

PRODUZIONE COMBINATA DI H₂ E CH₄ DA RIFIUTI ORGANICI E STABILIZZAZIONE FINALE DEL DIGESTATO



G. Cappai, G. de Gioannis, A. Muntoni



G. Giordano, E. Massi, A. Polettoni, R. Pomi

L'H₂ NEL PANORAMA ENERGETICO

Contenuto energetico: ~120 MJ/kg

Unico combustibile privo di carbonio

Assenza di emissioni nocive dalla combustione

Compatibilità con processi elettrochimici e di combustione per la produzione di energia

UTILIZZO DELL'H₂

Produzione mondiale annua di H₂: 38×10^6 t ($\rightarrow 5 \times 10^{18}$ J)

Valore commerciale dell'H₂ prodotto: $\sim 48 \times 10^9$ €/anno

Impieghi principali dell'H₂:

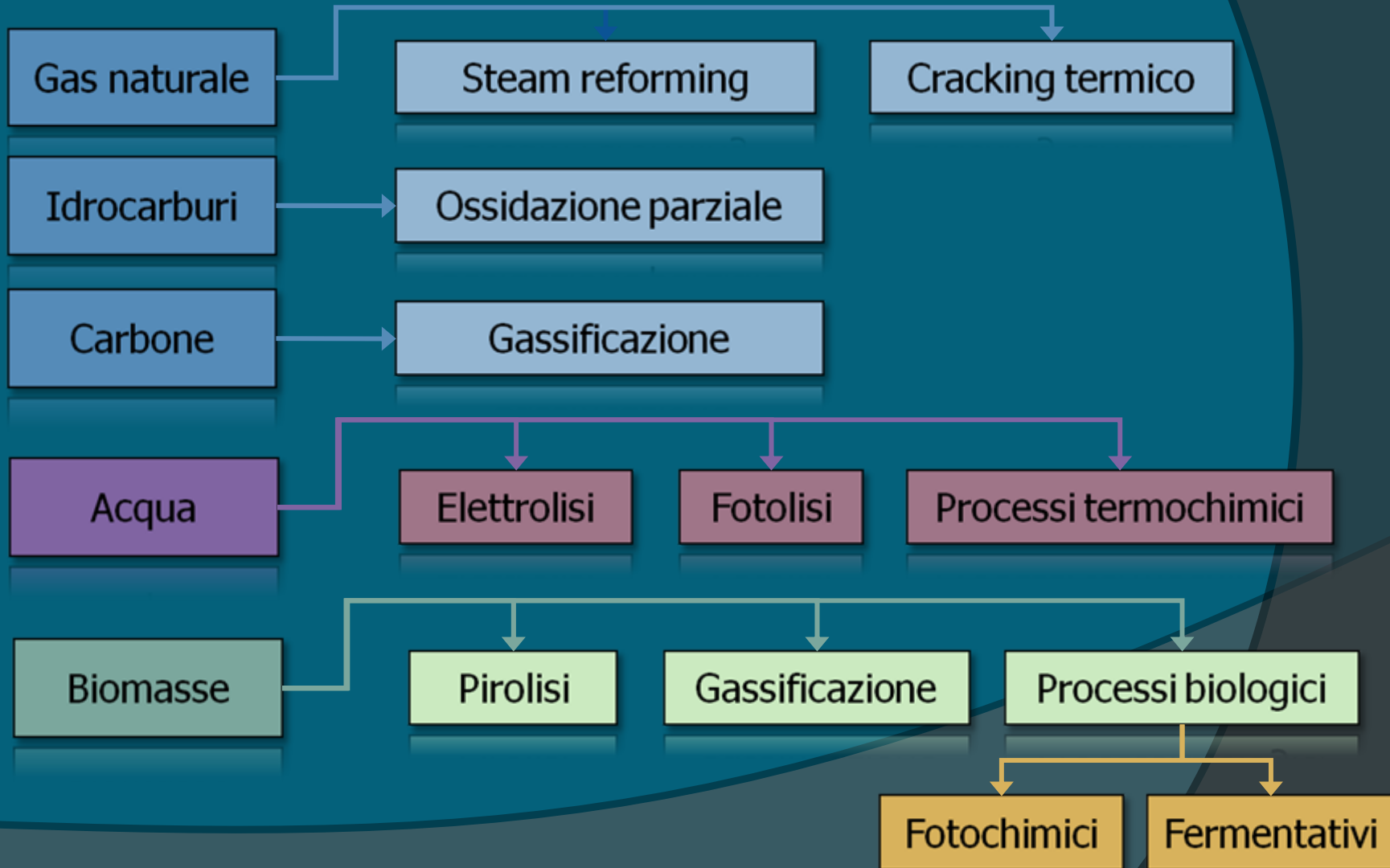
✓ nei processi di idrogenazione (cracking idrocarburi, saturazione composti insaturi, produzione NH₃)

✓ per la rimozione chimica dell'O₂ (riduzione fenomeni di ossidazione e corrosione)

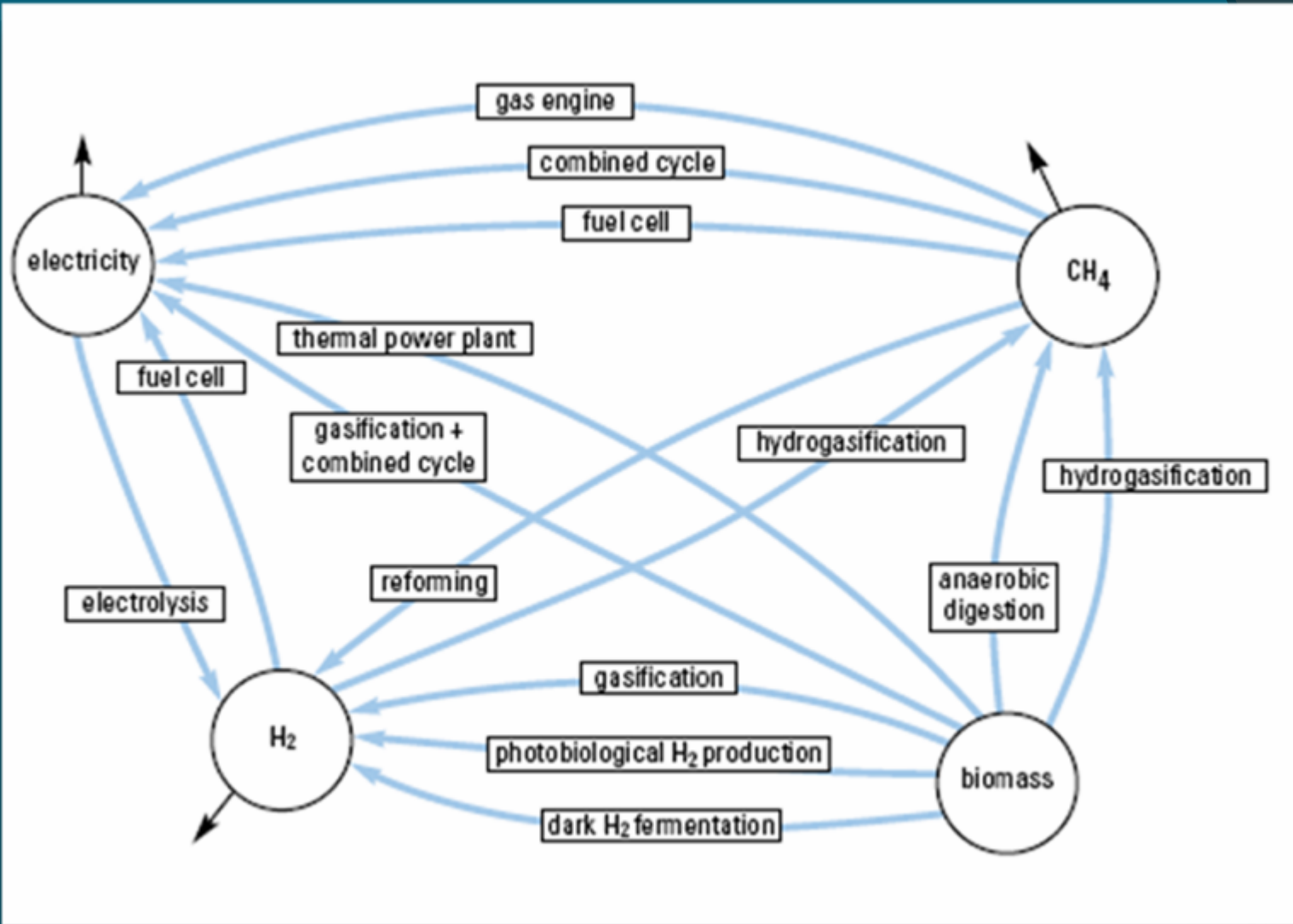
✓ refrigerante nei generatori elettrici

SISTEMI DI PRODUZIONE DI H₂

Combustibili fossili



IMPIEGHI DEI VETTORI ENERGETICI



PROCESSI BIOLOGICI

Processo	Principio	Vantaggi	Svantaggi
Biofotolisi	Fotosintesi operata da piante (gener. alghe verdi in cond. anaerobiche) che utilizzano l'energia solare per la reazione $H_2O \Rightarrow H_2 + O_2$	H_2 prodotto da luce solare e H_2O	Sensibilità all' O_2 Necessità di increm. Il trasferim. e l'utilizzo della luce Bassa eff. di prod. di H_2
Biofotolisi indiretta	Operata da cianobatteri che utilizzano l'en. stoccata nei carboidrati mediante fotosintesi per prod. H_2 dall'acqua: $H_2O + CO_2 \Rightarrow C_6H_{12}O_6 + O_2$ $C_6H_{12}O_6 + H_2O \Rightarrow H_2 + CO_2$	Prod. di H_2 disgiunta da quella di O_2	Necessità di increm. Il trasferim. e l'utilizzo della luce H_2 presente in miscela con l' O_2 nel biogas
Fotofermentazione	Operata da batteri che utilizzano l'en. solare per trasformare gli acidi organici in H_2 e CO_2 : $C_xH_yO_z + H_2O \Rightarrow H_2 + CO_2$	Assenza di sottoprodotti Possibil. di impiegare residui organici	Necessità di increm. Il trasferim. e l'utilizzo della luce
Fermentazione	Operata da batteri anaerobici che trasformano comp. org. in H_2 e altri gas (principalmente CO_2)	Possibil. di impiegare residui organici Buone rese con colture miste	Moltepl. di sottoprod. Necessità di separaz. dell' H_2 dal biogas Ridotte rese di prod.

RUOLO DEI PROCESSI BIOLOGICI

Produzione di H_2 con emissioni nette di CO_2 inferiori (o nulle) rispetto ai processi di produzione tradizionali

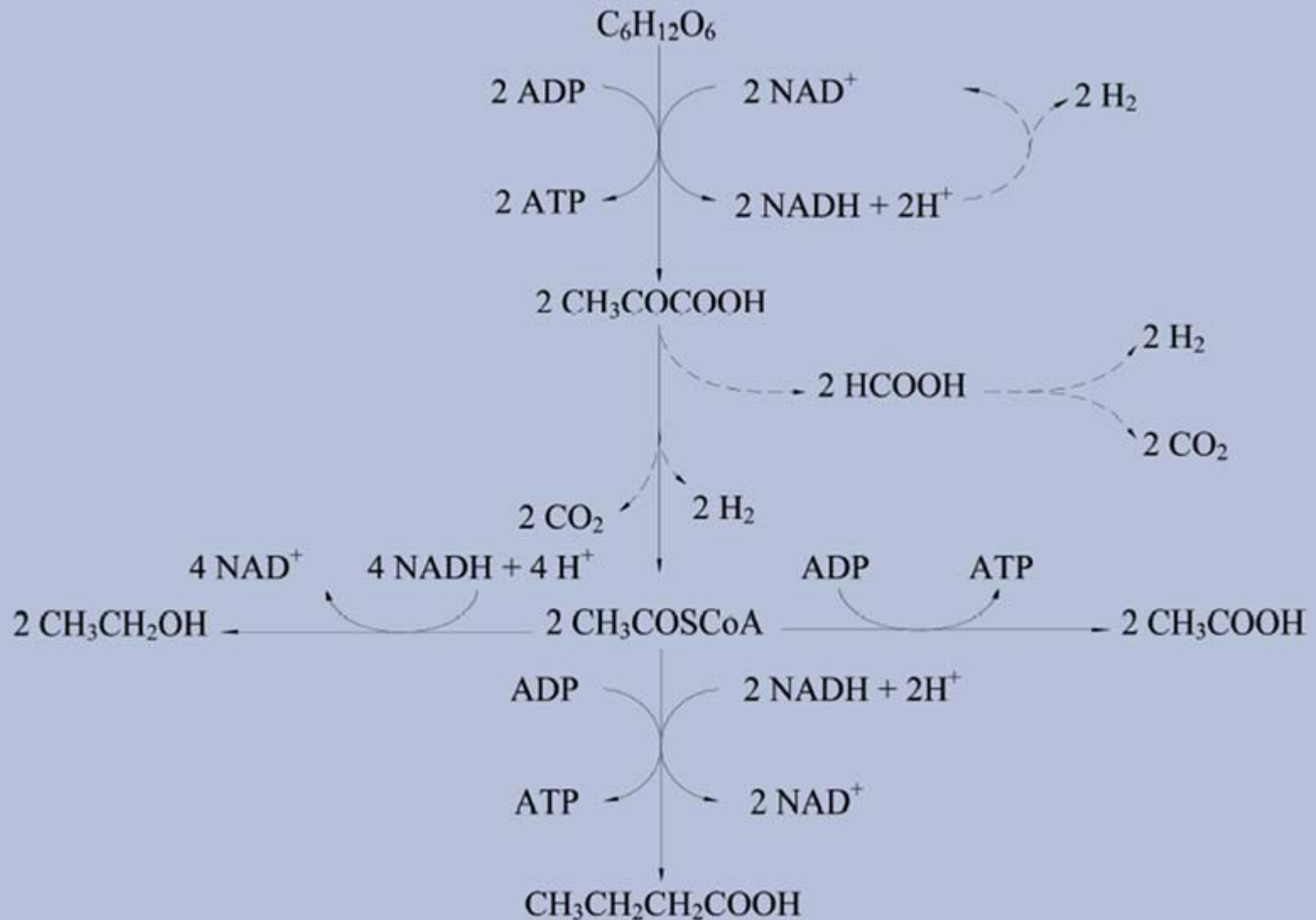
Contestuale valorizzazione energetica e stabilizzazione di materiali di rifiuto

Processi non energivori come i sistemi di produzione di H_2 tradizionali

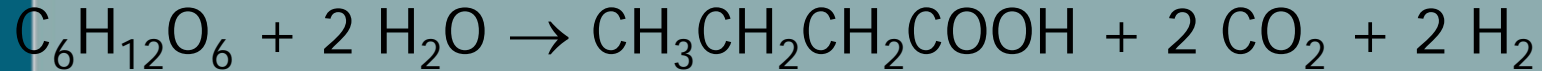
Elevati tassi di produzione di H_2

Ridotte rese di produzione di H_2

REAZIONI BIOLOGICHE COINVOLTE



RESE TEORICHE DI PRODUZIONE



ASPETTI CRITICI

- ▲ Necessità di incrementare le rese di produzione di H_2
- ▲ Incremento conseguibile in pratica:
 - * ~33% di conversione in H_2 degli e- contenuti nel substrato
 - * il restante ~66% convertito in VFA



- ▲ Necessità di un ulteriore stadio di processo per sfruttare il contenuto energetico dei prodotti del processo:
 - * metanogenesi per la produzione di CH_4 dalla fermentazione dei VFA
 - * fotofermentazione per la conversione fotosintetica dei VFA in H_2
 - * combinazione con processi elettrochimici

APPROCCI PER INCREMENTO RESE

- ▲ Controllo delle caratteristiche del substrato in ingresso:
 - * pretrattamento del substrato e/o dell'eventuale inoculo
 - * co-digestione di substrati di diversa origine
- ▲ Controllo dei principali parametri operativi del processo
 - * pH
 - * pressione parziale di H_2 e CO_2
 - * rapporto C/N
 - * tempo di residenza idraulica
 - * carico organico
- ▲ Configurazione del reattore:
 - * regime idraulico
 - * concentrazione di biomassa
- ▲ Interventi di ingegneria genetica sui microrganismi coinvolti nel processo

VALUTAZIONI GLOBALI

Quali delle precedenti strategie è opportuno adottare?

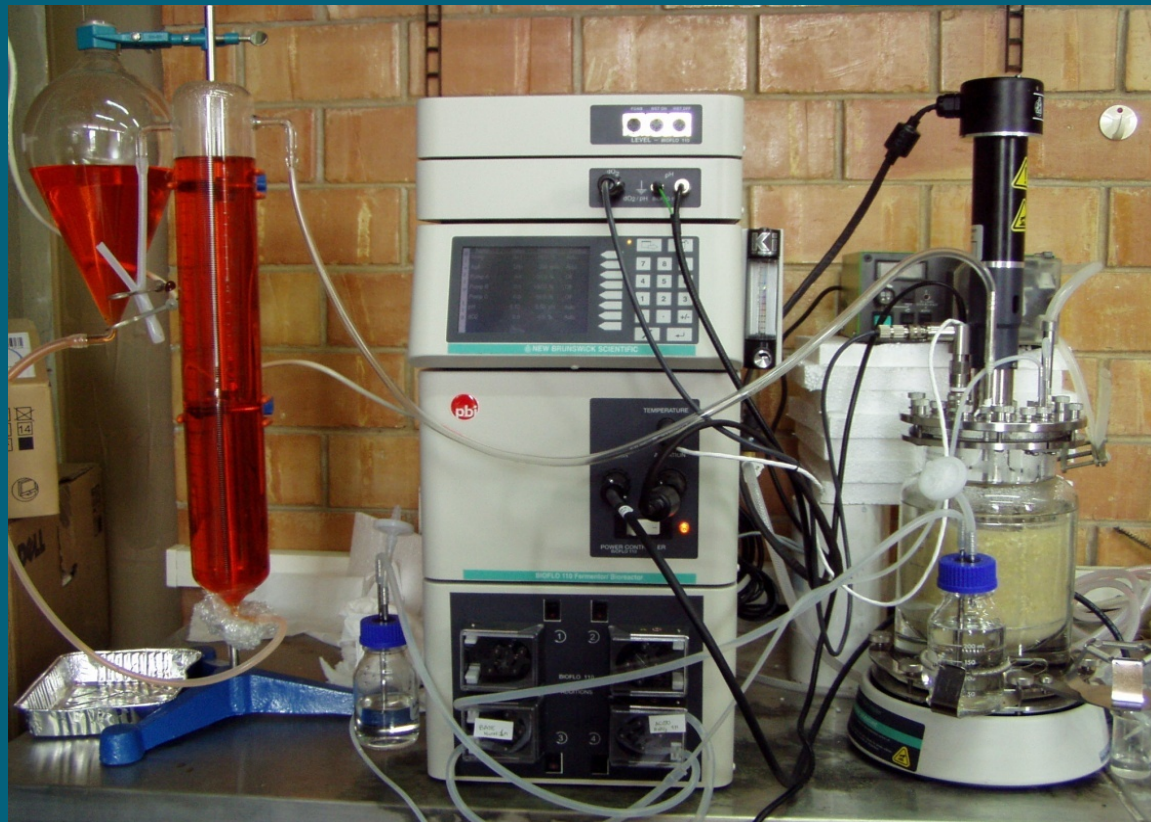
Valutazione basata su:

- ▲ complessità del processo risultante
- ▲ valutazione costi-benefici
- ▲ caratteristiche dei prodotti del processo

Attività di ricerca del gruppo:

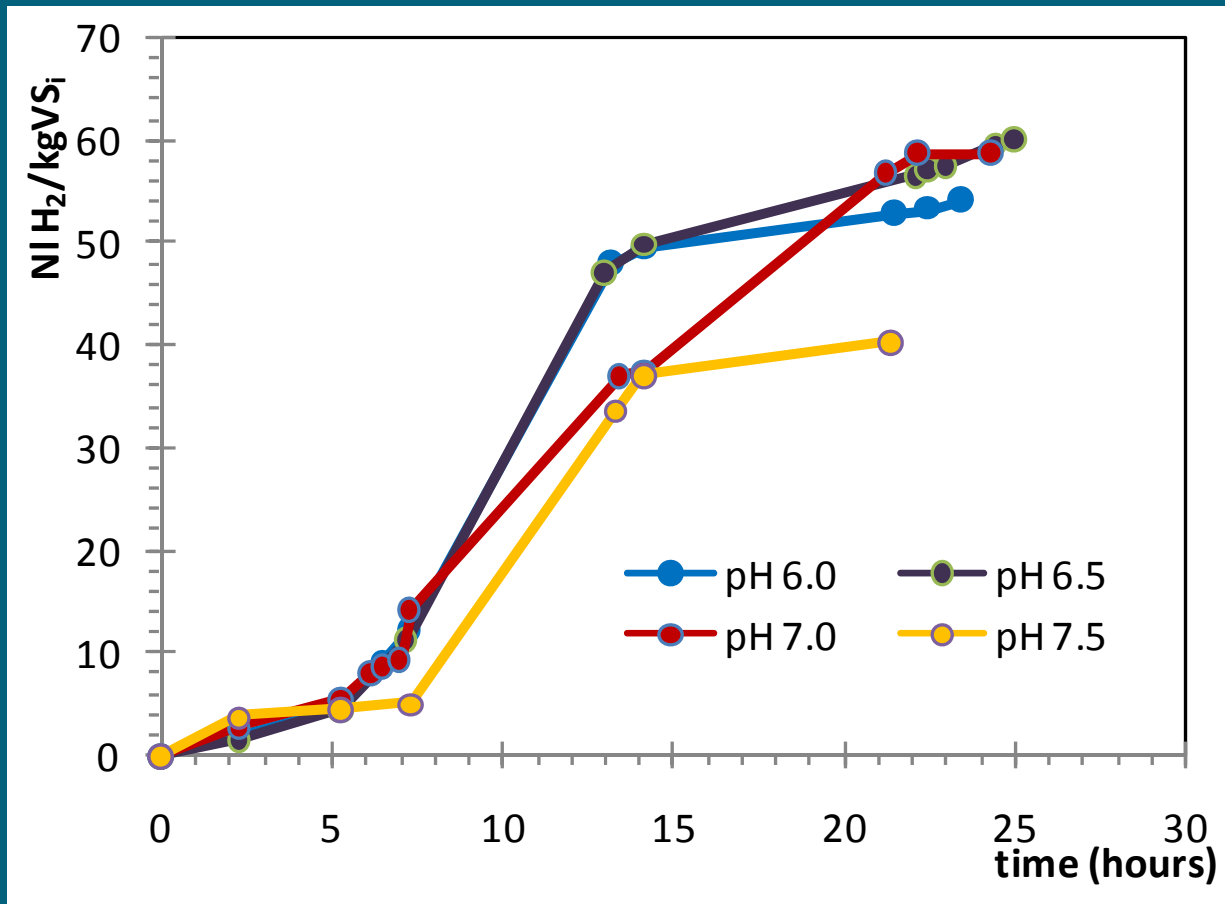
- ▲ Progetto CERSE (MSE): combinazione processi di digestione anaerobica con celle a combustibile (ENEA, UNIROMA, UNINA)
- ▲ Progetto VEROBIO (MIPAF): digestione anaerobica di residui agroindustriali per applicazioni cogenerative (ENEA, UNIROMA, UNICA, CRA)
- ▲ Gruppo internazionale IWWG "H₂ production"
- ▲ Progetto HyMeC (UNICA; UNIROMA)

ATTIVITÀ SPERIMENTALE



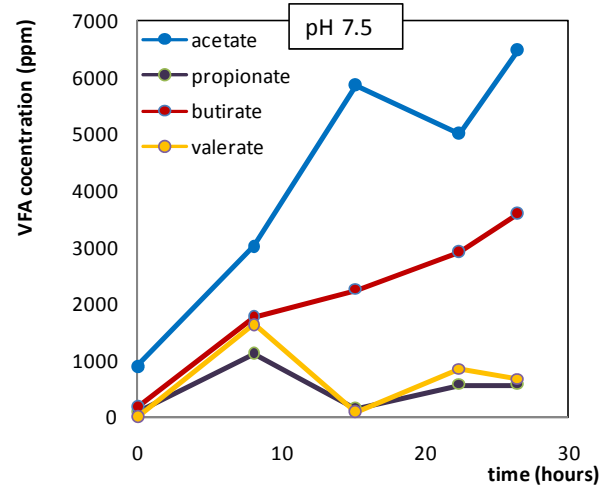
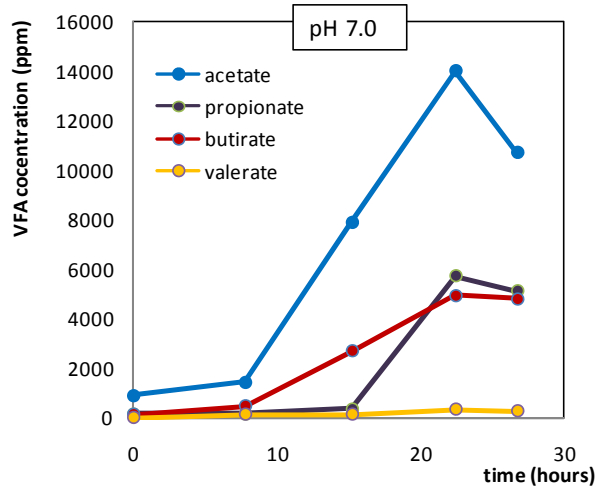
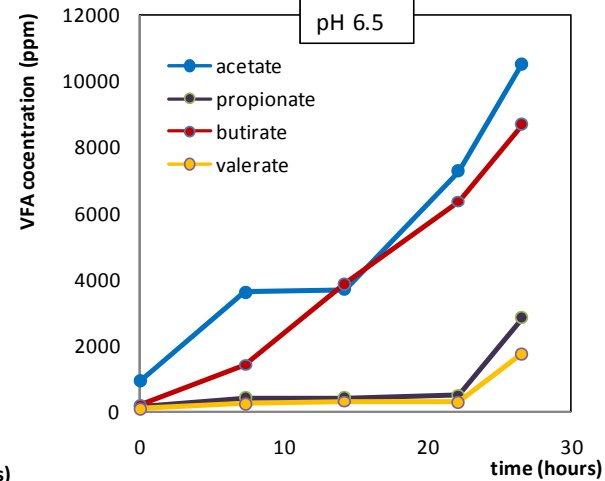
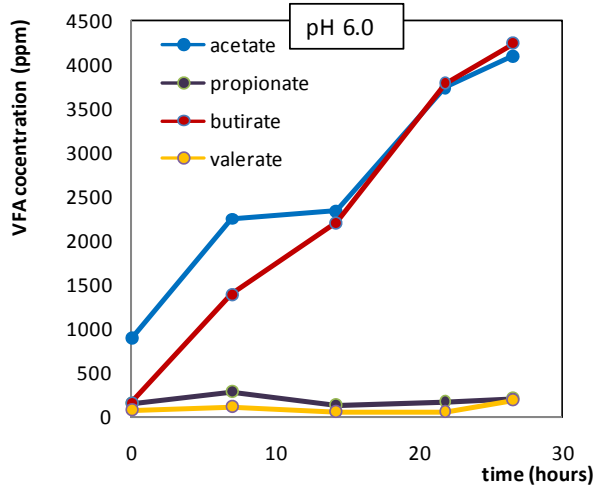
ATTIVITÀ SPERIMENTALE

Prove in batch – effetto del pH



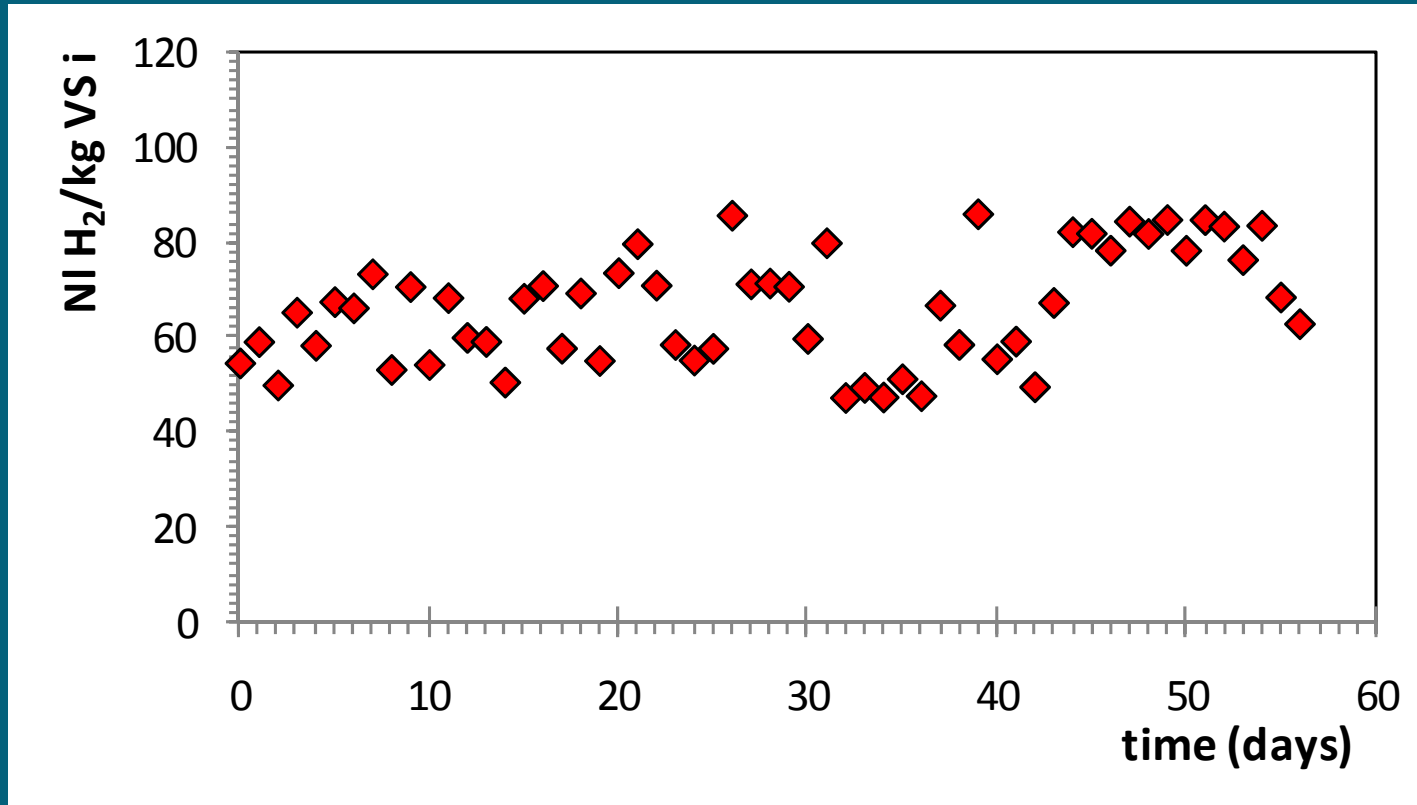
ATTIVITÀ SPERIMENTALE

Prove in batch – effetto del pH



ATTIVITÀ SPERIMENTALE

Prove in semi-continuo (I stadio)

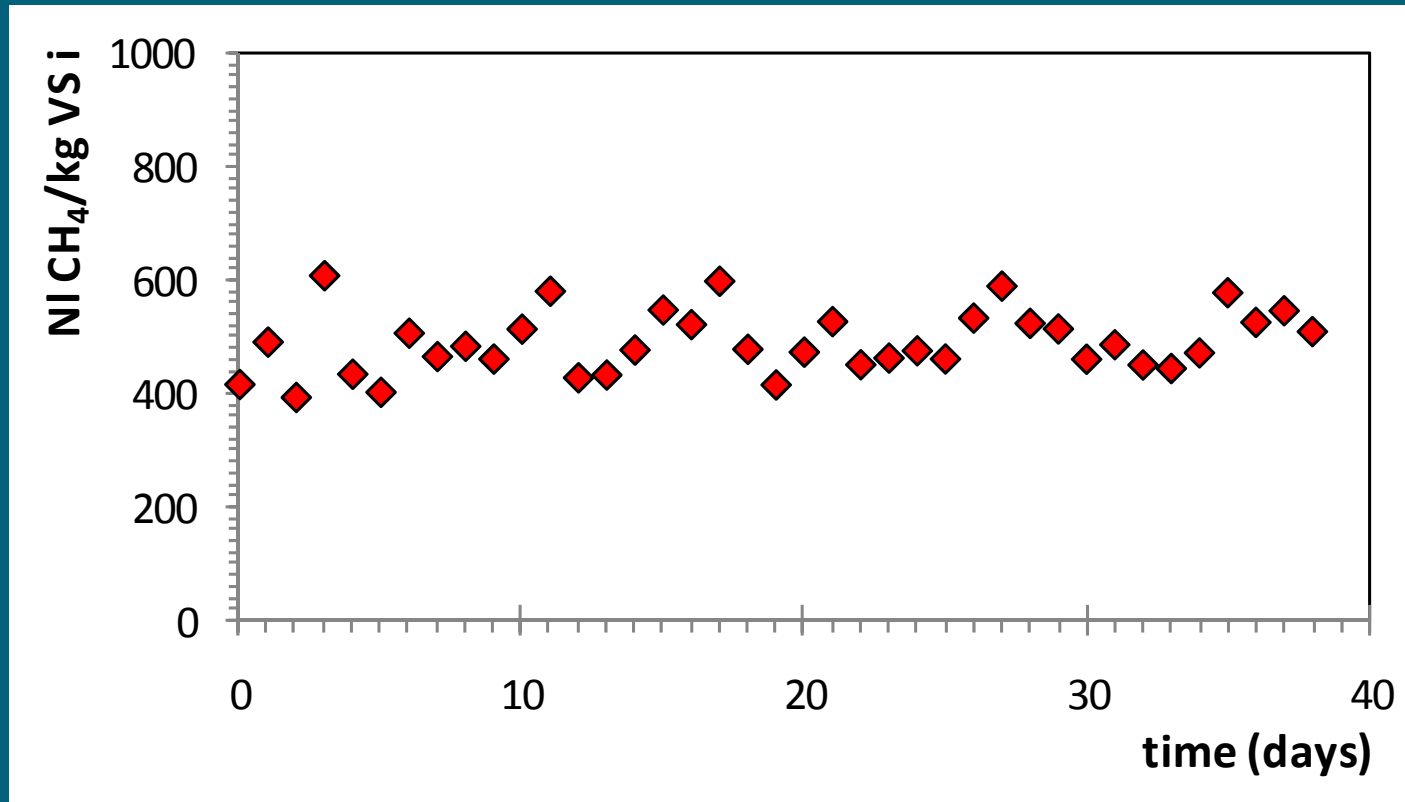


$\sim 66 NI H_2/kg SV_i$

$SV_{rim}: \approx 23\% SV_i$

ATTIVITÀ SPERIMENTALE

Prove in semi-continuo (II stadio)



490 NI CH₄/kg SV_i
88% VFA rim.

76% v/v CH₄
61% SV rim.

CONCLUSIONI

Notevole influenza dei parametri operativi sulle rese del processo di produzione di H_2

Dipendenza delle condizioni operative dalle caratteristiche del substrato alimentato

Possibilità di garantire la stabilità del processo mediante una scelta opportuna delle condizioni operative e della composizione del substrato

Influenza positiva del processo di produzione di H_2 sul successivo stadio di metanogenesi