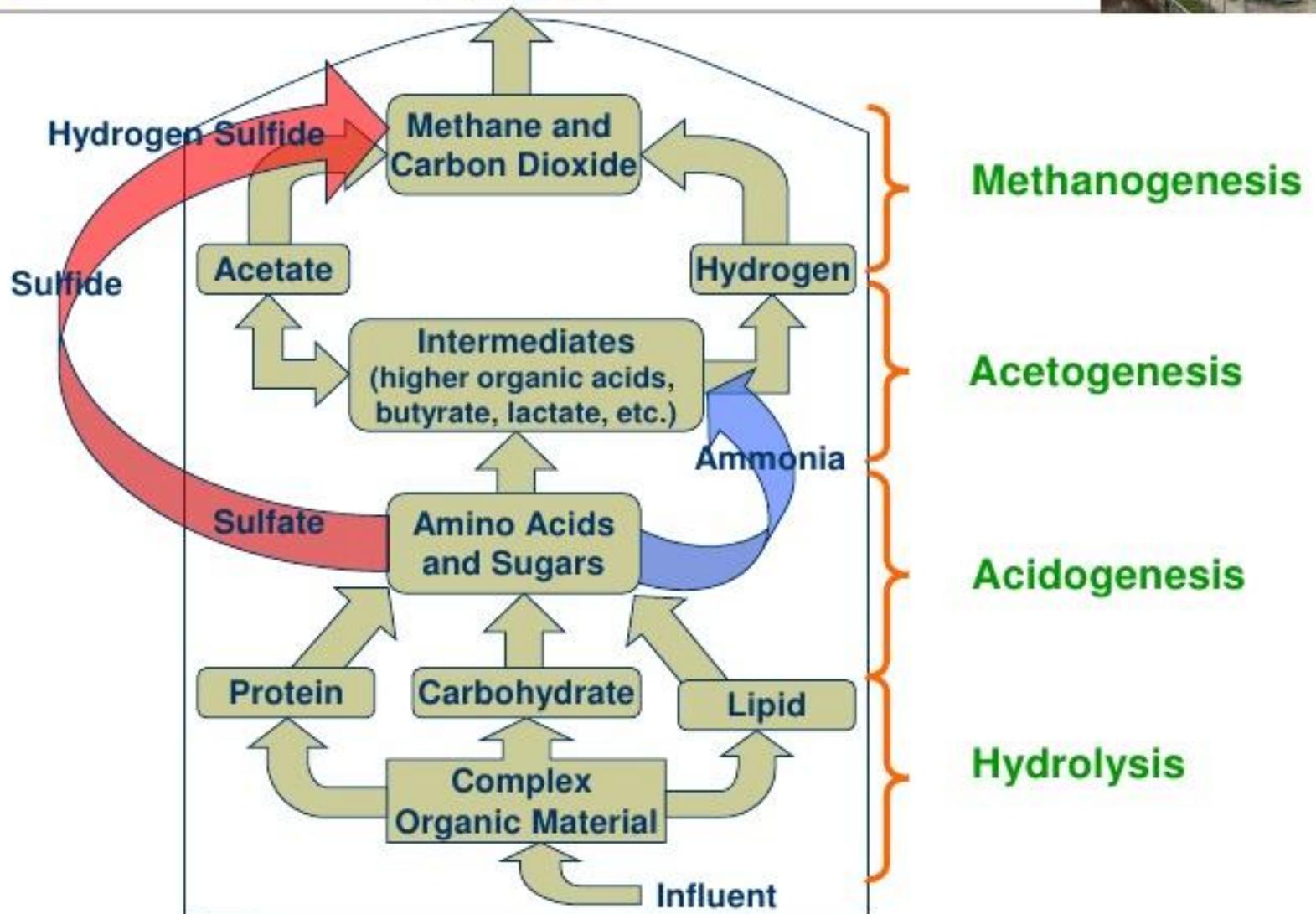


Substrati utilizzati per alimentare gli impianti di biogas in Europa (Biogas Report; EBA 2014)

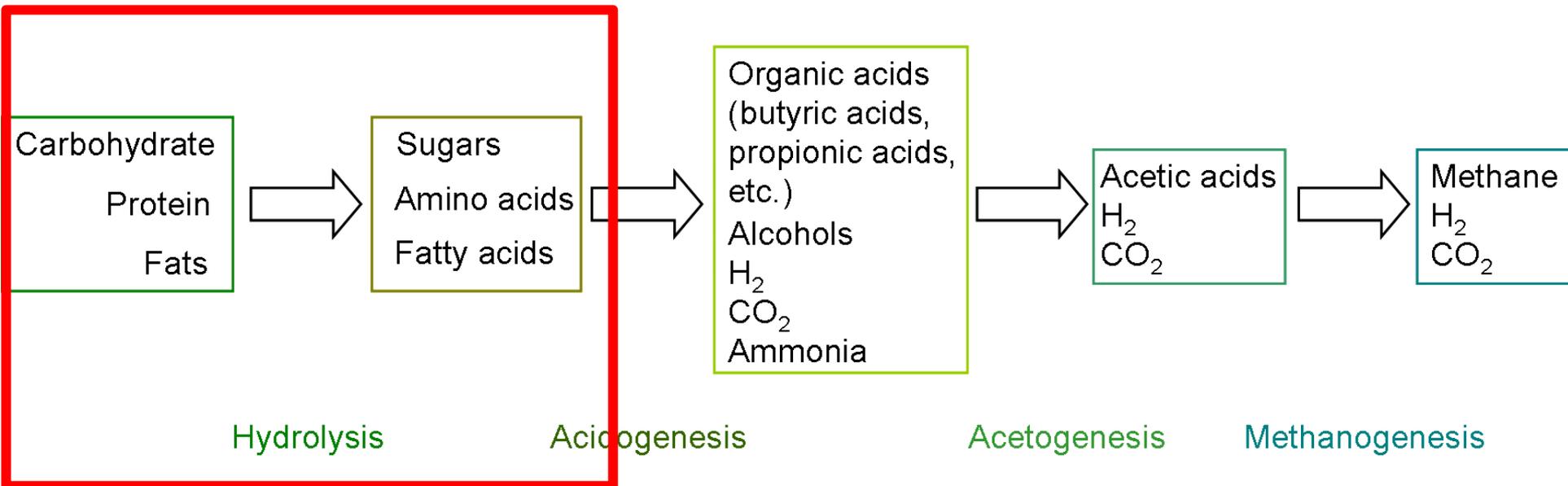
Anaerobic Digestion Process



Biogas



I microrganismi della digestione anaerobica (idrolisi)



I microrganismi della digestione anaerobica (idrolisi)

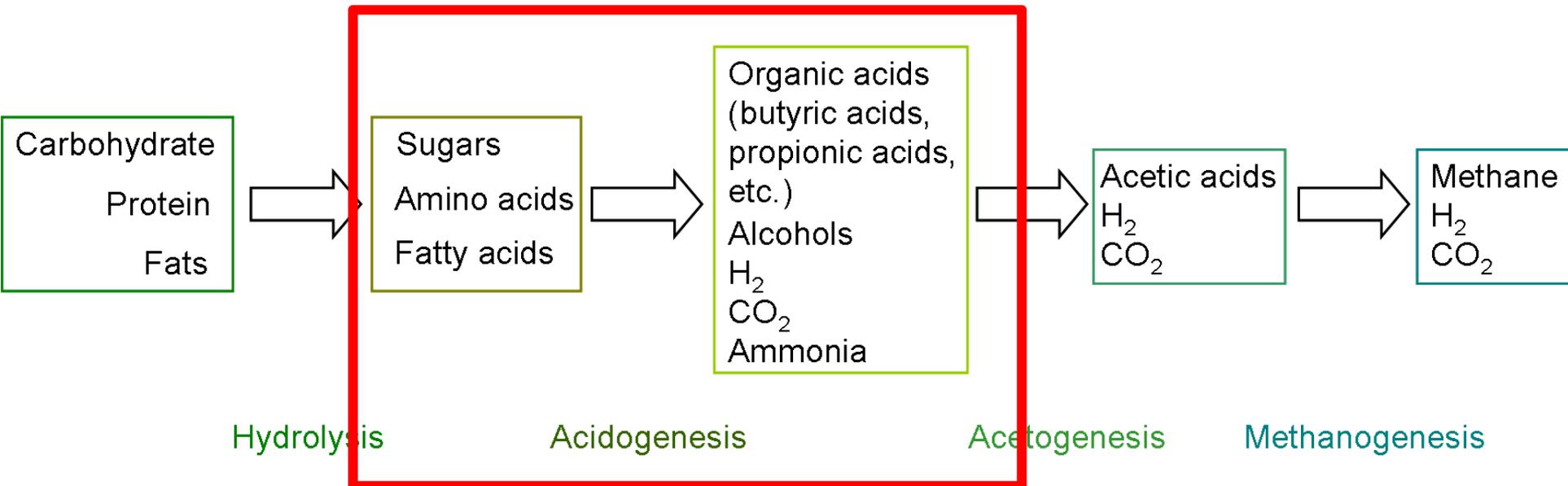
Processi

- Solubilizzazione della sostanza organica complessa
- Partecipazione di vari batteri, protozoi e funghi
- Condotta da esoenzimi

Microrganismi

- Protozoi (ingeriscono e idrolizzano cellulosa)
- Batteri (es.. *Cellulomonas*, *Bacillus*, *Mycobacterium*)
- Funghi (es. funghi anaerobici quali *Anaeromyces*, *Pyromices*)

I microrganismi della digestione anaerobica (acidogenesi)



I microrganismi della digestione anaerobica (acidogenesi)

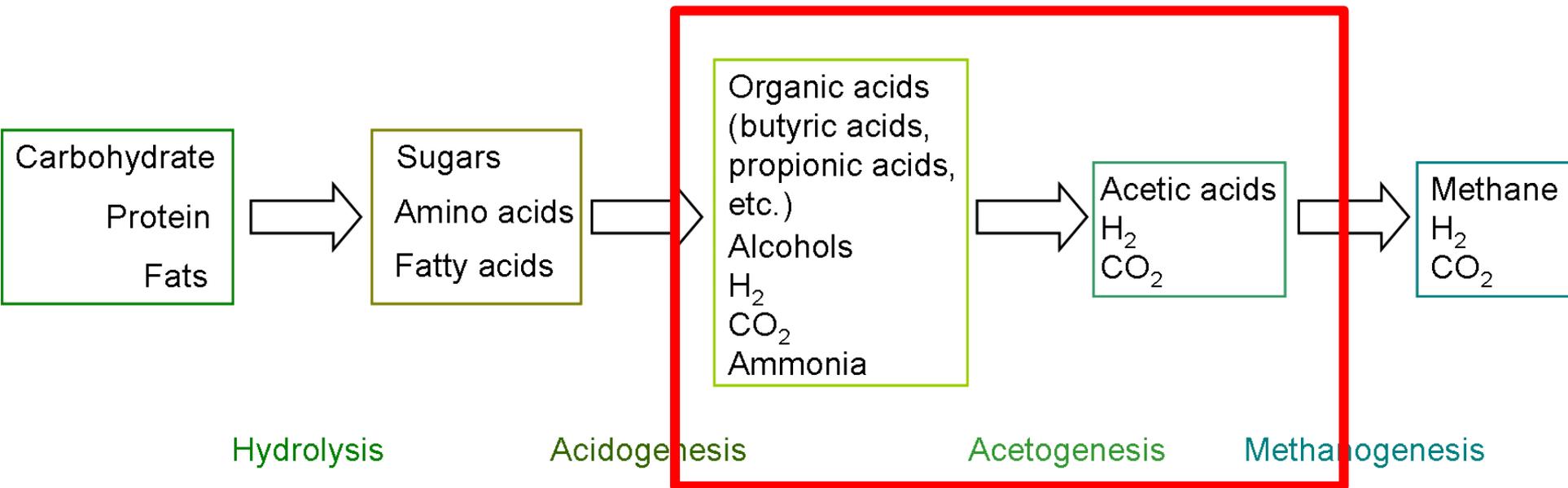
Processi

- Processi microbici nei quali la sostanza organica idrolizzata è convertita in acidi organici, H_2 e CO_2
- Condotti da batteri

Microrganismi

- Batteri (es. *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Micrococcus*, o *Flavobacterium*)

I microrganismi della digestione anaerobica (acetogenesi)



I microrganismi della digestione anaerobica (acetogenesi)

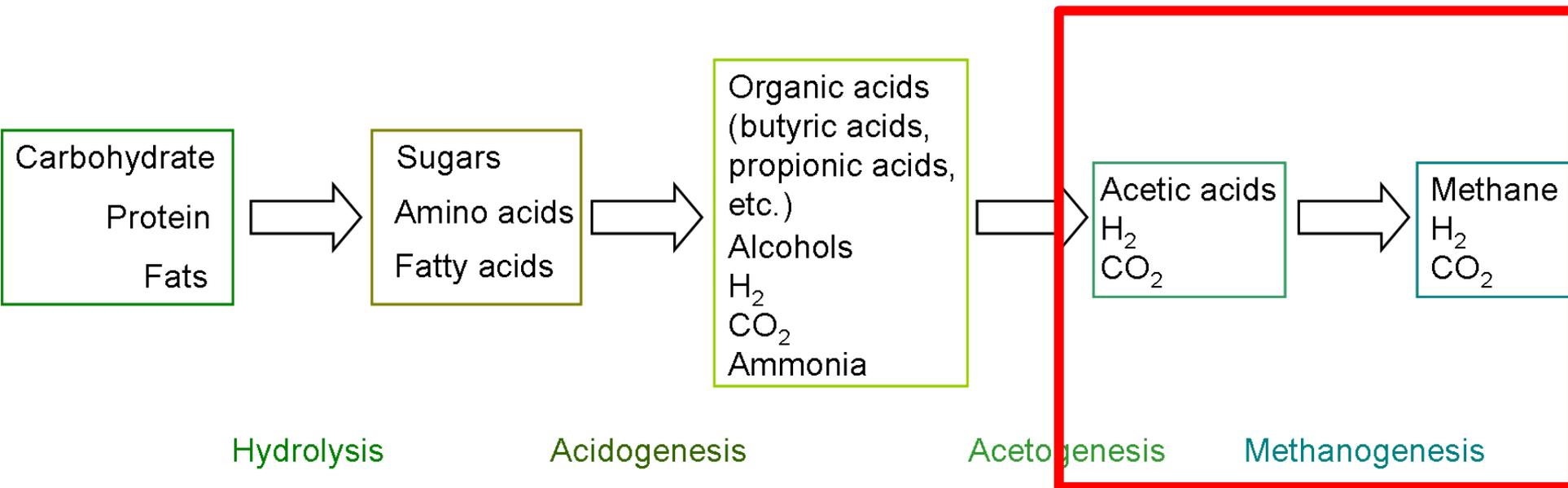
Processi

- Formazione di acetato dai prodotti dell'acidogenesi
- Si produce anche H_2 e CO_2
- E' il passaggio che condiziona la velocità del processo di metanogenesi

Microrganismi

- Batteri (es. *Syntrophomonas*, *Syntrophobacter*, *Methanobacterium*)
- Sintrofia con i metanogeni

I microrganismi della digestione anaerobica (metanogenesi)



I microrganismi della digestione anaerobica (metanogenesi)

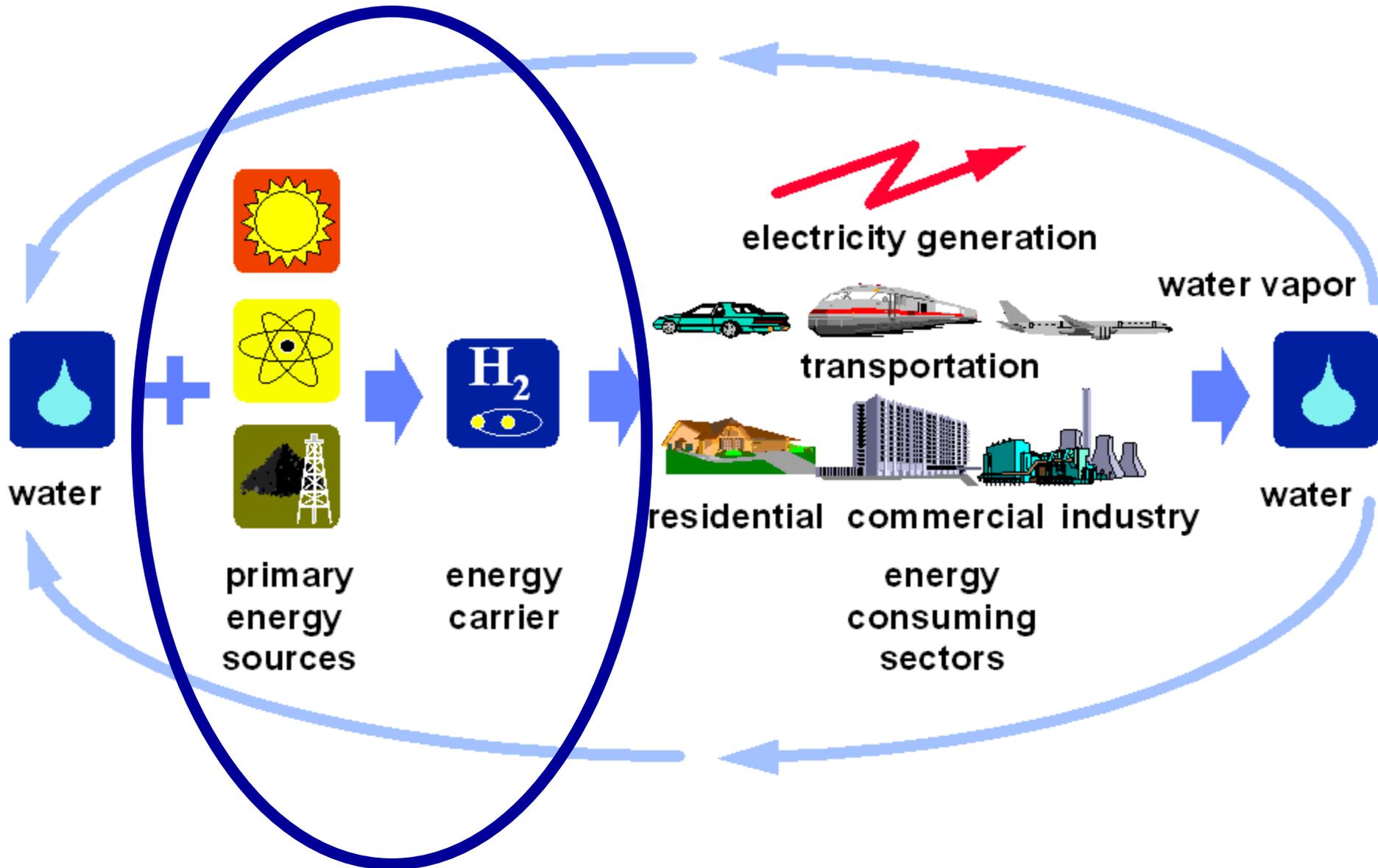
Processi

- Formazione di metano da acetato, $H_2 + CO_2$, formiato, metanolo
- Formazione del prodotto finale della digestione anaerobica

Microrganismi

- Archea (es. *Methanosarcina*,)
- Suddivisi in metanogeni idrogenotrofi, acetotrofi (acetoclastici) e metilotrofi

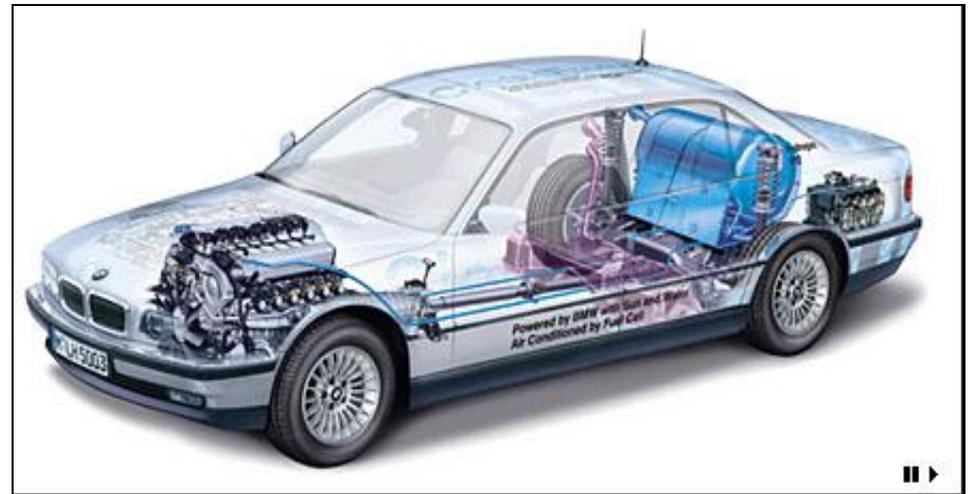
L'idrogeno come vettore energetico



L'idrogeno come vettore energetico

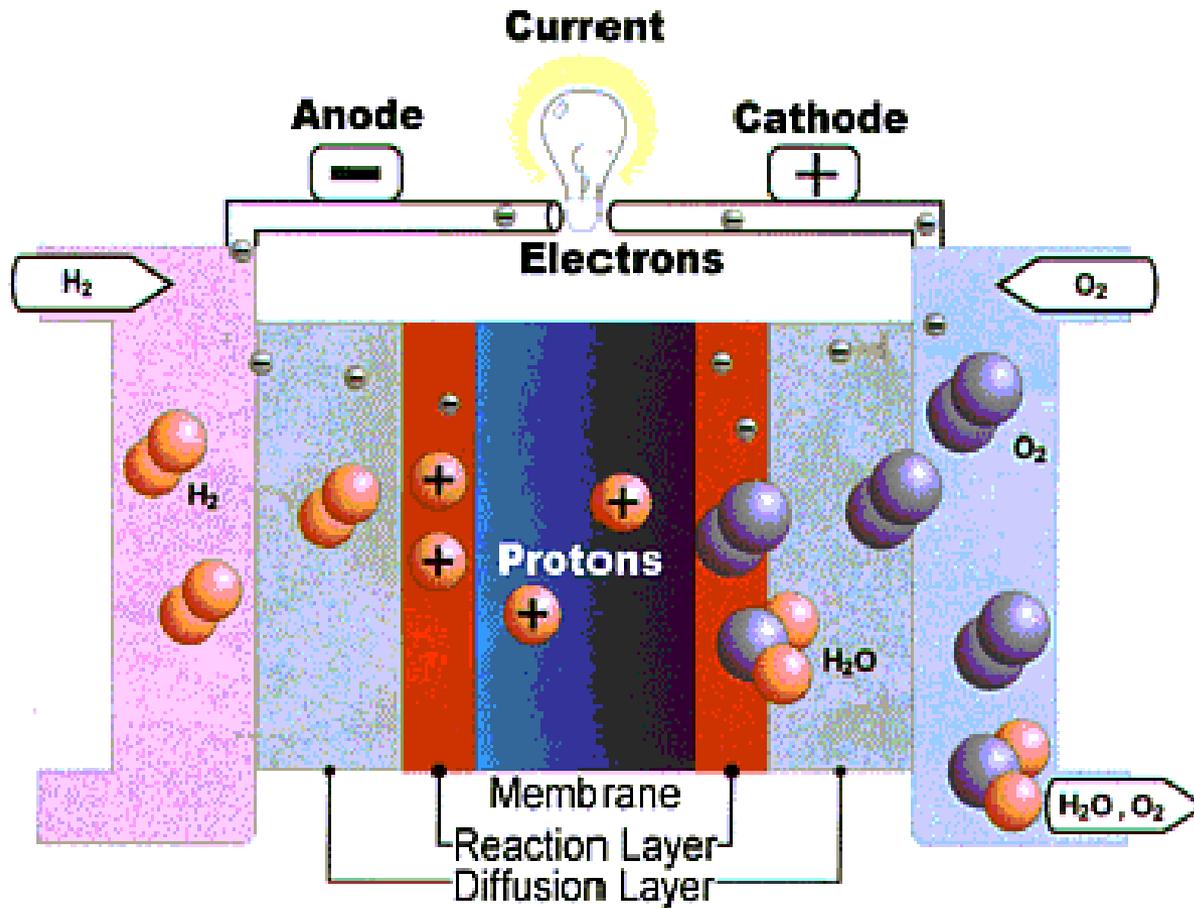


-836 KJ mol⁻¹



- L'Idrogeno "brucia" e ... forma acqua

Cella a combustibile (fuel cell)



Produzione di idrogeno per via microbiologica:

- Processi a basso impatto ambientale
- Uso di fonti rinnovabili (es. residui dell'agroindustria)
- Possibilità di applicare strategie multiprocesso/multiprodotto

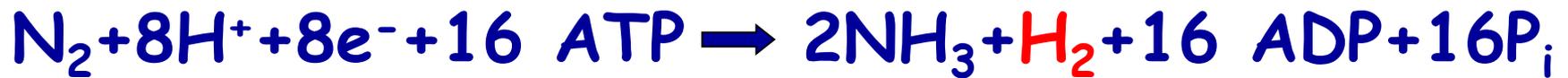
Biofotolisi dell'acqua



Sistemi integrati di fermentazione e fotofermentazione

Enzimi coinvolti nella produzione biologica di idrogeno

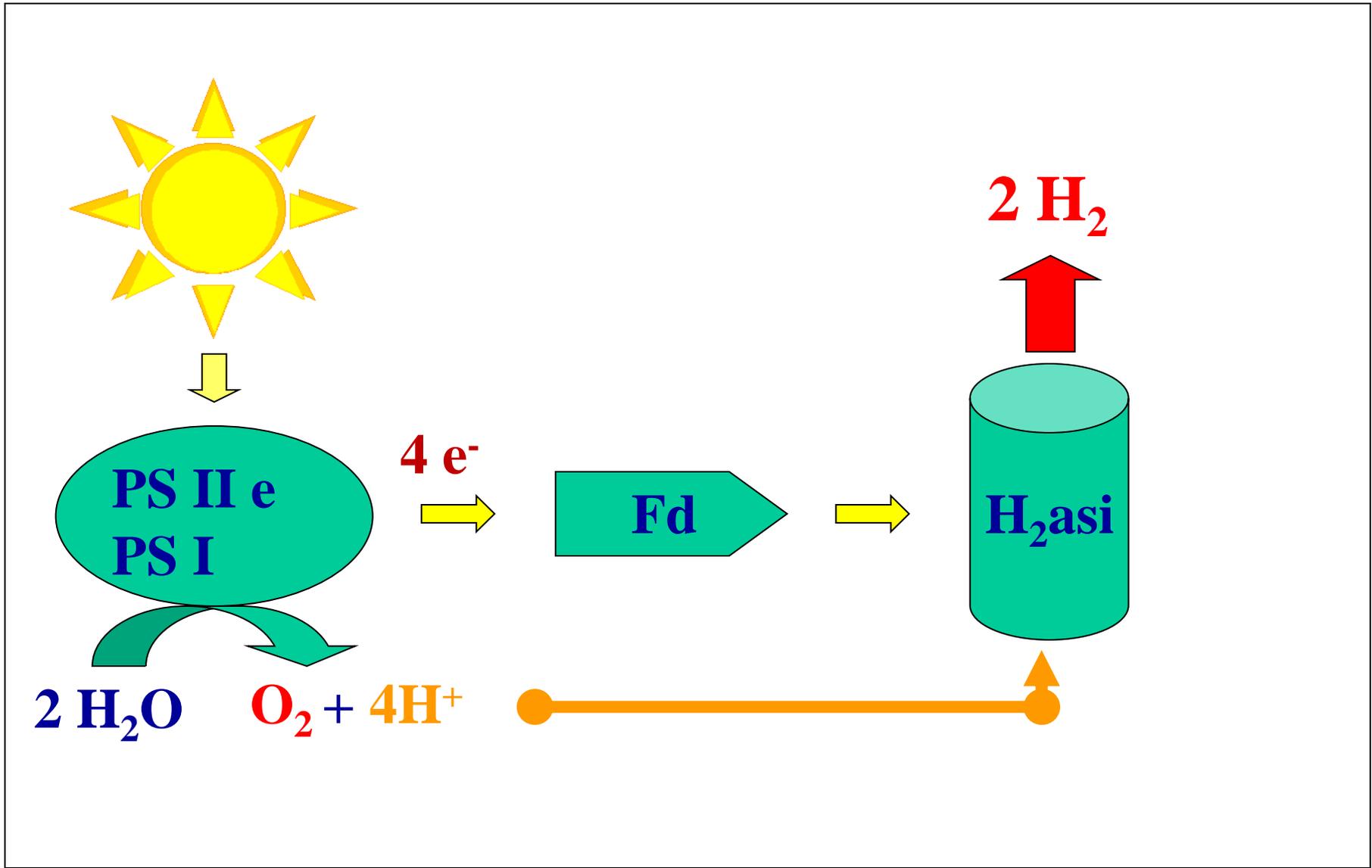
Nitrogenasi



Idrogenasi



Biofotolisi diretta dell'acqua



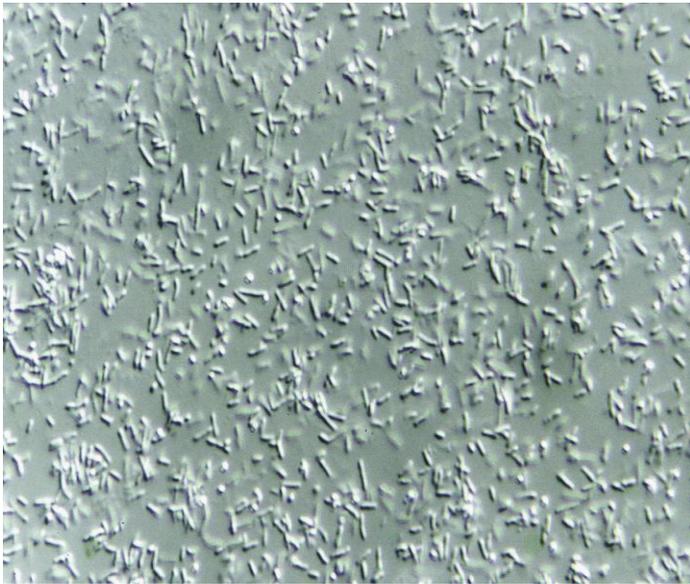
Biofotolisi diretta dell'acqua

**Condizioni necessarie:
Produzione in anaerobiosi,
luce, bassa P_{H_2} ; carenza S**

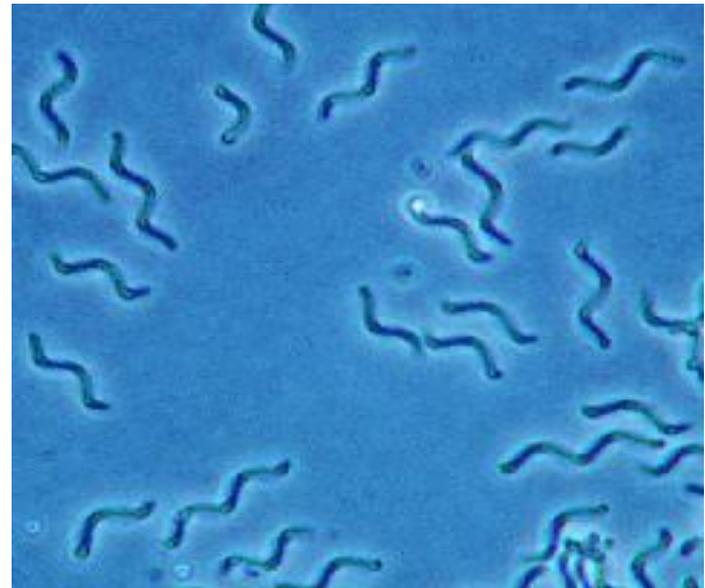
Fotofermentazione



Batteri rossi non sulfurei

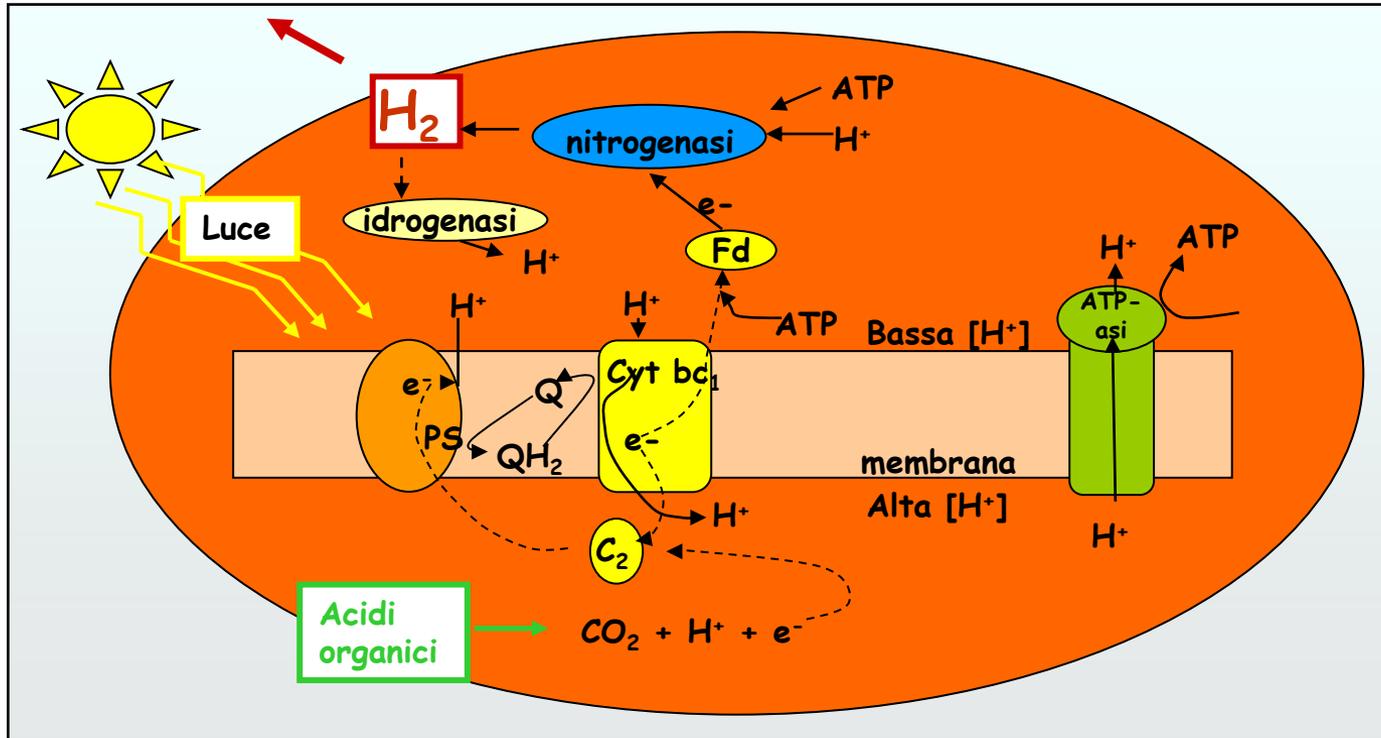


Rhodopseudomonas spp

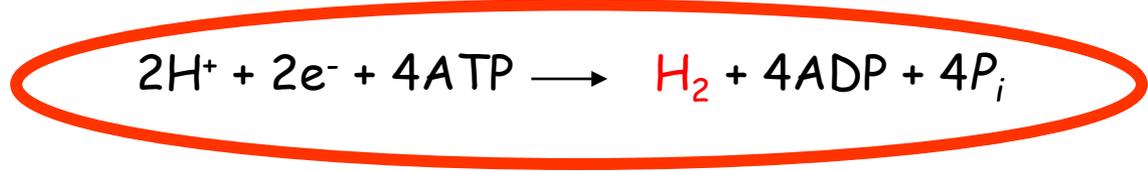


Rhodospirillum spp

Fotofermentazione con batteri fotosintetici rossi



Nitrogenasi



Fotofermentazione

Vantaggi

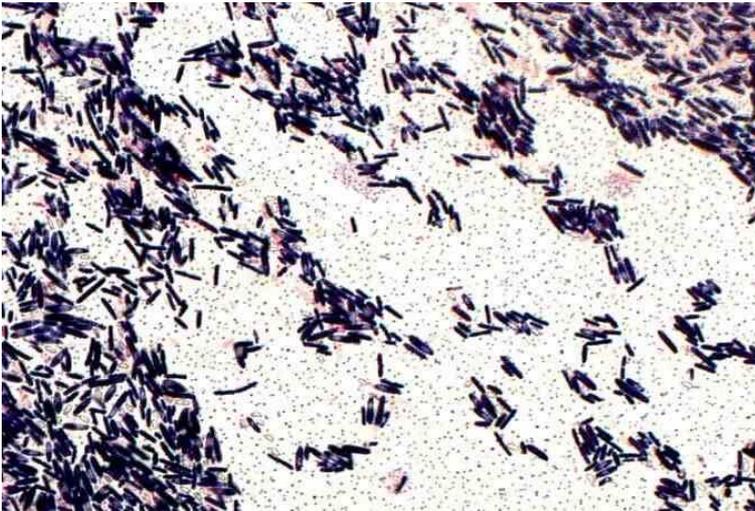
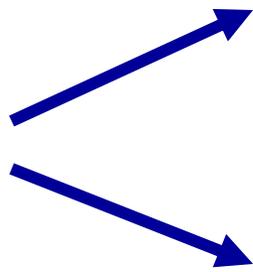
- Idrogeno prodotto da reflui
- Uso ampio spettro di luce
- Tassi superiori a biofotolisi
- Altri prodotti di interesse applicativo

Limitazioni

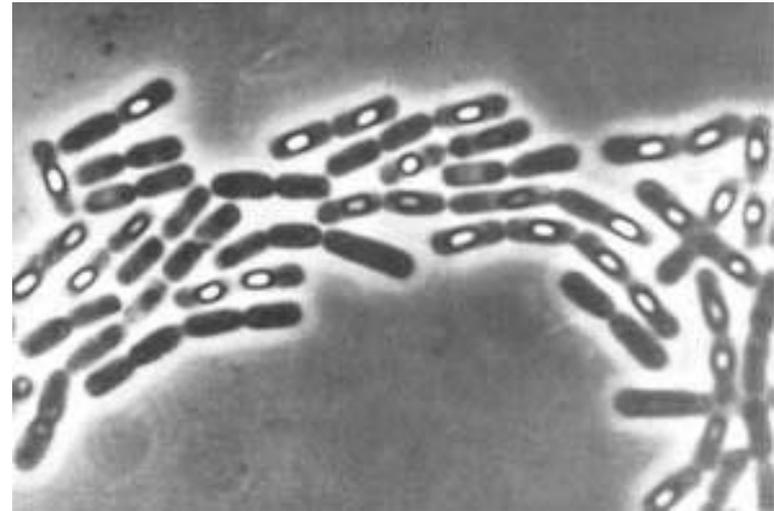
- Attività H_2 -asi "uptake"
- Produzione di CO_2
- Competizione con altre vie metaboliche che utilizzano NADH

Fermentazione al buio

glucosio



Clostridium butyricum



Bacillus spp

Fermentazione al buio

Vantaggi

- Idrogeno prodotto da molti tipi di substrati "poveri"
- Alti tassi produzione
- Produzione indipendente da luce

Limitazioni

- Produzione di CO_2
- Ossidazione incompleta: acidi organici nel refluo

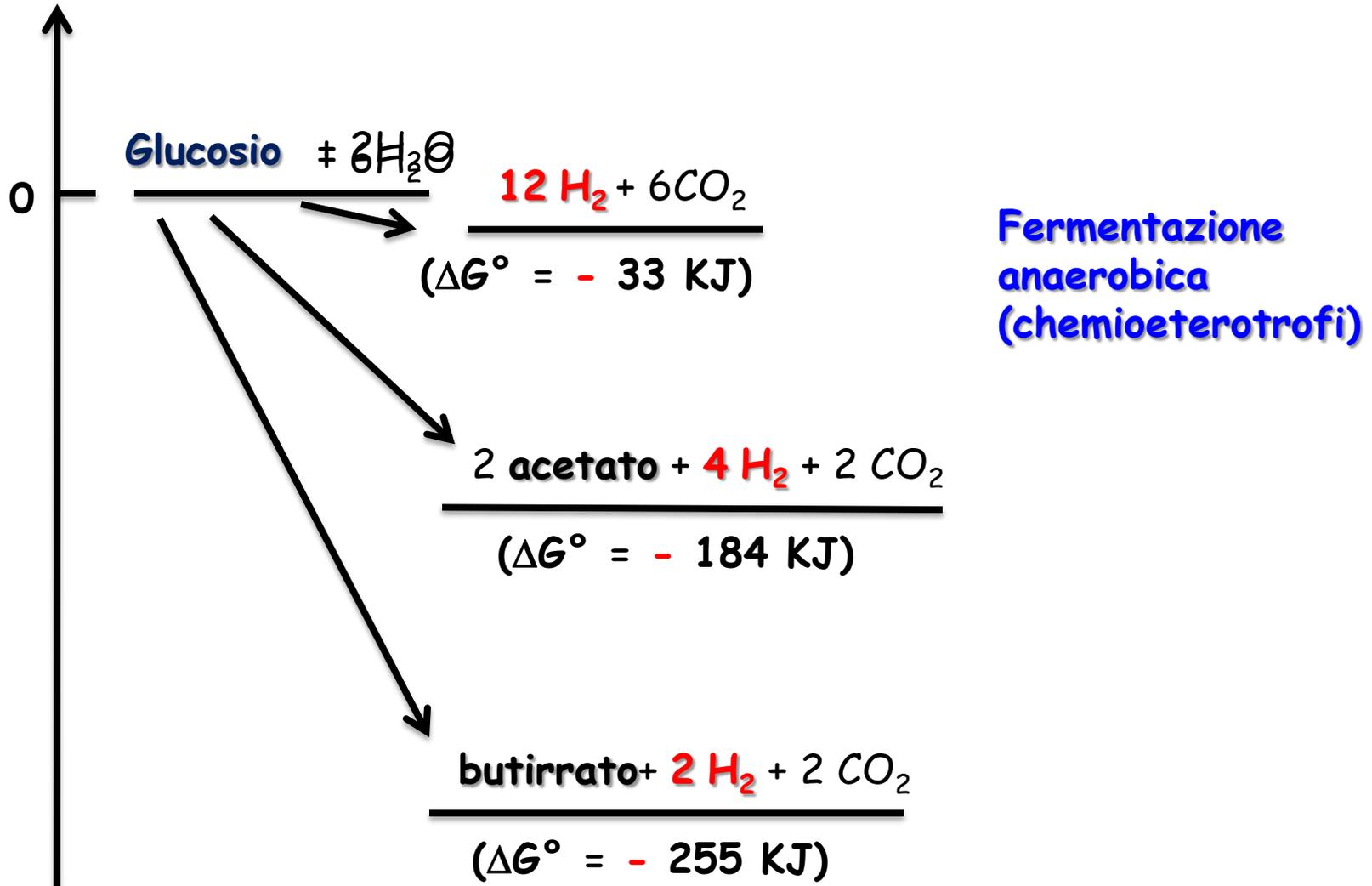
Sistemi integrati di produzione di idrogeno



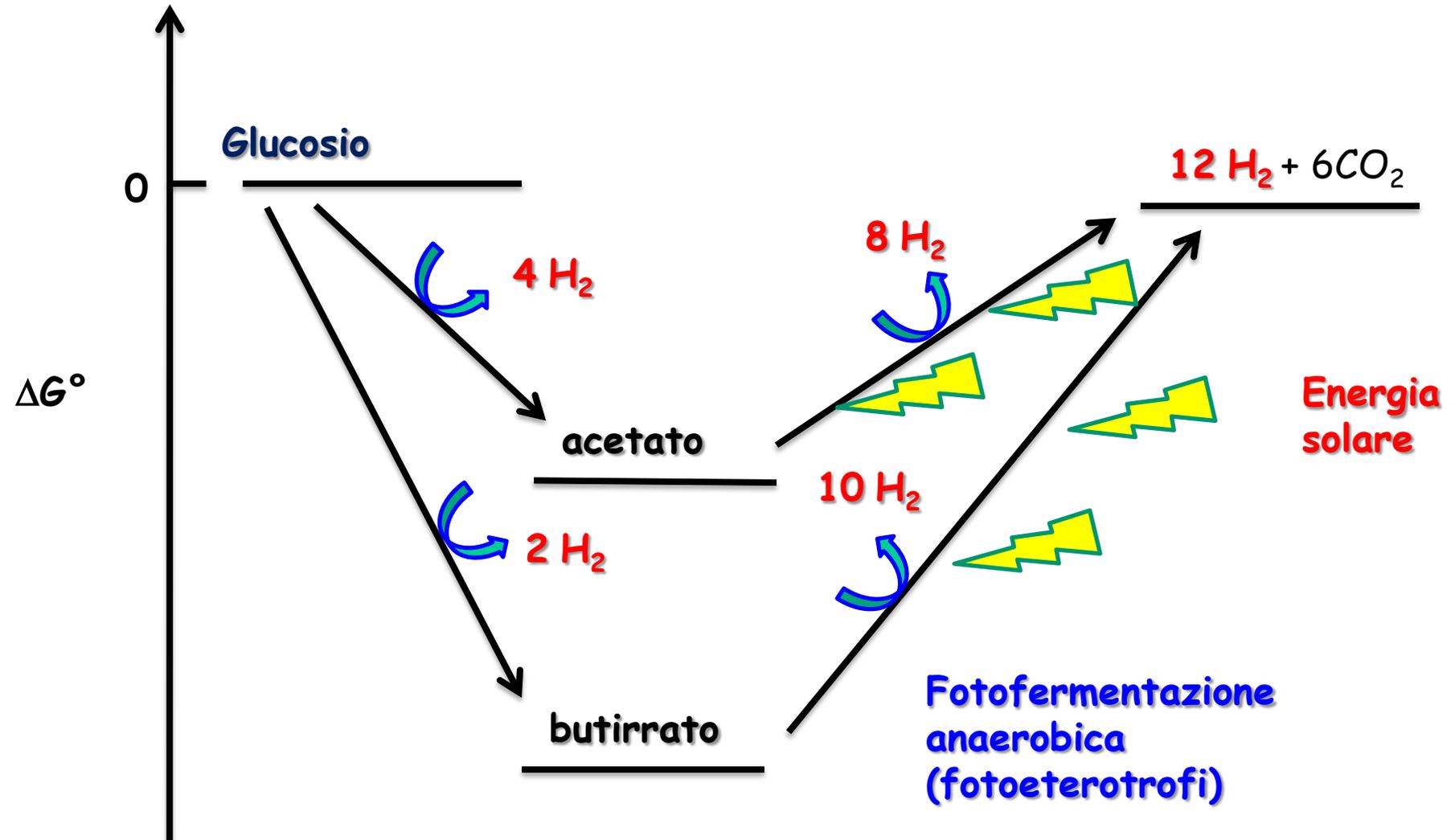
+

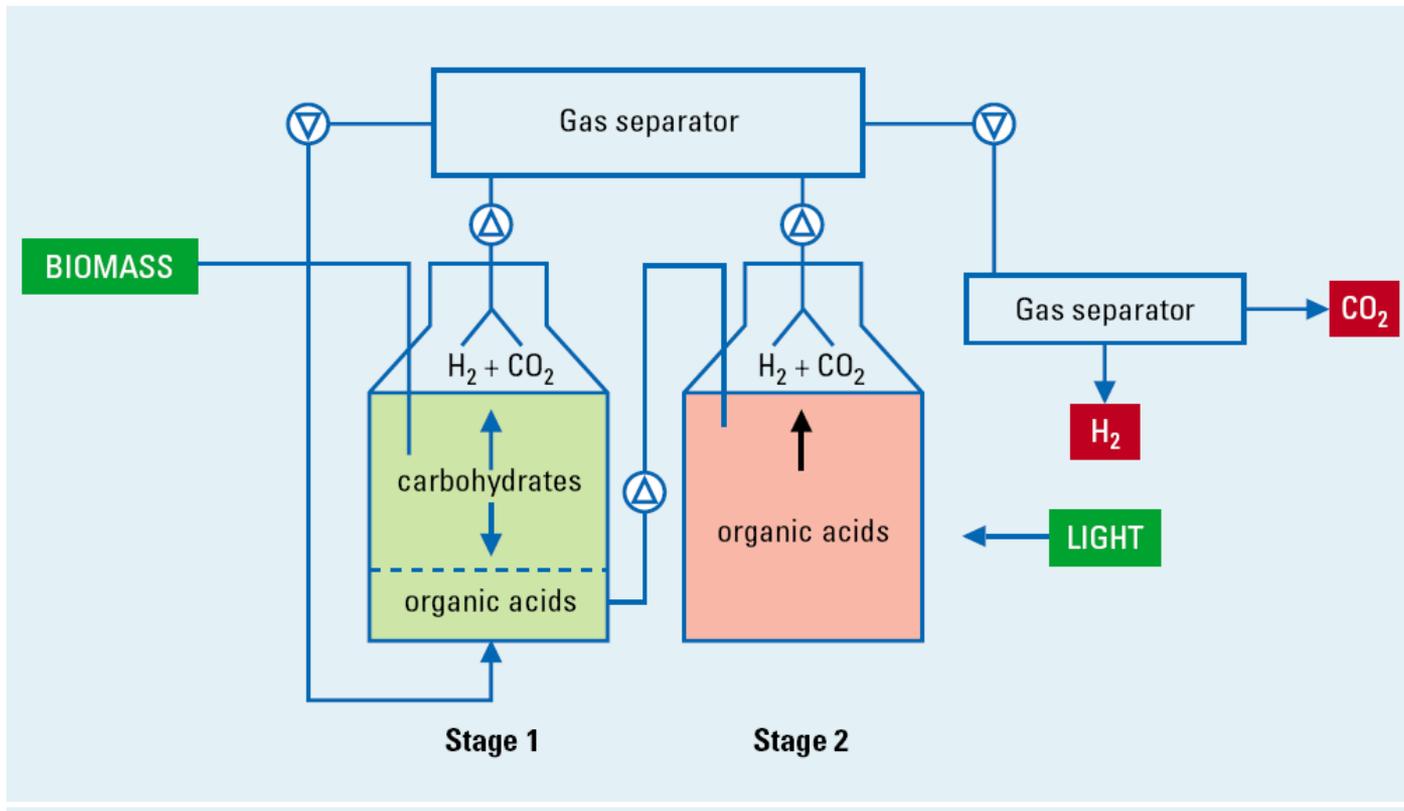


Aspetti termodinamici della fermentazione anaerobica

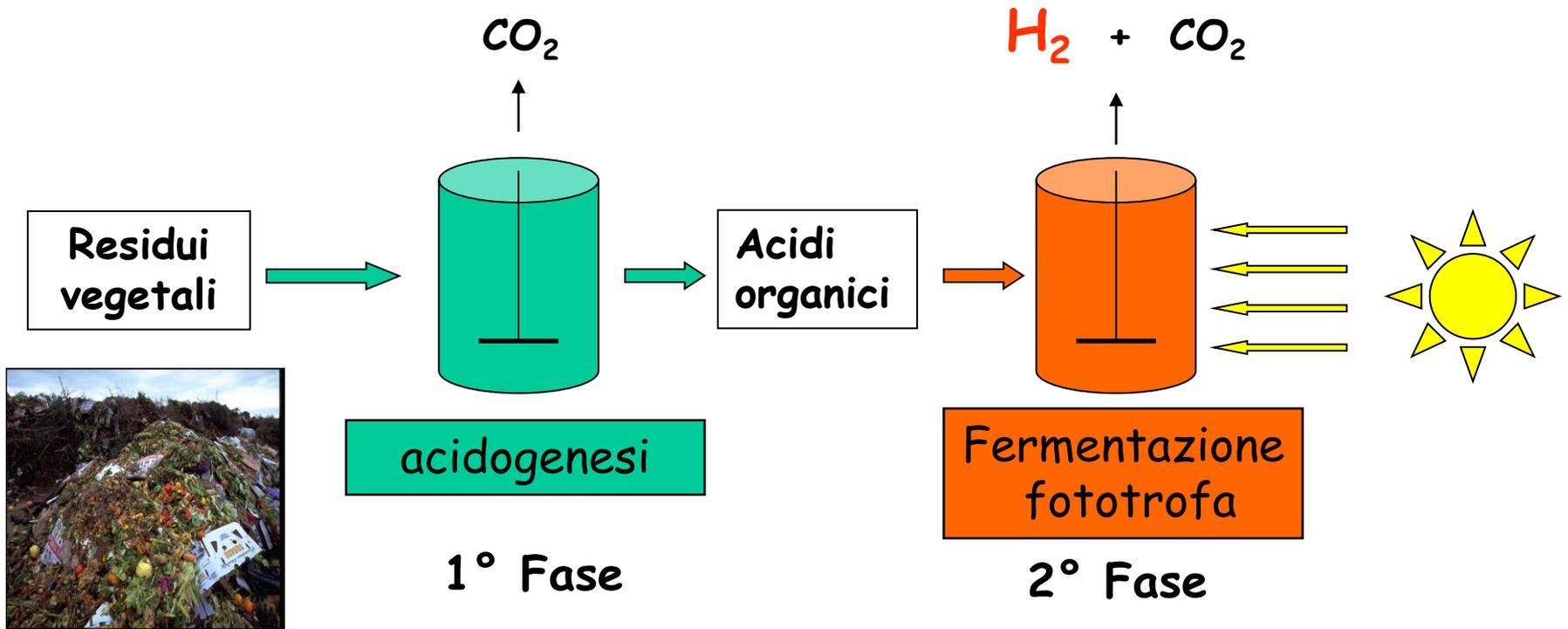


Aspetti termodinamici della fermentazione anaerobica





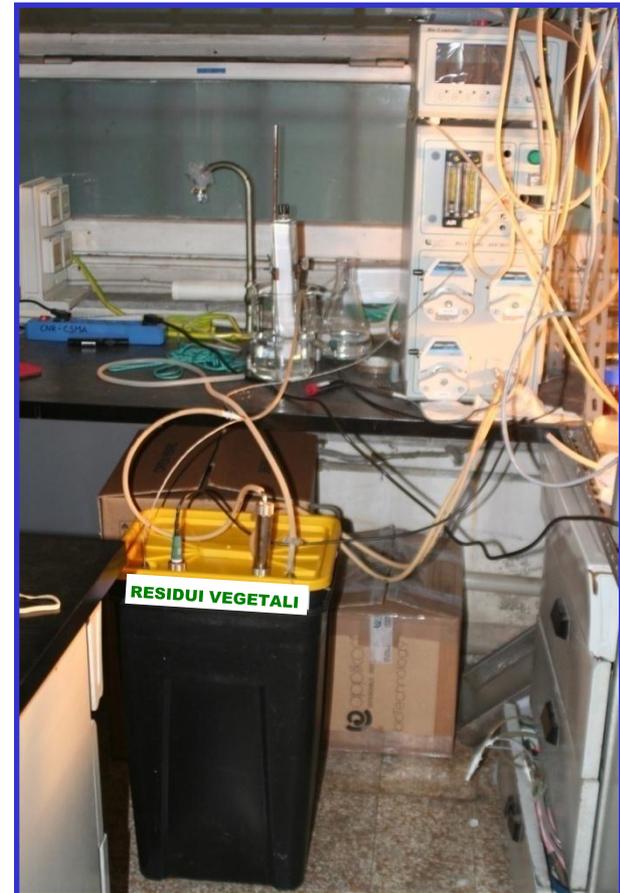
Sistema a due fasi



Sistema a due fasi-1° fase



*Fermentazione
con microflora
autoctona di
residui vegetali
provenienti dal
mercato
ortofrutticolo di
Firenze*



Sistema a due fasi-1° fase



Recupero del fermentato.

Composizione:

Acido lattico 6,5 g/L

Acido acetico 1,2 g/L

Etanolo 0,15 % (v/v)

Ammonio 70 mg/L

Sistema a due fasi-2° fase



Dispositivo: fermentatore 11 L

Durata produzione: 4-5 giorni

Tasso di produzione medio = 11-12 mL L⁻¹h⁻¹

Tasso di produzione max = 17-18 mL L⁻¹h⁻¹

Conversione substrato/H₂ = 24-26%

Sistema a due fasi: produzione energia elettrica da H₂



L'H₂ prodotto ha alimentato una cella a combustibile PEMFC (che ha prodotto energia elettrica con una densità di potenza massima di circa **60 mW/cm²** a temperatura ambiente).

Spunti didattici di riflessione

- Problematiche economiche ed ambientali dell'uso di fonti fossili di energia
- Possibili vie alternative: potenzialità e problematiche aperte
- La termodinamica regola tutti i processi (bio)chimici e fisici dell'Universo
- Il ruolo della ricerca nello sviluppo della conoscenza e della tecnologia



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

Scuola di Scienze
della Salute Umana

corso di laurea triennale

Biotechnologie



Il Corso di Laurea è articolato in tre Indirizzi:

- 1) Indirizzo Agrario e Ambientale
- 2) Indirizzo Biomolecolare
- 3) Indirizzo Medico- Farmaceutico

<http://www.biotechnologie.unifi.it/>

[\(sito web\)](#)

<http://www.unifi.it>