



POLITECNICO  
MILANO 1863

LABORATORY  
OF CATALYSIS  
AND CATALYTIC  
PROCESSES



# Le sfide della Transizione Energetica alla Catalisi: lo sviluppo di nuove tecnologie presso il **Laboratorio di Catalisi e Processi Catalitici**

Dipartimento di Energia - Politecnico di Milano

**Alessandra Beretta**

# LCCP group

Il Laboratorio di Catalisi e Processi Catalitici è stato fondato nei primi anni '70 e da allora è stato pioniere nella ricerca multidisciplinare nella scienza e nell'ingegneria della catalisi eterogenea



7 professori ordinari  
 4 professori associati  
 5 ricercatori  
 ~30 PhD e Post-Doc  
 ~5/y visiting researchers  
 ~50/y MSc students

Partner accademici ed industriali in tutto il mondo:



# LCCP group: I laboratori



2000+ m<sup>2</sup>  
**LABORATORI**  
Presso il Campus Bovisa



**PREPARAZIONE  
E CARATTERIZZAZIONE DEI  
CATALIZZATORI**



**25+ IMPIANTI PER IL TESTING DEI  
CATALIZZATORI**



**COMPUTATIONAL FACILITIES**

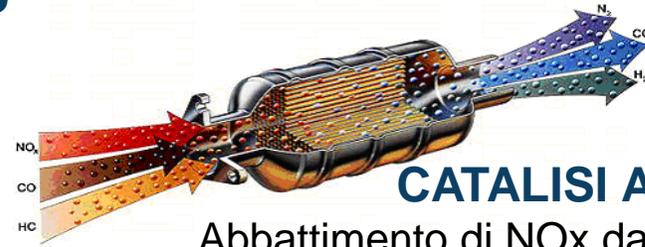


# LCCP group: transizione energetica e catalisi



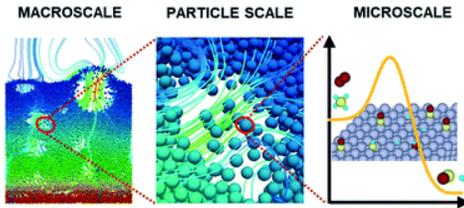
## INTENSIFICAZIONE PROCESSO

Reattori con promozione scambio termico  
Elettificazione diretta



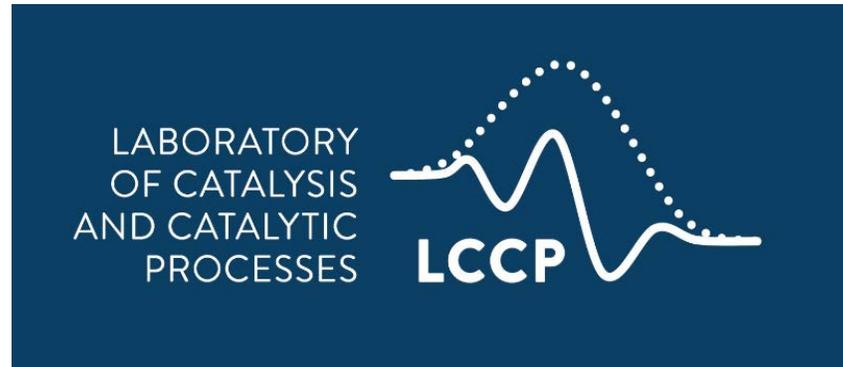
## CATALISI AMBIENTALE

Abbattimento di NOx da fonti fisse e mobili (SCR)  
Trapping di NOx da fonti mobili (PNA)  
Rimozione emissioni di CH4 per veicoli a gas naturale (NGV)



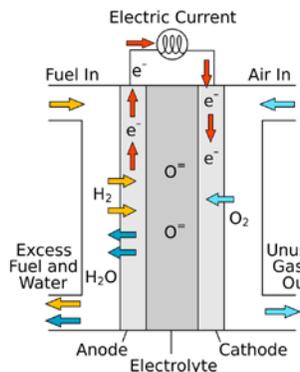
## CATALISI COMPUTAZIONALE

Modellazione Microcinetica  
Modellazione molecolare  
CFD fluidi reagenti



## PRODUZIONE H<sub>2</sub>

CH<sub>4</sub> Catalytic Partial Oxidation  
CH<sub>4</sub> Steam/Dry reforming  
Pirolisi CH<sub>4</sub>  
Cracking NH<sub>3</sub> e  
Liquid organic H<sub>2</sub> carriers



## ELECTROCATALISI

SOECs/SOFCs  
Water splitting foto-elettrochimico



## VALORIZZAZIONE CO<sub>2</sub>

Reverse Water Gas Shift  
Metanazione  
Produzione olefine  
e-Fuels

## BIOFUELS

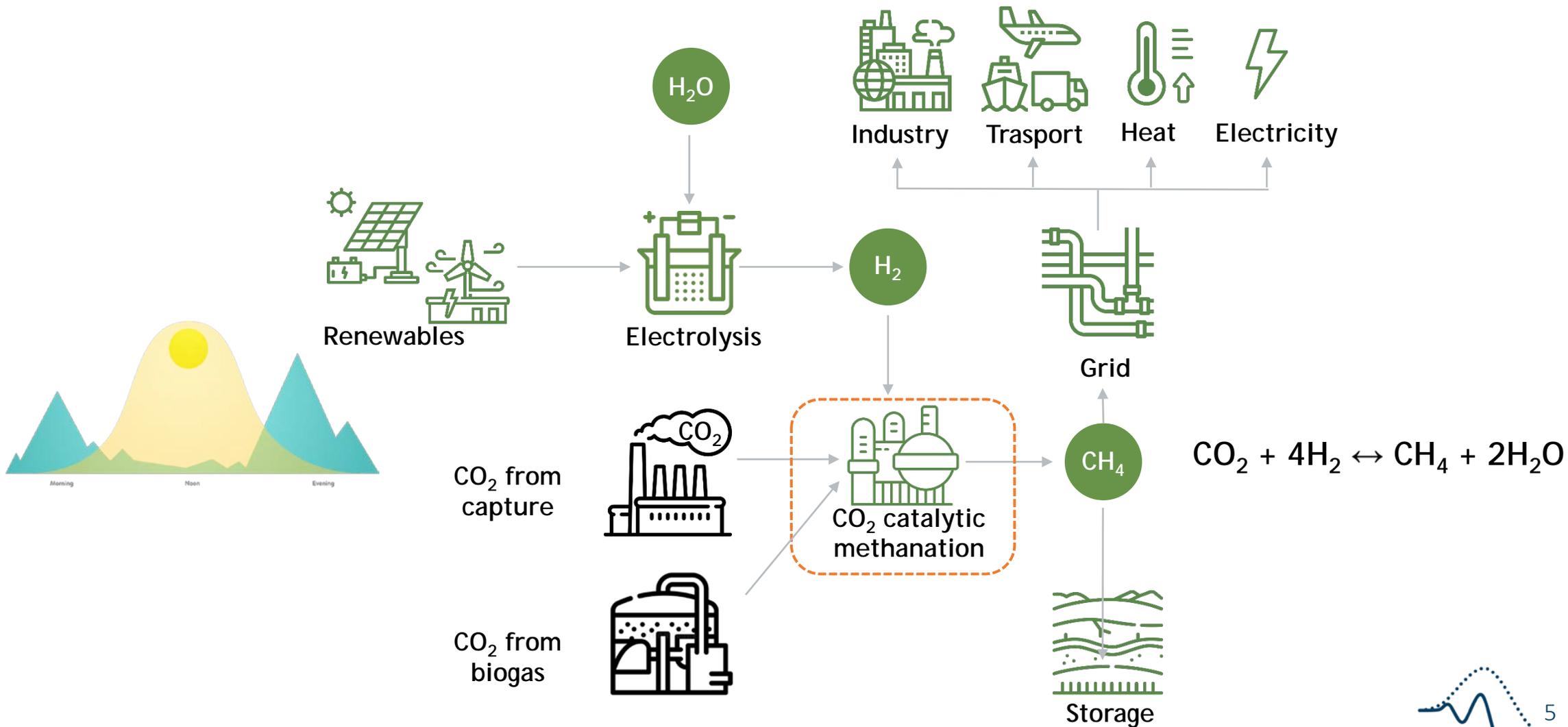
Pirolisi Biomasse  
Upgrade di biofuels



# Idrogenazione CO<sub>2</sub>: produzione di RNG (e-methane)



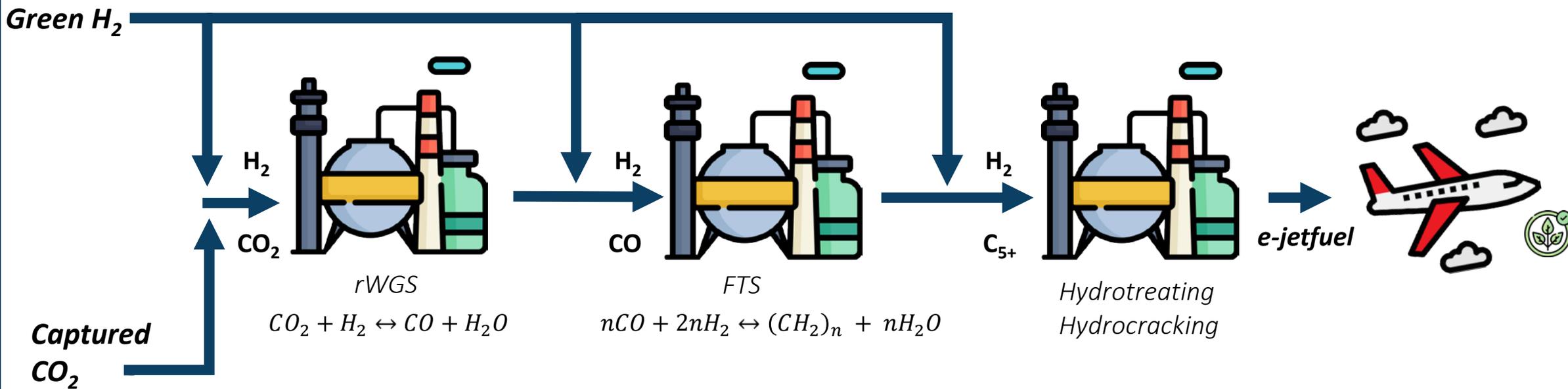
In collaborazione con: ENI





# Idrogenazione CO<sub>2</sub>: produzione di e-jet fuels

In collaborazione con: NextChem, ENEA, MASE



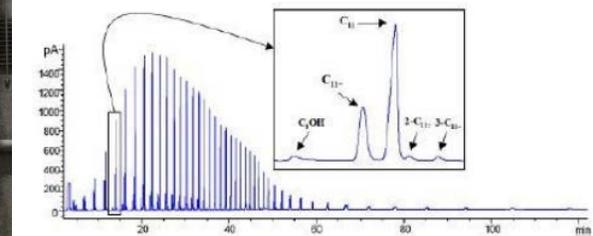
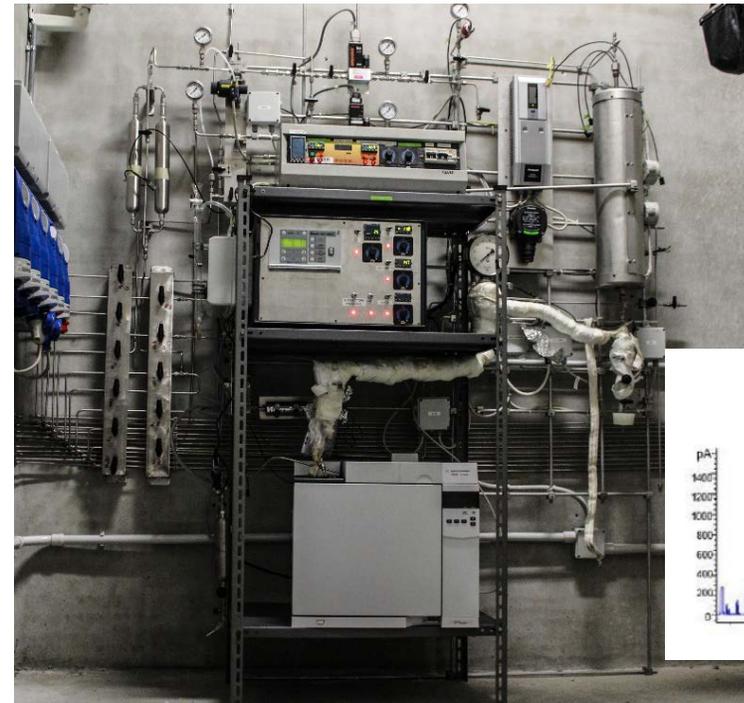
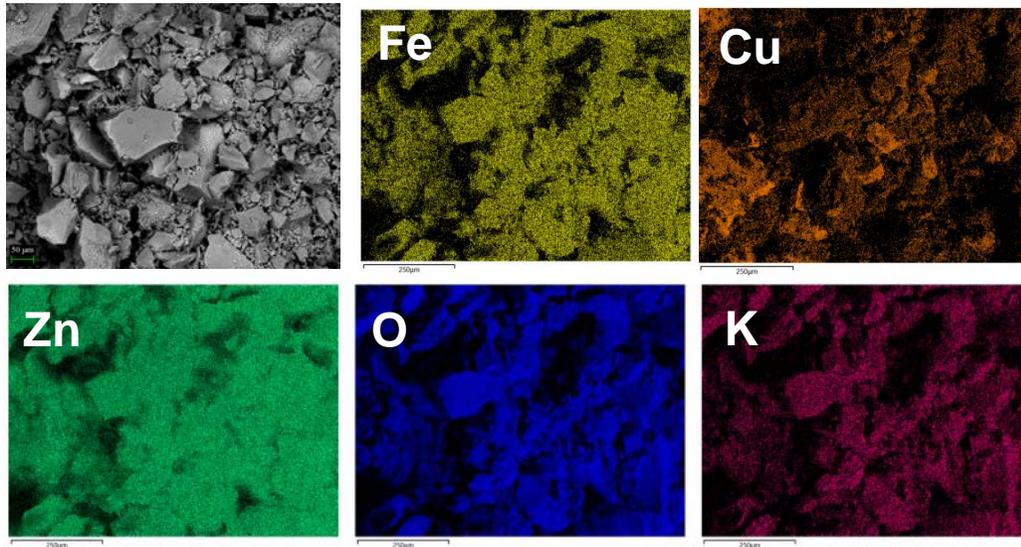
# Idrogenazione CO<sub>2</sub>: produzione di e-jet fuels

In collaborazione con: NextChem, ENEA, MASE



## OBIETTIVI:

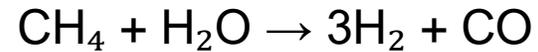
- Preparazione e caratterizzazione di catalizzatori avanzati
- Test catalitici in impianto ad alta pressione
- Analisi dettagliata delle miscele di prodotti (syncrude)



# H<sub>2</sub> Low-C? I limiti dello Steam Methane Reforming

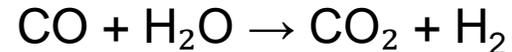
Il processo SMR coinvolge due reazioni:

- **SMR**



$$\Delta H(298\text{K}) = 206 \text{ kJ/mol}$$

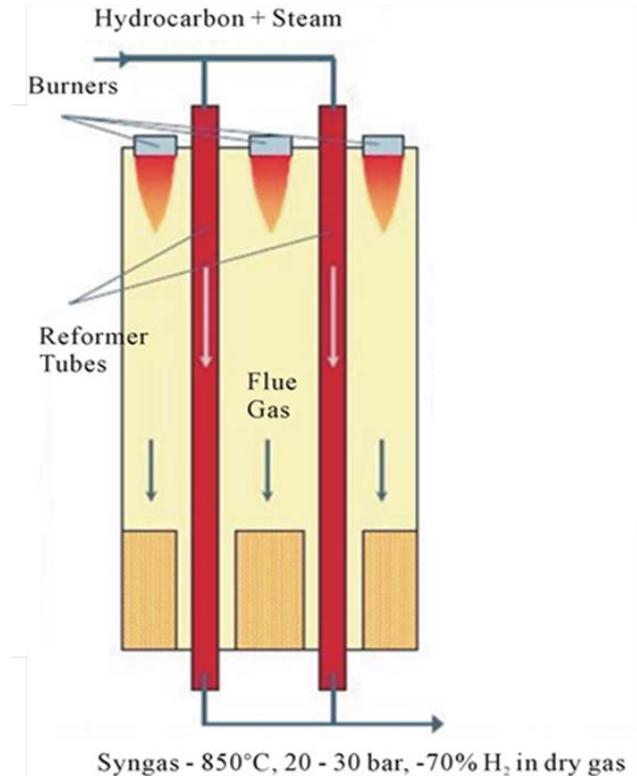
- **WGS**



$$\Delta H(298\text{K}) = -41 \text{ kJ/mol}$$

Tipiche condizioni operative:

- Temperatura: 700 [°C]– 900 [°C]
- Pressione: 30 [bar]
- Steam to carbon ratio: 2.5 – 4
- Reattore catalitico multitubolare riscaldato da bruciatori
- Dimensione catalizzatore:  $D_{\text{pellet}} \approx 1$  [cm]



Ghoneim et al., (2016)

I limiti del reattore multitubolare riscaldato esternamente:

- Trasporto di calore → Gradienti di T
- Impatti → C footprint (bruciatori) e space utilization (forno e cooling)
- Efficienza → Parte di NG è alimentato ai bruciatori per sostenere termicamente

# e-SMR:

## energia elettrica rinnovabile per migliorare efficienza e C-footprint

### □ Riduzione dei consumi specifici:

41 kJ/mol vs 242 kJ/mol elettrolisi

1 kWh/Nm<sup>3</sup> vs 5 kWh/Nm<sup>3</sup> elettrolisi

### □ Riduzione CO<sub>2</sub> :

eMSR elimina il processo di combustione ai bruciatori;

CO<sub>2</sub> presente solo nella corrente di processo;

0.25 CO<sub>2</sub> / H<sub>2</sub> (mol): (vs. 0.3-0.5 nello SMR convezionale);

### □ Miglioramento del trasporto di calore:

Intensificazione di processo.

Il catalizzatore è a diretto contatto con gli elementi riscaldanti: sono possibili temperature operative più elevate, sono richiesti materiali di qualità inferiore, calore volumetrico più elevato, produttività più elevate

### □ Scale-down:

Di difficile realizzazione in presenza di bruciatori (i.e. valorizzazione del biogas)

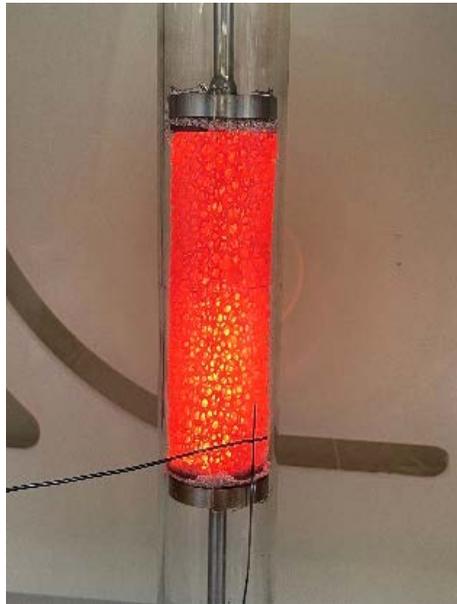
### □ Dinamica di risposta:

Il miglioramento del trasporto di calore rende più veloci le variazioni di carico

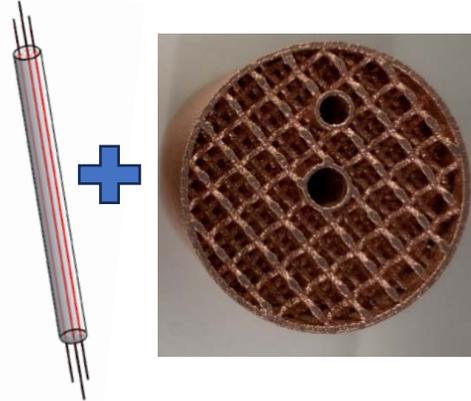


# Low-C H<sub>2</sub> : reattori riscaldati mediante effetto Joule @ Polimi

Reattore a riscaldamento diretto



Reattore a riscaldamento indiretto

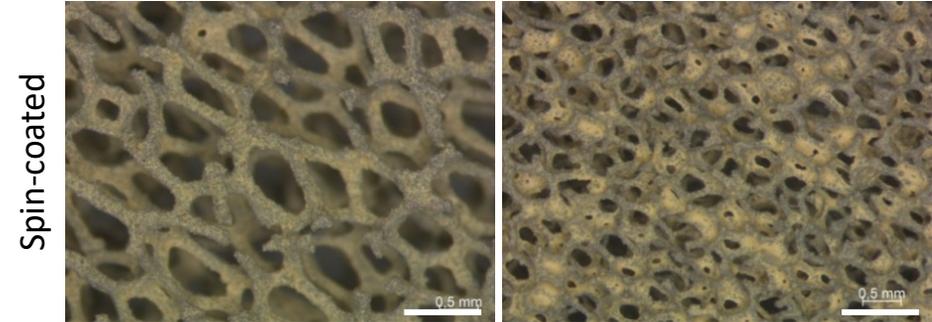


Attivazione catalitica

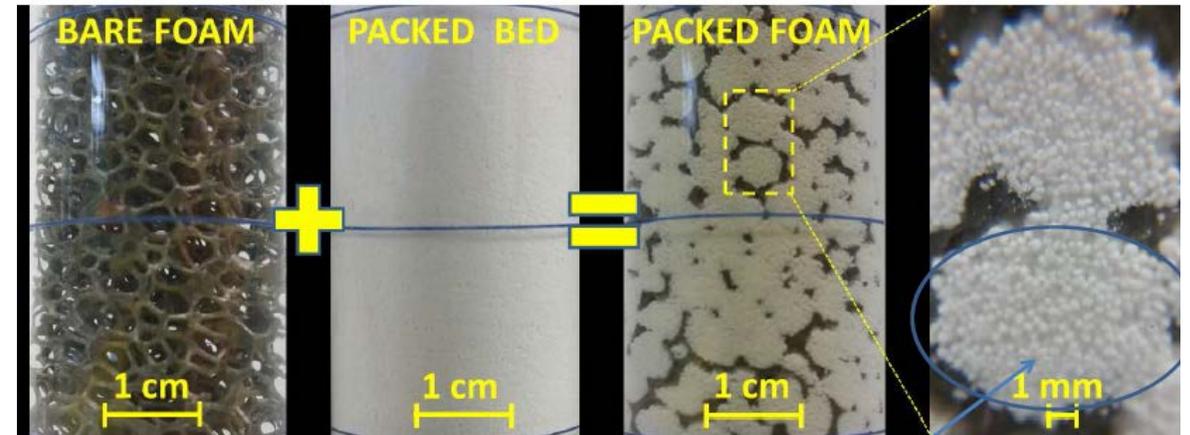
- **Tecnica di coating con film sottili di catalizzatore**

Cell size: 1200 μm

Cell size: 580 μm



- **Tecnica di impaccamento con piccoli pellets**



WO/2023/062591

Zheng et al, CEJ [466](#), 2023, 143154

Zheng et al, IJHE 46, 2023, 14681-14696

# Reforming del biogas elettrificato

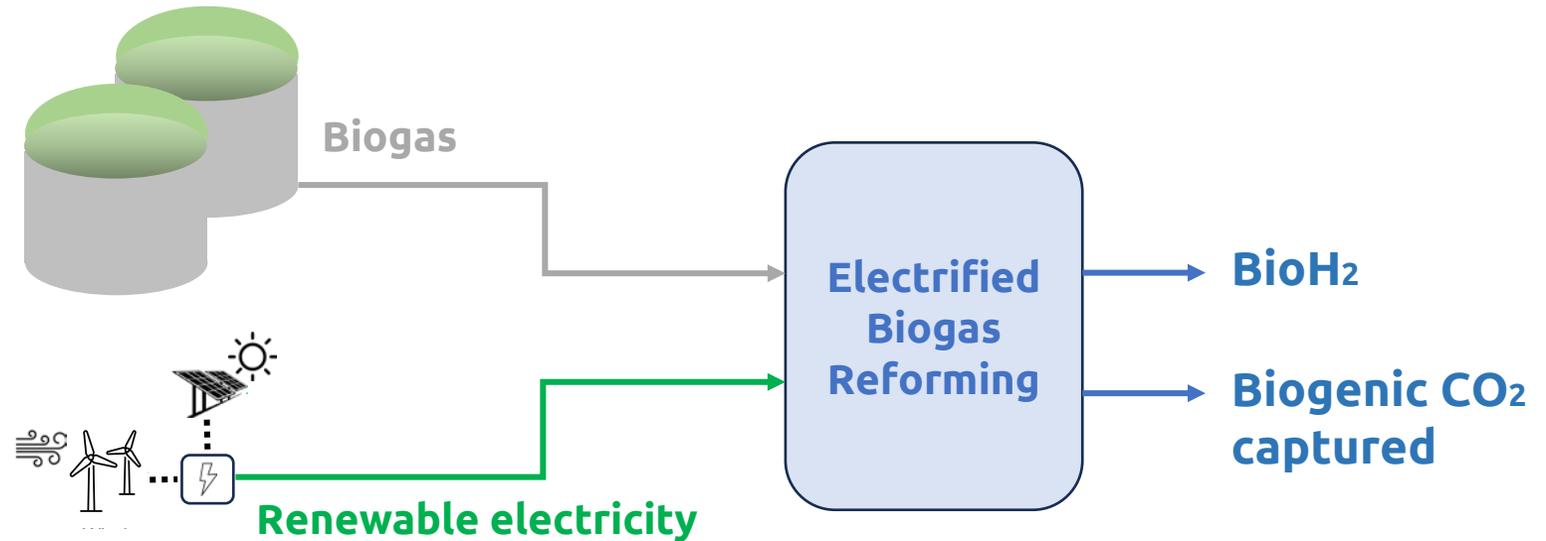
In collaborazione con: SNAM



La produzione di idrogeno da reforming del biogas, utilizzando energia elettrica rinnovabile per fornire il calore di reazione, diventa un processo a emissioni negative se abbinato alla cattura della CO<sub>2</sub> biogenica. Questa è un'opzione praticabile per gli impianti di biogas che oggi producono elettricità e che sono lontani dalla rete del gas.



Map of the biogas plants that are far from the SNAM network



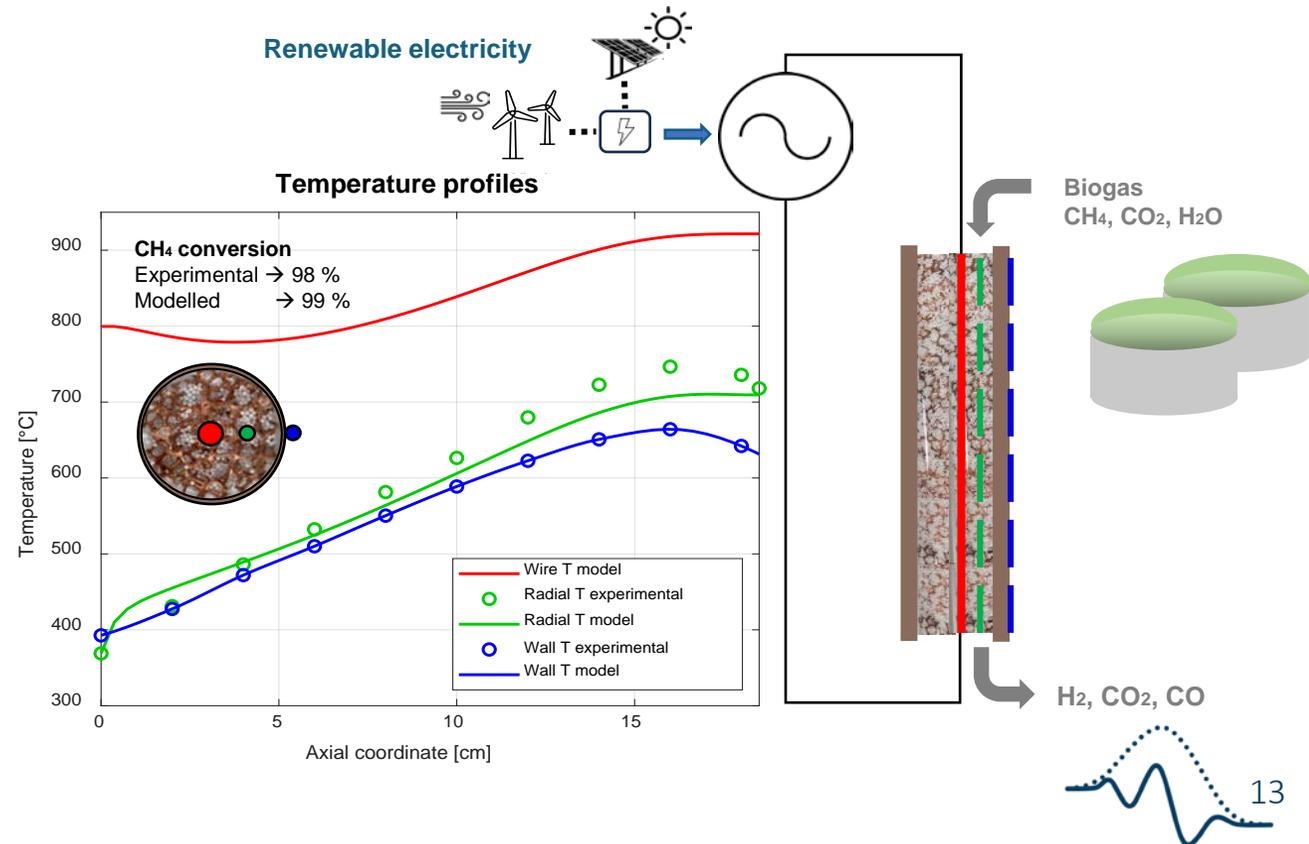
# Reforming del biogas elettrificato

In collaborazione con: SNAM



## OBIETTIVI:

- Progettazione di un nuovo reattore pilota basato su un brevetto LCCP.
- Ottenimento di profili radiali di temperatura quasi piatti
- Verifica alla scala di lab e sviluppo di un prototipo.



(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau



(43) International Publication Date  
20 April 2023 (20.04.2023)

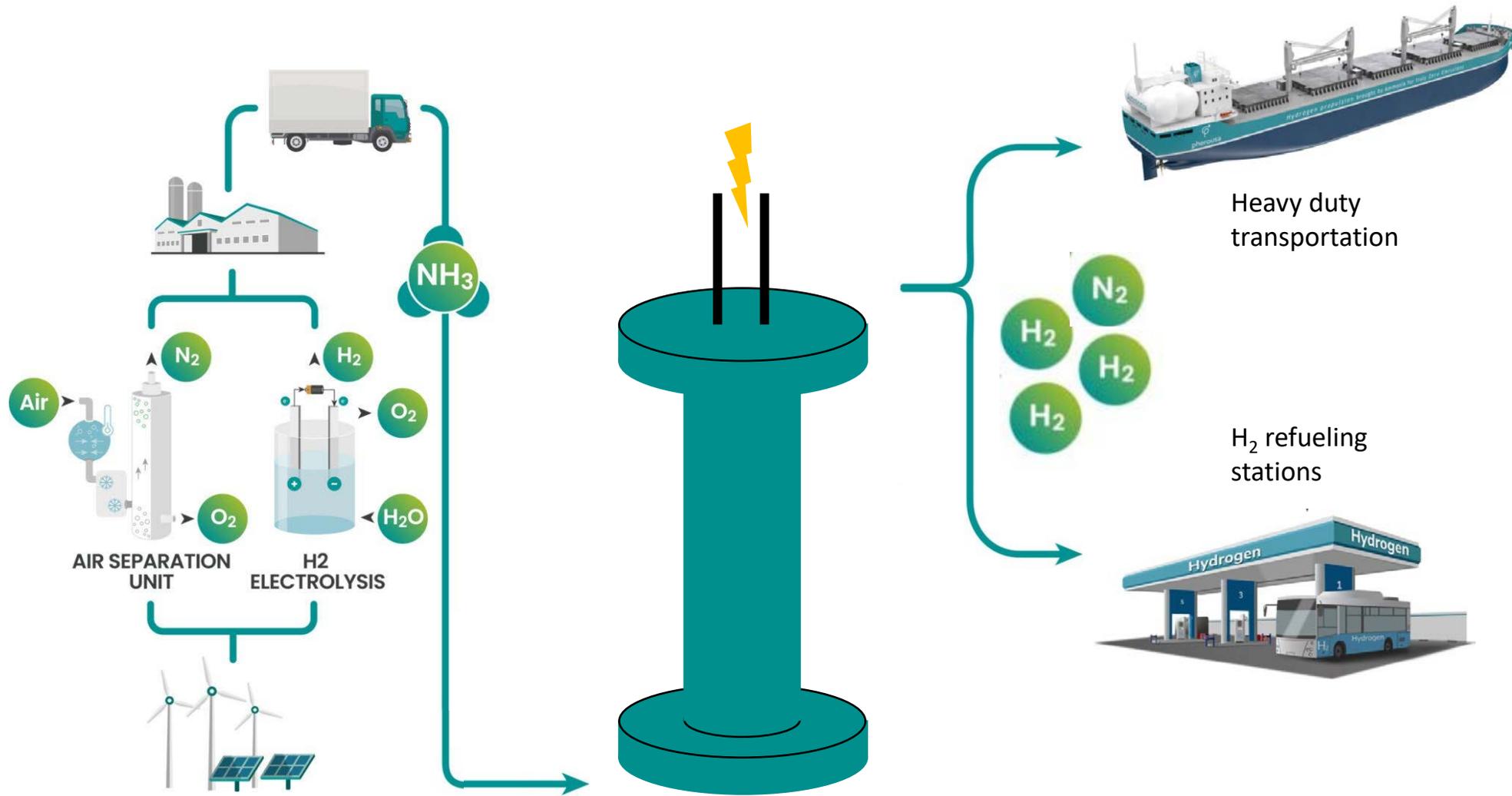


(10) International Publication Number  
WO 2023/062591 A1



# Cracking elettrificato di $\text{NH}_3$

In collaborazione con: Snam



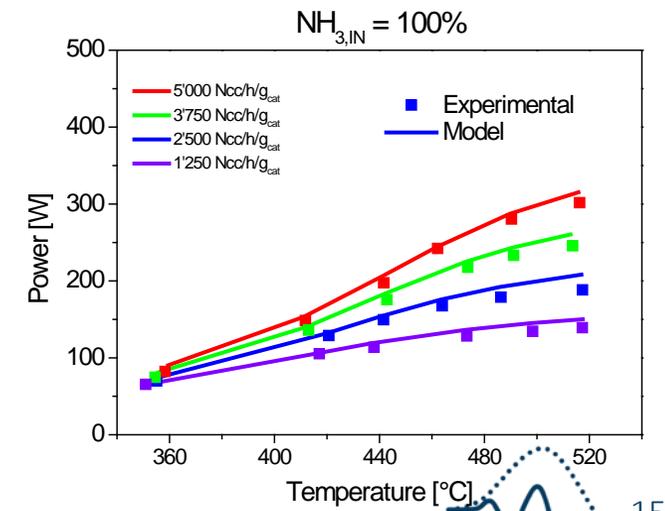
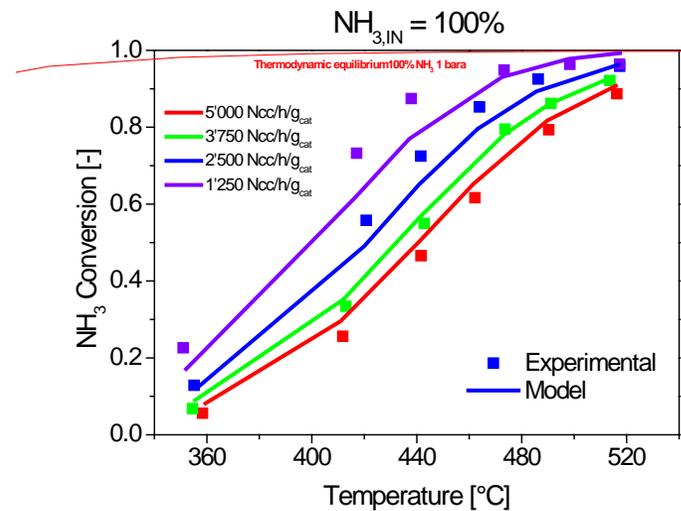
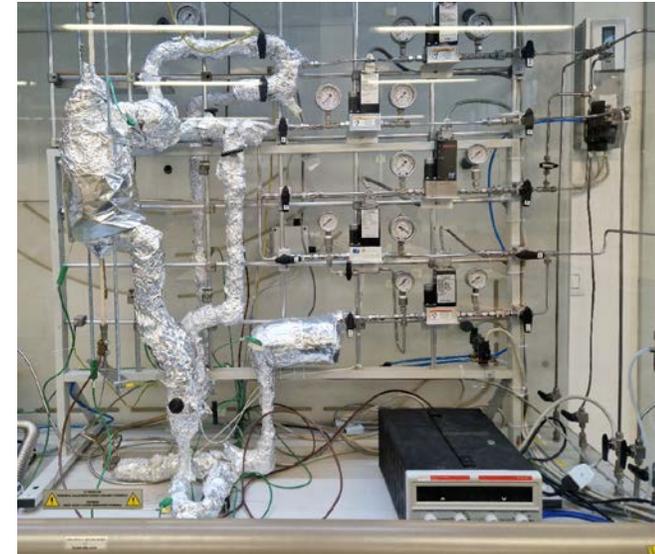
# Cracking elettrificato di $\text{NH}_3$

In collaborazione con: Snam



## OBIETTIVI:

- Studio delle prestazioni del reattore elettrificato di piccola scala
- Progetto di reattori industriali

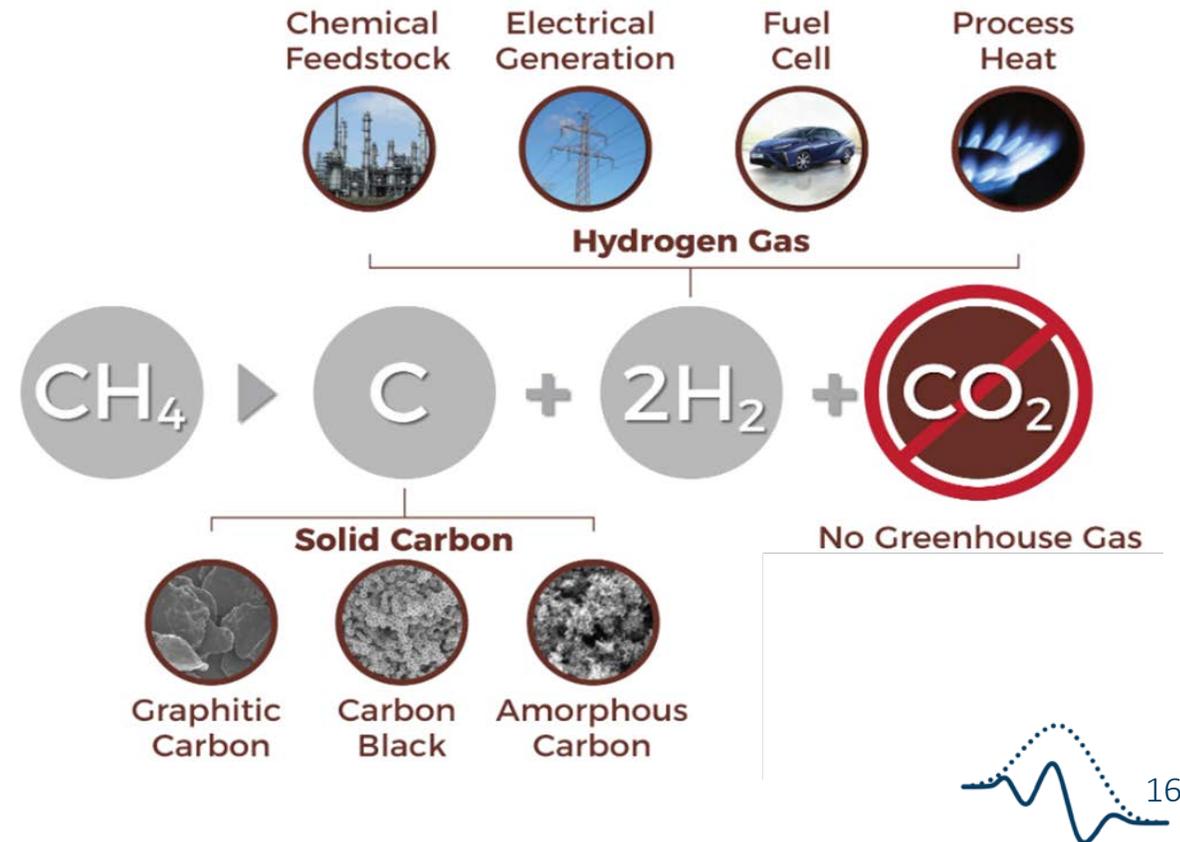
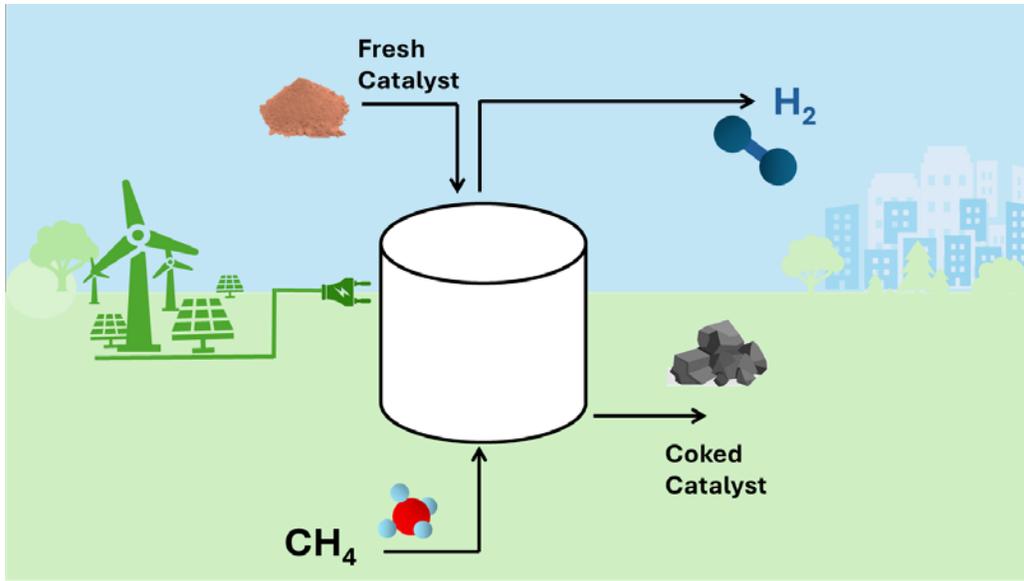


# Idrogeno Low-C da pirolisi catalitica di metano



In collaborazione con: ENI

La reazione di pirolisi del metano viene condotta per la produzione di **idrogeno turchese** senza emissione diretta di COx. Una configurazione promettente è il reattore a letto fluido, in quanto è in grado di gestire l'evoluzione delle particelle solide di catalizzatore dovuta a fenomeni di coking.



# Idrogeno Low-C da pirolisi catalitica di metano



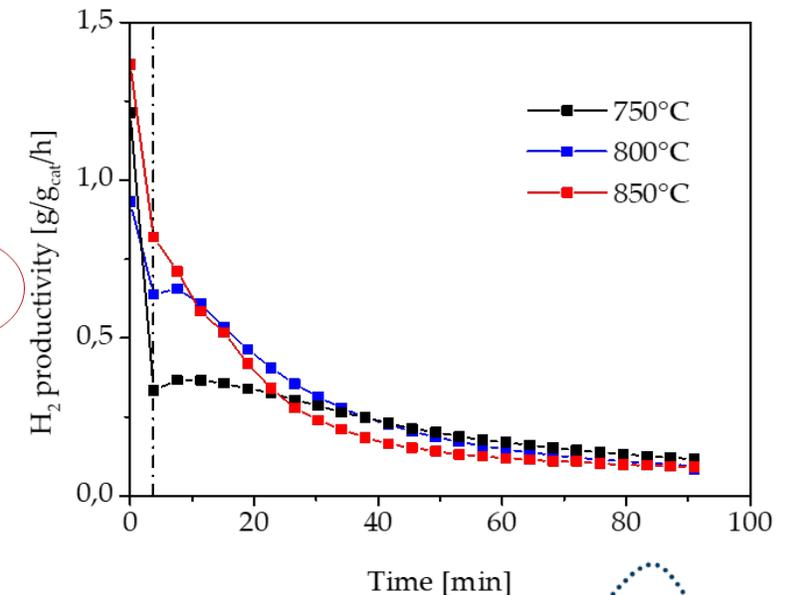
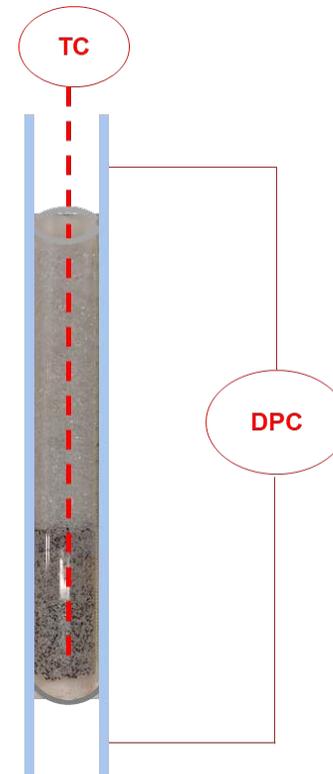
In collaborazione con: ENI

## OBIETTIVI

- Sviluppo di formulazioni catalitiche ad alta capacità di accumulo di C
- Studio delle cinetiche di reazione e disattivazione
- Sviluppo di modelli di simulazione



Fe:Al 8/92 Molar ratio    Fe:Al 15/85 Molar ratio    Fe:Al 50/50 Molar ratio



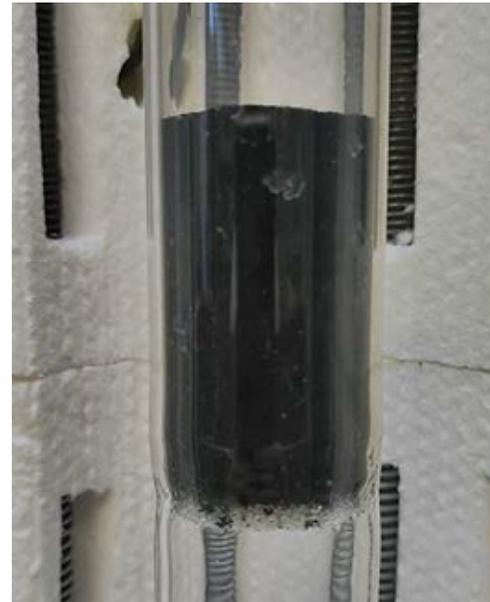
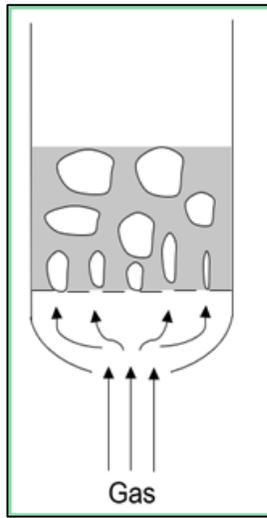
# Idrogeno Low-C da pirolisi catalitica di metano



In collaborazione con: ENI

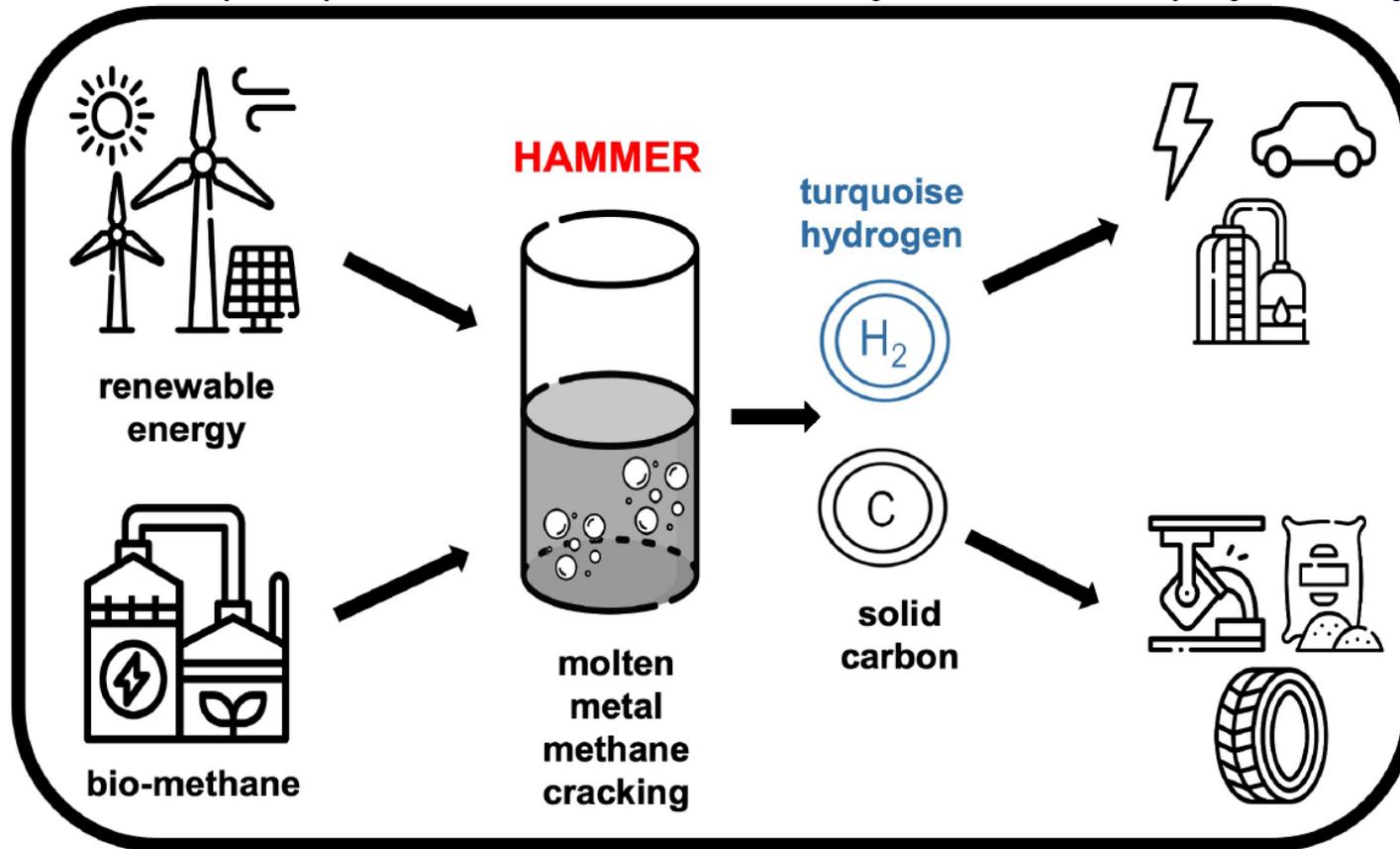
## TASKS:

- Studio sperimentale delle prestazioni e della cinetica della **pirolisi di CH<sub>4</sub> in reattore a letto fluido** in diverse condizioni operative.
- Ottimizzazione del catalizzatore in termini di attività di pirolisi, deposizione di carbonio e stabilità meccanica/termica.



# Produzione di idrogeno da pirolisi di CH<sub>4</sub> in metalli fusi

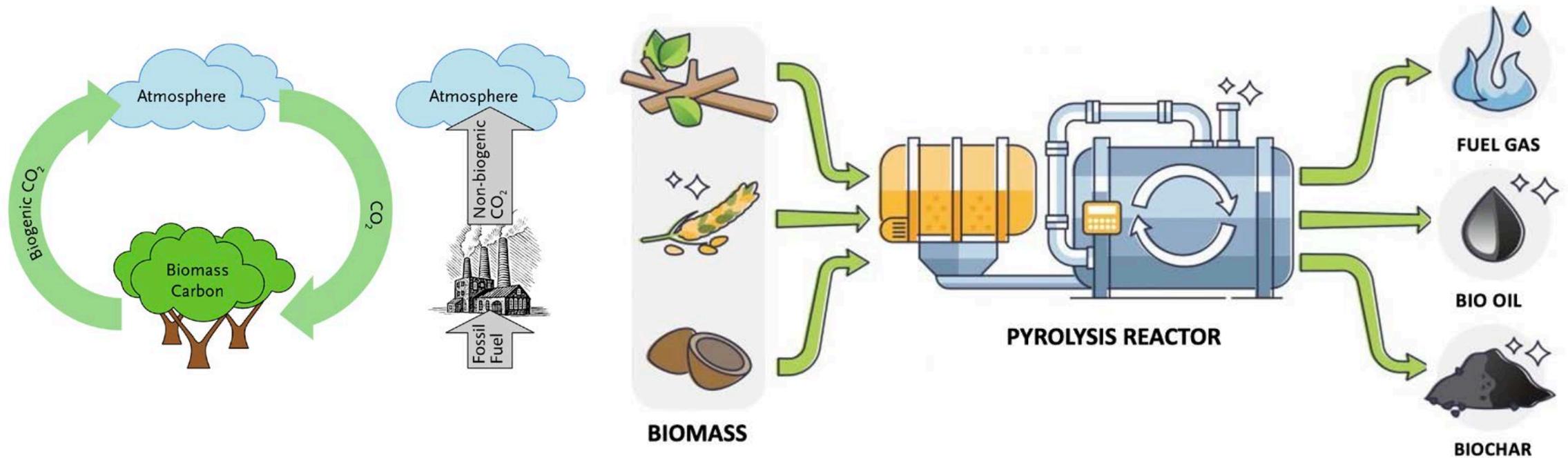
Finanziato da MUR



# Pirolisi di biomassa lignocellulosica

In collaborazione con: RSE

- Biomassa lignocellulosica come alternativa rinnovabile alle materie prime fossili
- Processi termochimici come promettente via di valorizzazione
- Produzione di una frazione gassosa, liquida e solida

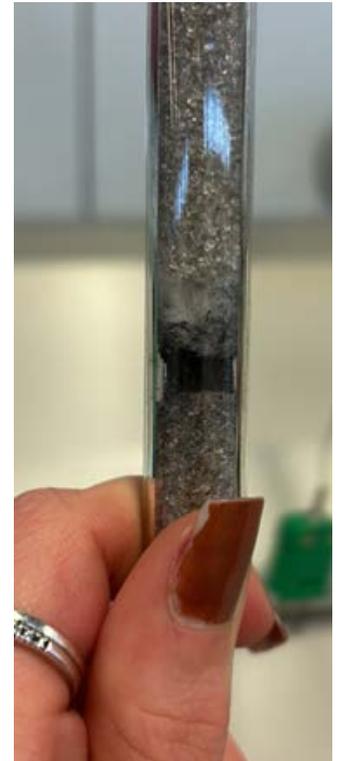
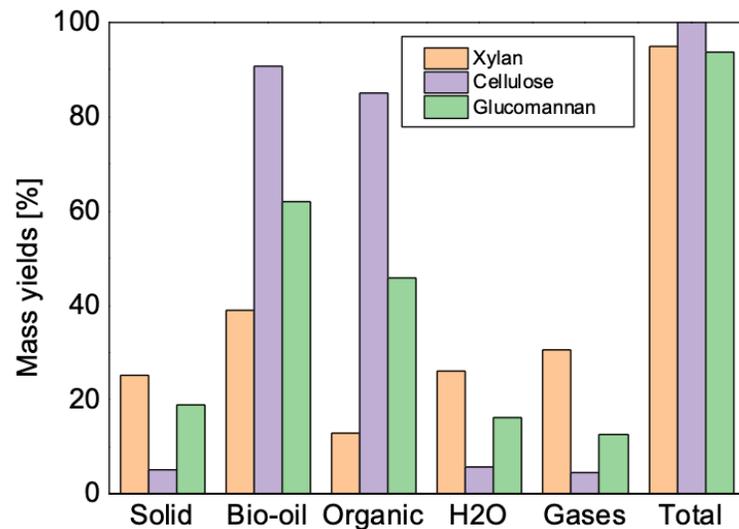


# Pirolisi di biomassa lignocellulosica

In collaborazione con: RSE

## OBIETTIVI

- Raccolta di dati cinematicamente rilevanti sulla devolatilizzazione e la speciazione di cellulosa, emicellulosa e lignina
- Raccolta e caratterizzazione di biochar

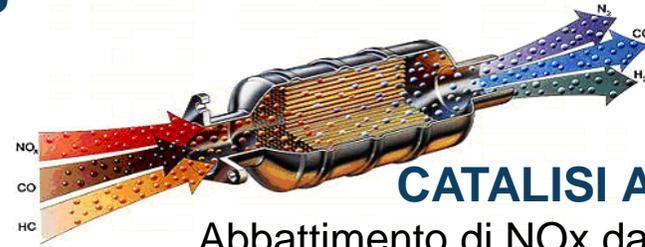


# LCCP group: transizione energetica e catalisi



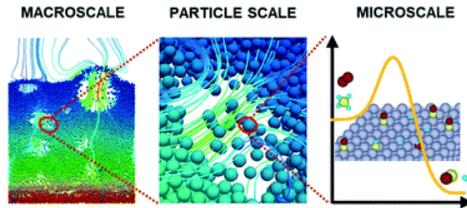
## INTENSIFICAZIONE PROCESSO

Reattori con promozione scambio termico  
Elettificazione diretta



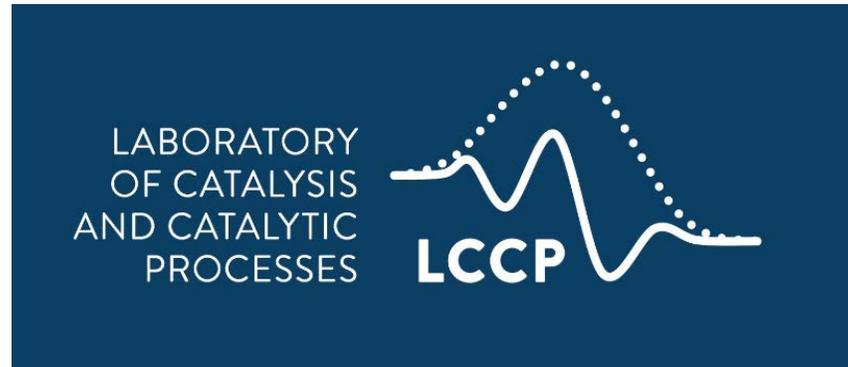
## CATALISI AMBIENTALE

Abbattimento di NOx da fonti fisse e mobili (SCR)  
Trapping di NOx da fonti mobili (PNA)  
Rimozione emissioni di CH4 per veicoli a gas naturale (NGV)



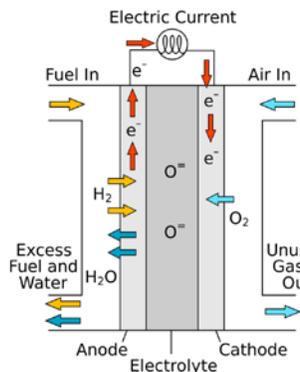
## CATALISI COMPUTAZIONALE

Modellazione Microcinetica  
Modellazione molecolare  
CFD fluidi reagenti



## PRODUZIONE H<sub>2</sub>

CH<sub>4</sub> Catalytic Partial Oxidation  
CH<sub>4</sub> Steam/Dry reforming  
Pirolisi CH<sub>4</sub>  
Cracking NH<sub>3</sub> e  
Liquid organic H<sub>2</sub> carriers



## ELECTROCATALISI

SOECs/SOFCs  
Water splitting foto-elettrochimico



## VALORIZZAZIONE CO<sub>2</sub>

Reverse Water Gas Shift  
Metanazione  
Produzione olefine  
e-Fuels

## BIOFUELS

Pirolisi Biomasse  
Upgrade di biofuels

