



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+ m²
LABORATORI
Presso il Campus Bovisa



**PREPARAZIONE
E CARATTERIZZAZIONE DEI
CATALIZZATORI**



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



COMPUTATIONAL FACILITIES

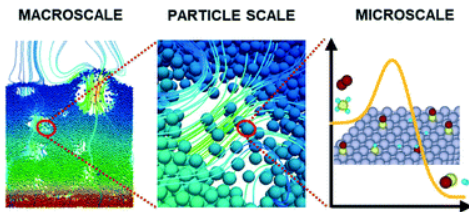


LCCP group: transizione energetica e catalisi



INTENSIFICAZIONE PROCESSO

Reattori con promozione scambio termico
Elettificazione diretta



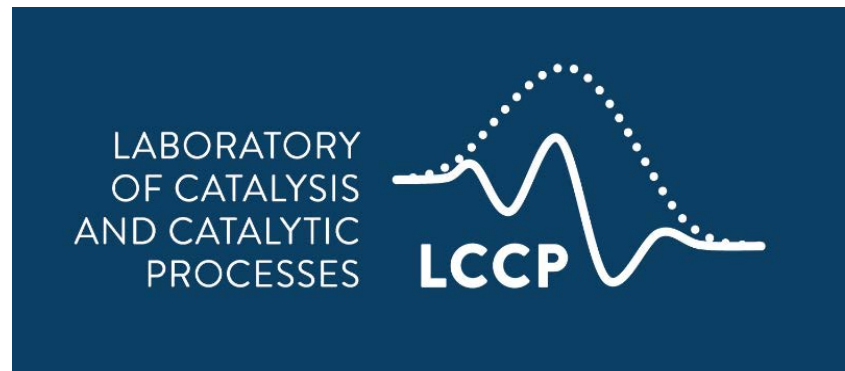
CATALISI COMPUTAZIONALE

Modellazione Microcinetica
Modellazione molecolare
CFD fluidi reagenti



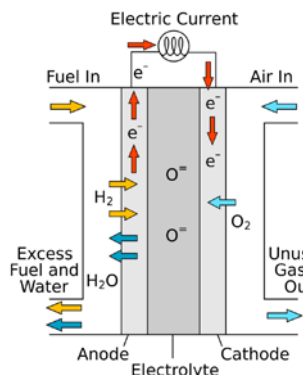
CATALISI AMBIENTALE

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)



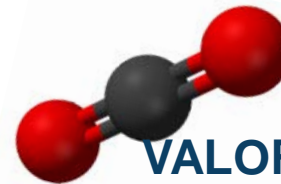
PRODUZIONE H₂

CH₄ Catalytic Partial Oxidation
CH₄ Steam/Dry reforming
Pirolisi CH₄
Cracking NH₃ e
Liquid organic H₂ carriers



ELECTROCATALISI

SOECs/SOFCs
Water splitting foto-elettrochimico



VALORIZZAZIONE CO₂

Reverse Water Gas Shift
Metanazione
Produzione olefine
e-Fuels

BIOFUELS

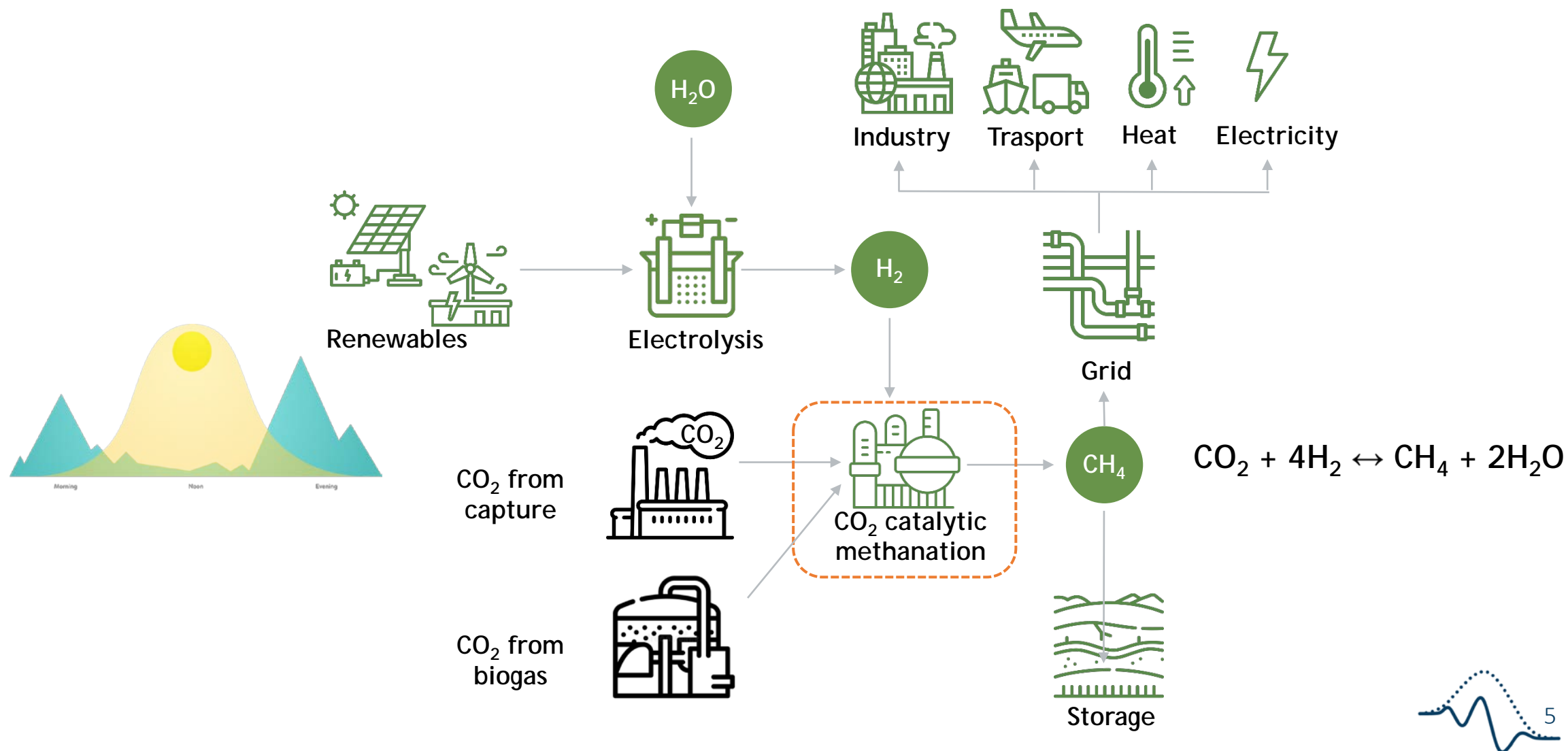
Pirolisi Biomasse
Upgrade di biofuels



Idrogenazione CO₂: produzione di RNG (e-methane)



In collaborazione con: ENI



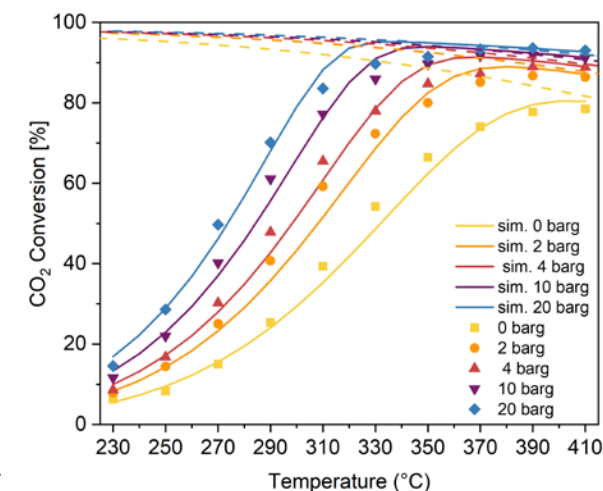
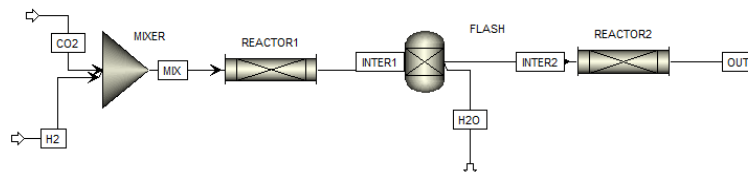
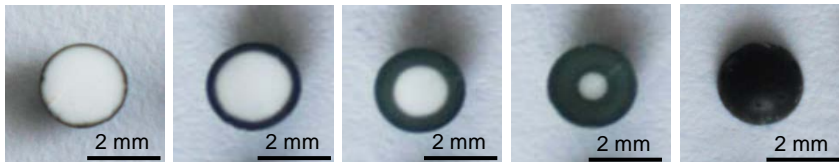
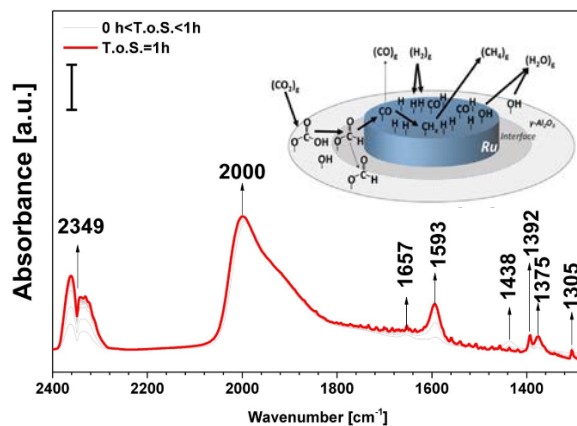
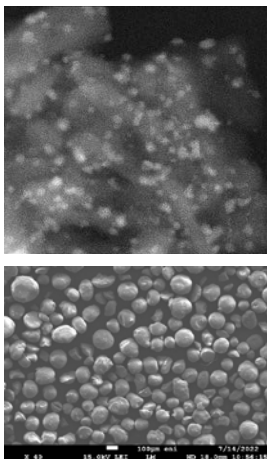
Idrogenazione CO₂: produzione di RNG (e-methane)



In collaborazione con: ENI

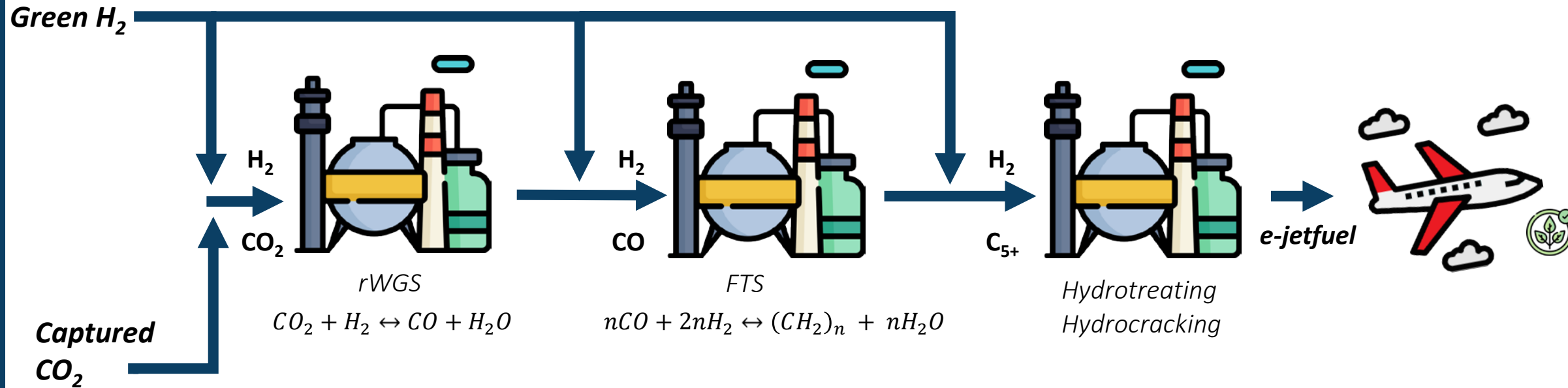
OBIETTIVI:

- Sviluppo di formulazioni catalitiche
- Studio delle cinetiche di reazione
- Verifica delle prestazioni in minipilota



Idrogenazione CO₂: produzione di e-jet fuels

In collaborazione con: NextChem, ENEA, MASE



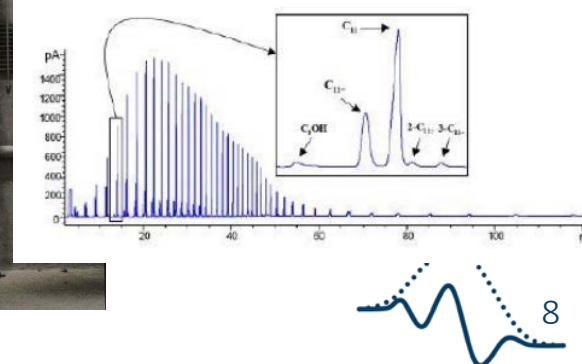
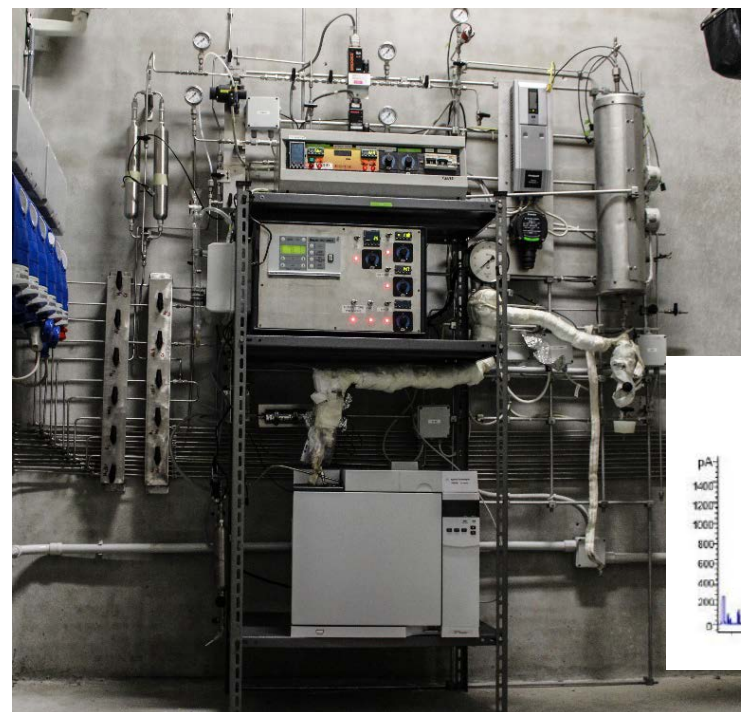
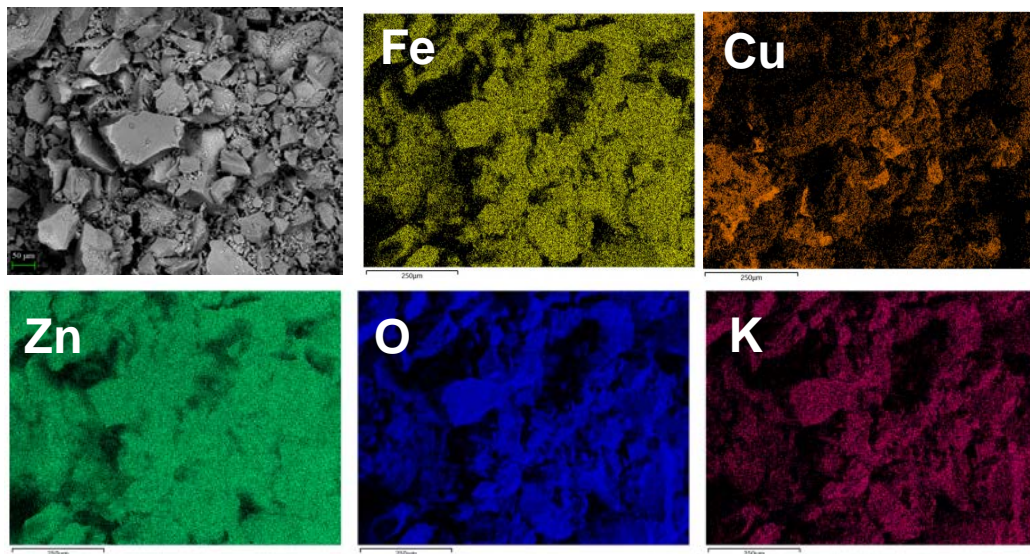
Idrogenazione CO₂: produzione di e-jet fuels

In collaborazione con: NextChem, ENEA, MASE



OBIETTIVI:

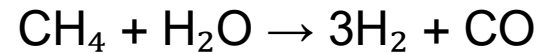
- Preparazione e caratterizzazione di catalizzatori avanzati
- Test catalitici in impianto ad alta pressione
- Analisi dettagliata delle miscele di prodotti (syncrude)



H₂ Low-C? I limiti dello Steam Methane Reforming

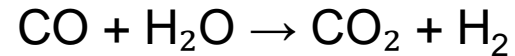
Il processo SMR coinvolge due reazioni:

- **SMR**



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

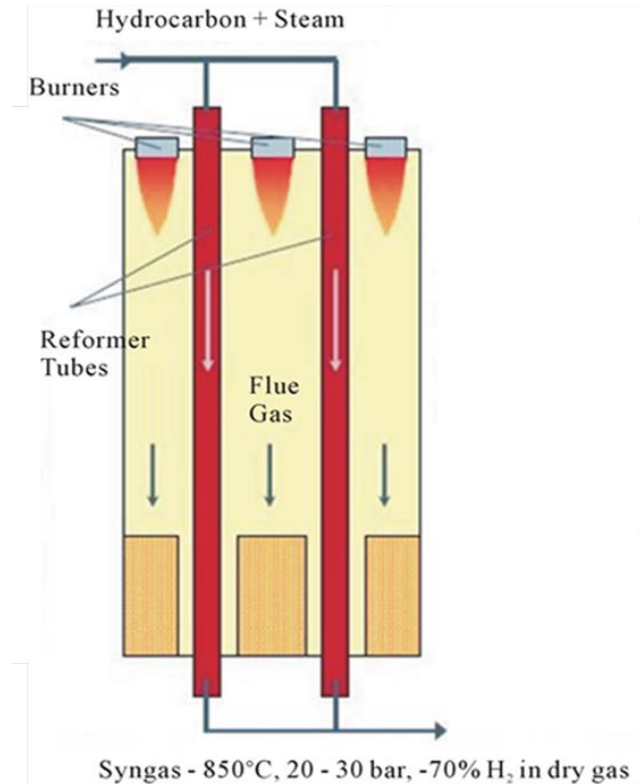
- **WGS**



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

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: $D_{\text{pellet}} \approx 1 \text{ [cm]}$



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/Nm³ vs 5 kWh/Nm³ elettrolisi

❑ Riduzione CO₂ :

eMSR elimina il processo di combustione ai bruciatori;

CO₂ presente solo nella corrente di processo;

0.25 CO₂ / H₂ (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)

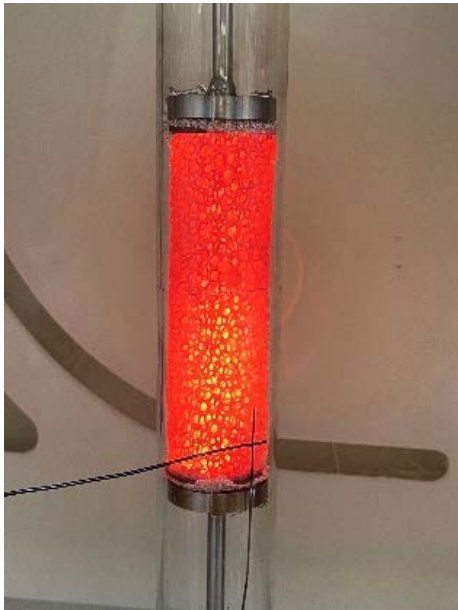
❑ Dinamica di risposta:

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

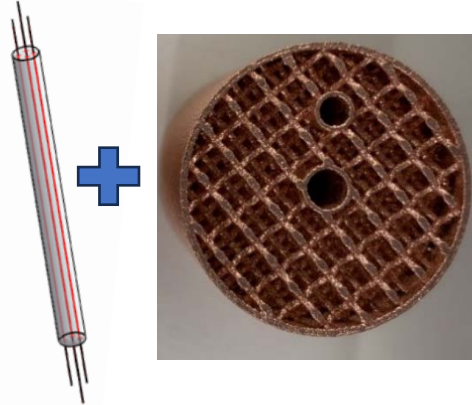


Low-C H_2 : reattori riscaldati mediante effetto Joule @ Polimi

Reattore
a riscaldamento diretto



Reattore
a riscaldamento indiretto

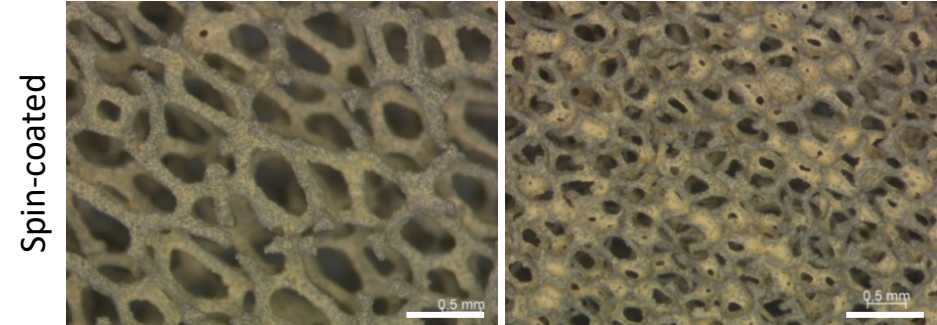


Attivazione catalitica

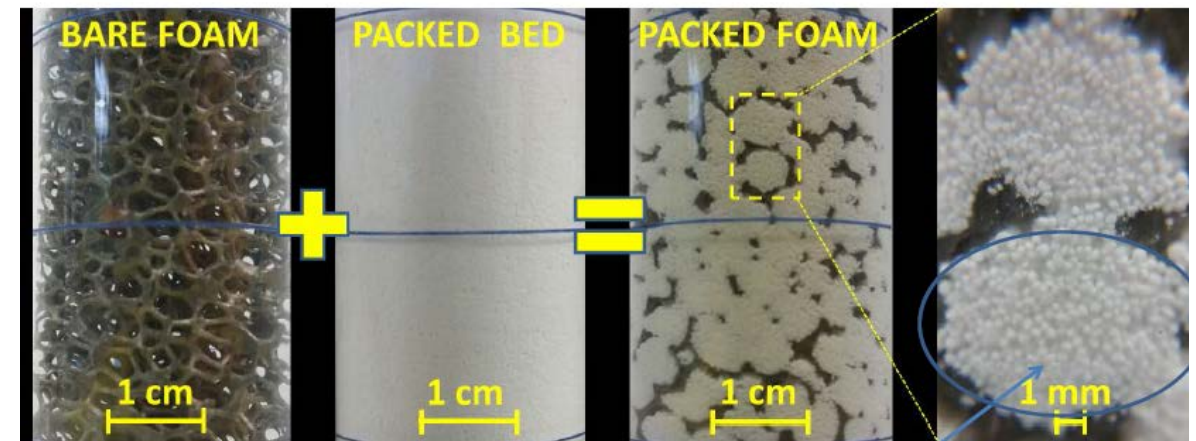
- **Tecnica di coating con film sottili di catalizzatore**

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

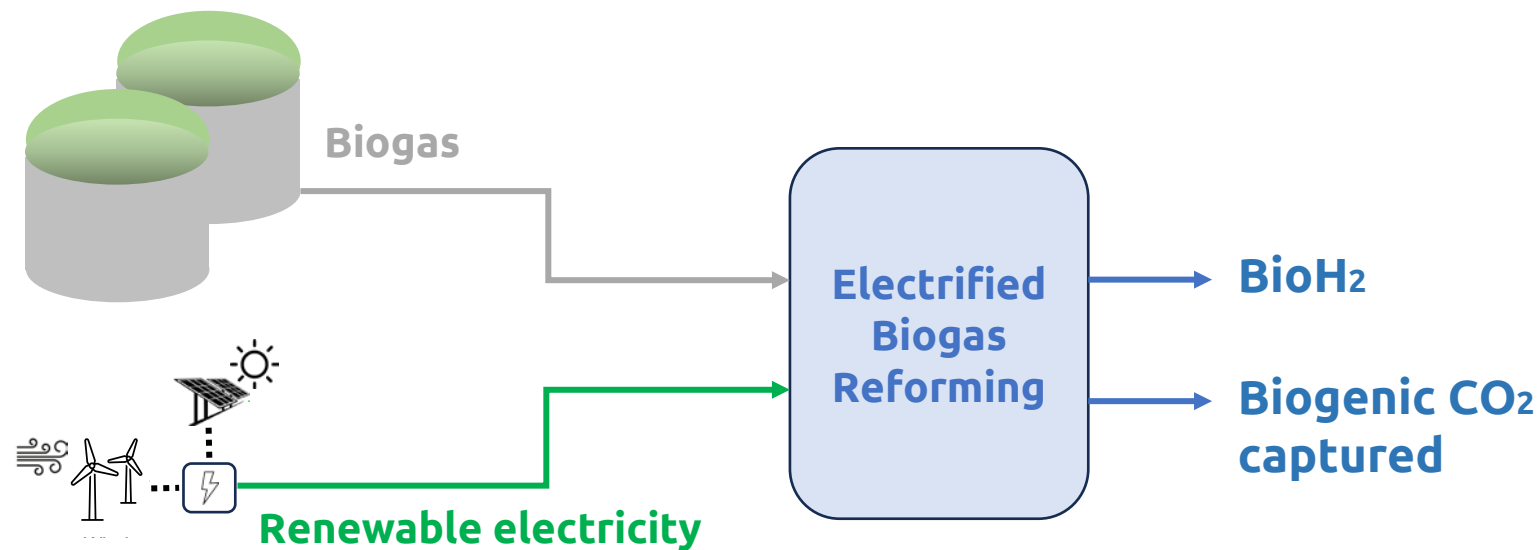
In collaborazione con: SNAM



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 CO₂ 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:

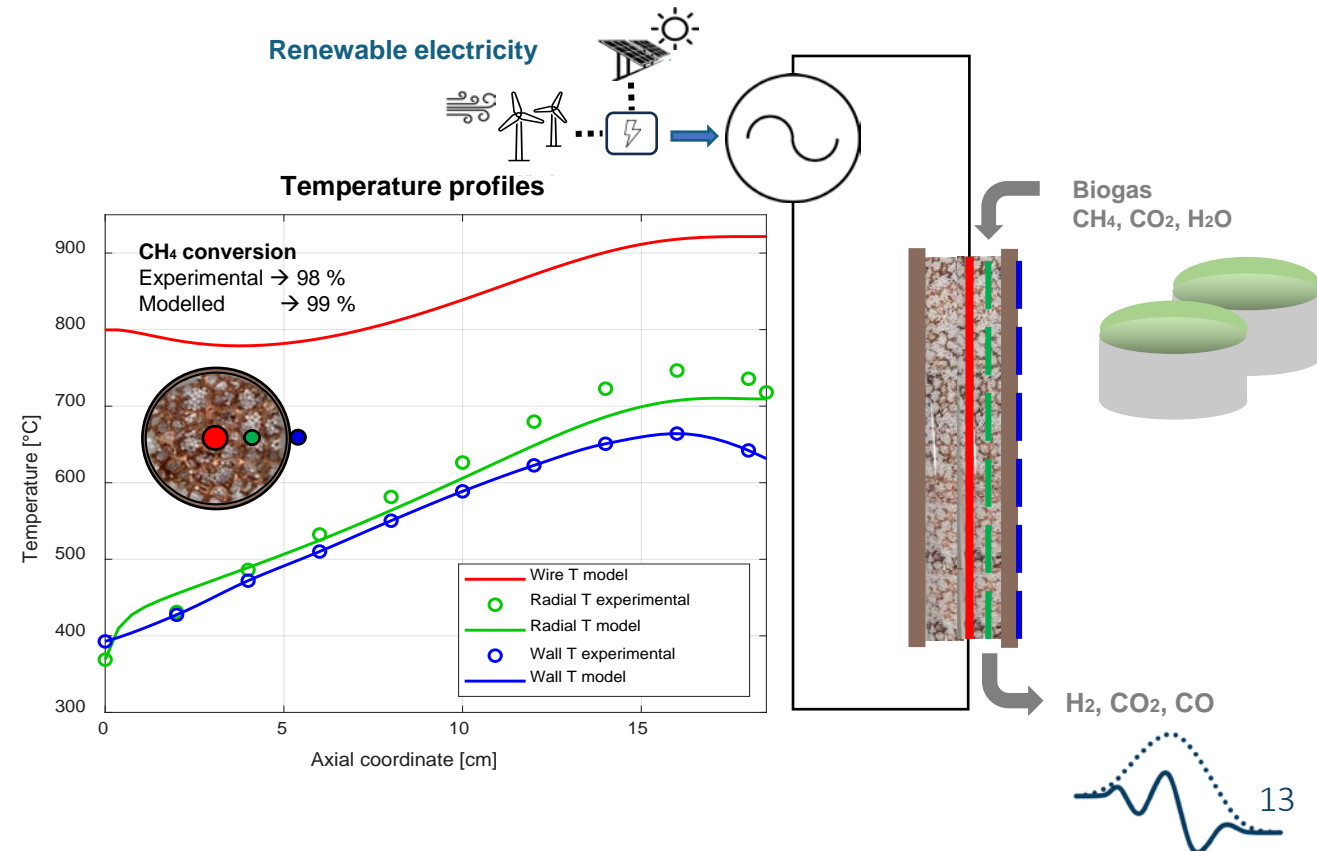
- Progettazione di un nuovo reattore pilota basato su un brevetto LCCP.
- Ottenimento di profili radiali di temperatura quasi piatti
- Verifica alla scala di lab e sviluppo di un prototipo.



(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)

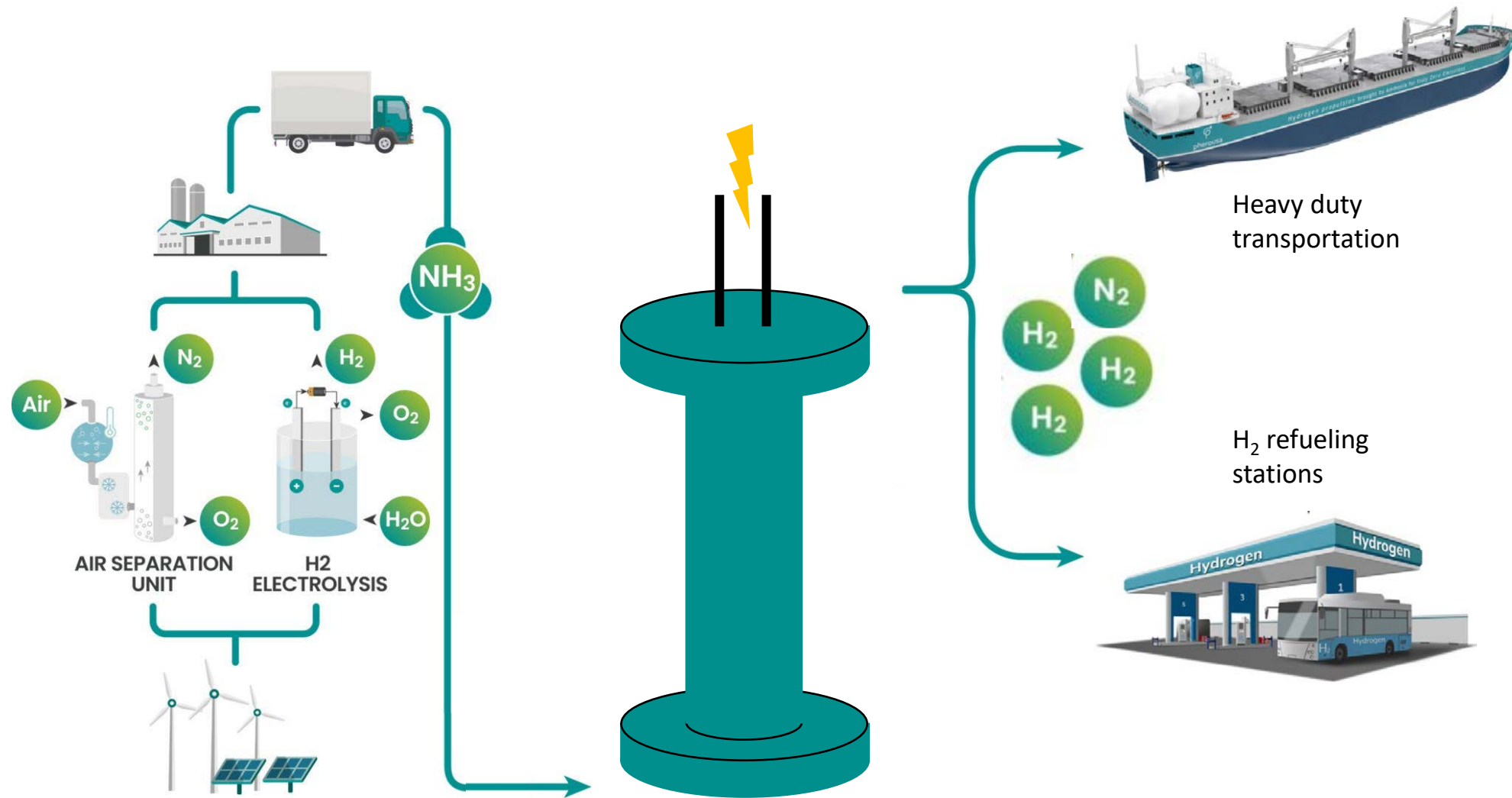


(10) International Publication Number
WO 2023/062591 A1



Cracking elettrificato di NH_3

In collaborazione con: Snam



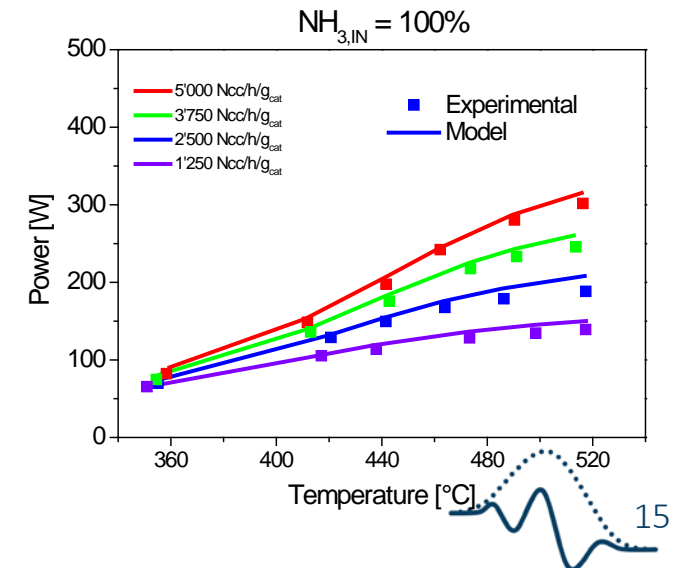
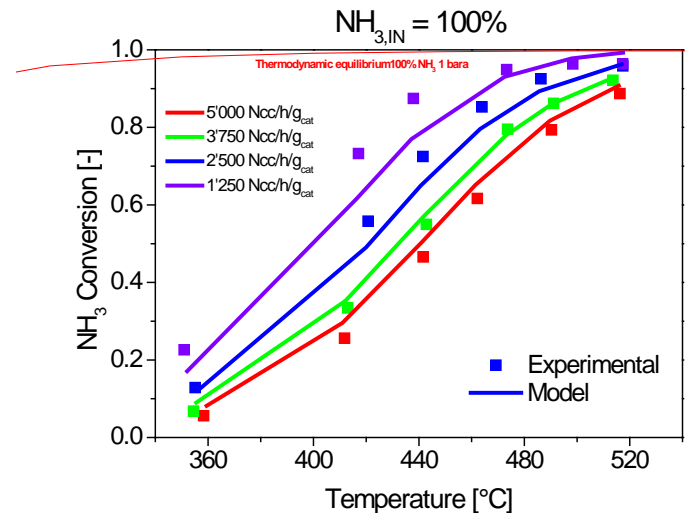
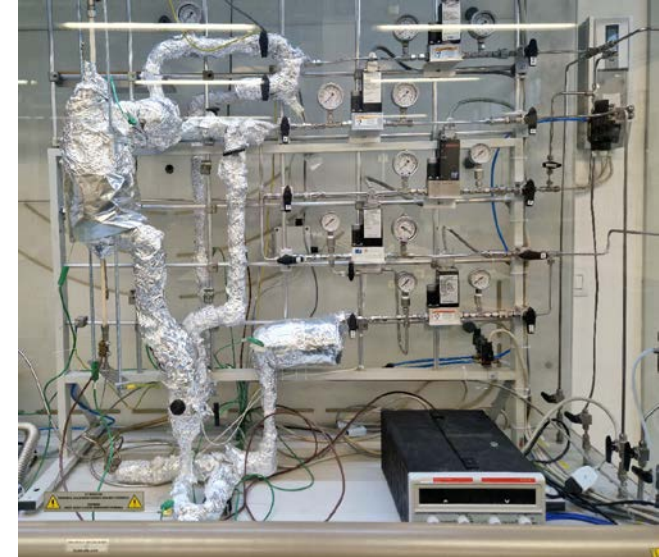
Cracking elettrificato di NH_3

In collaborazione con: Snam



OBIETTIVI:

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

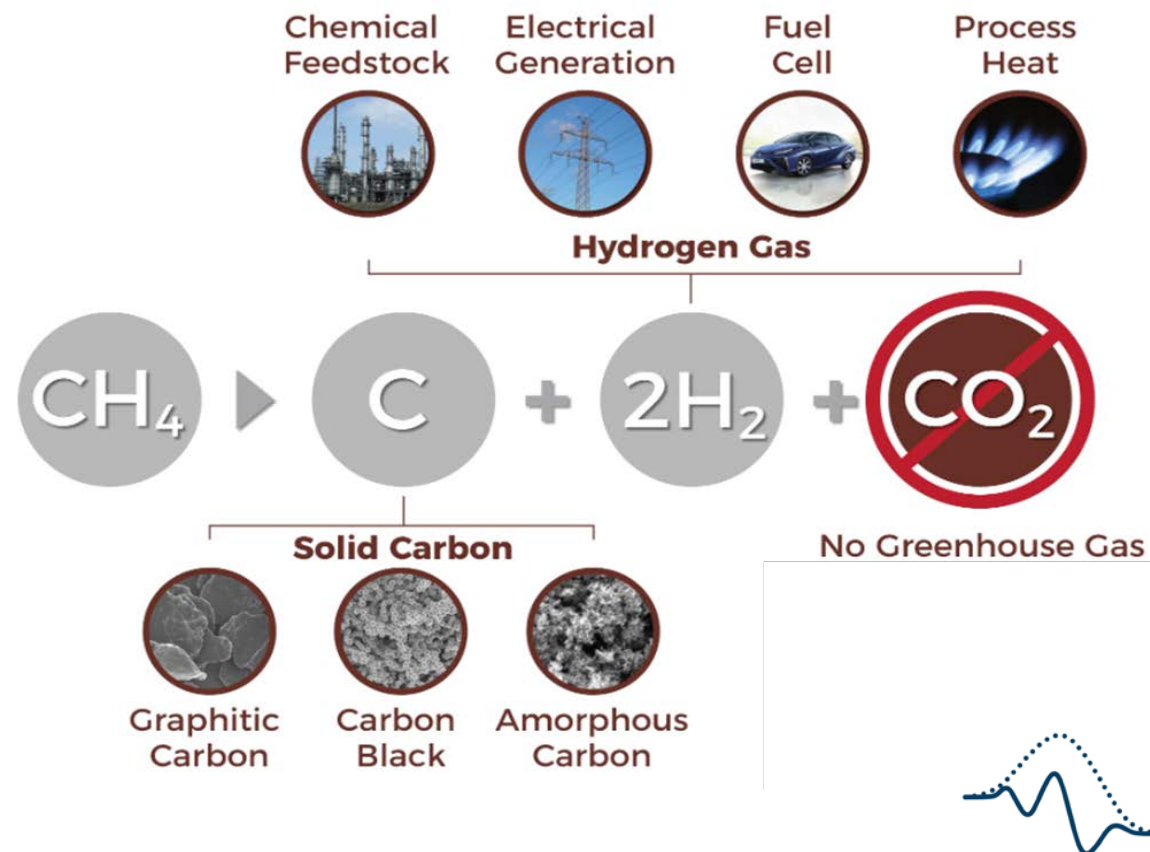
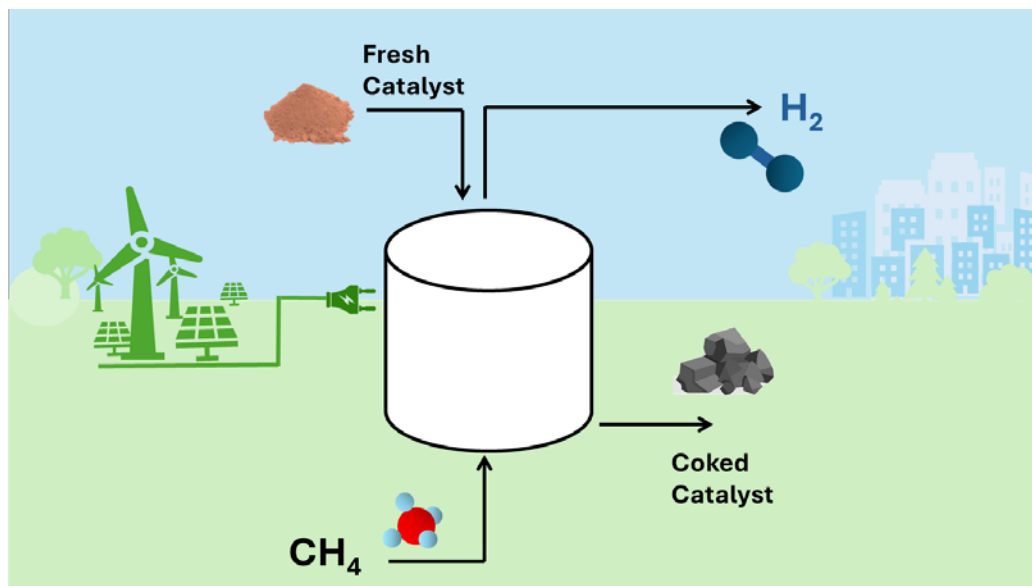


Idrogeno Low-C da pirolisi catalitica di metano



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.



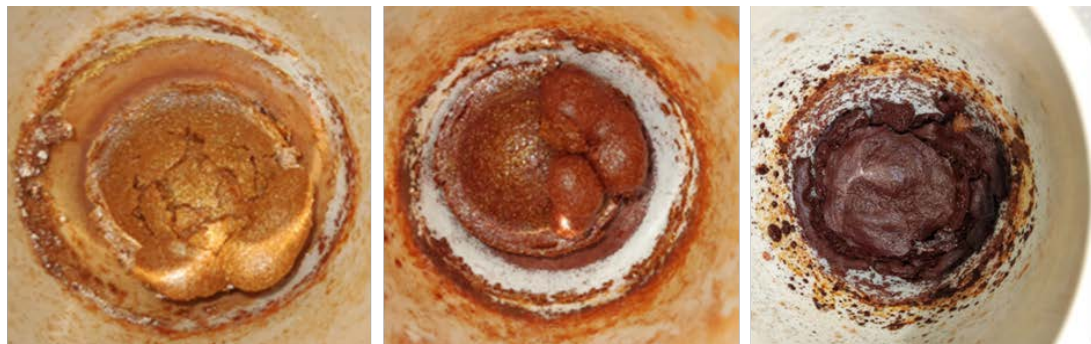
Idrogeno Low-C da pirolisi catalitica di metano



In collaborazione con: ENI

OBIETTIVI

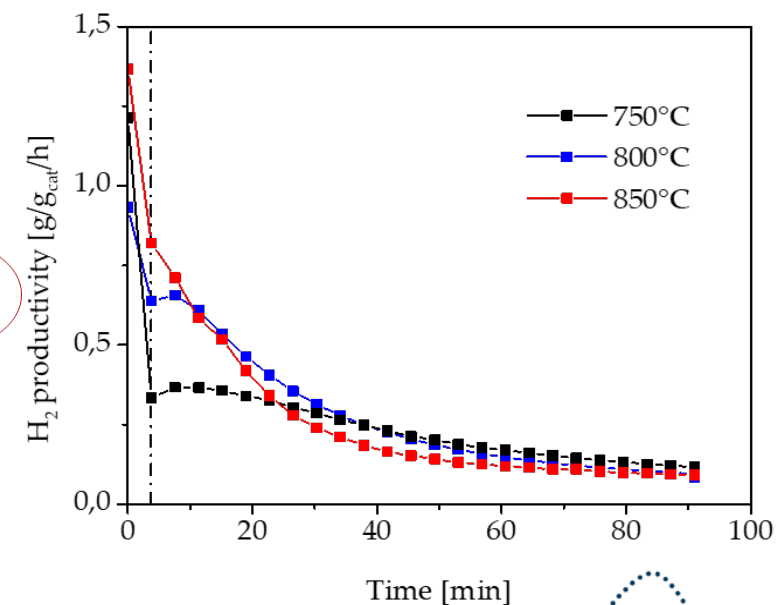
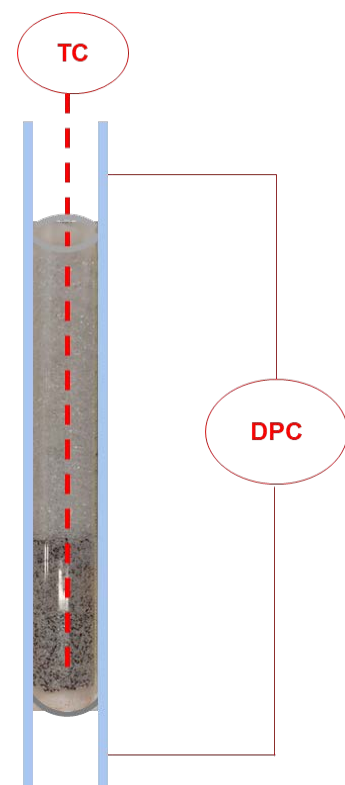
- Sviluppo di formulazioni catalitiche ad alta capacità di accumulo di C
- Studio delle cinetiche di reazione e disattivazione
- Sviluppo di modelli di simulazione



Fe:Al 8/92 Molar ratio

Fe:Al 15/85 Molar ratio

Fe:Al 50/50 Molar ratio



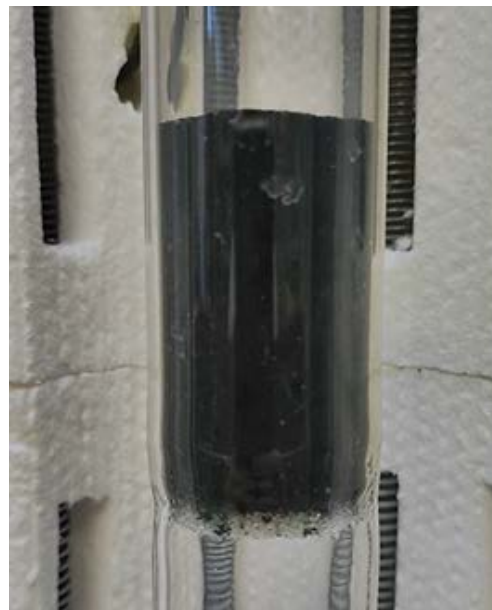
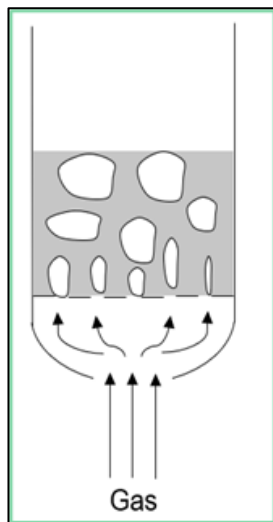
Idrogeno Low-C da pirolisi catalitica di metano



In collaborazione con: ENI

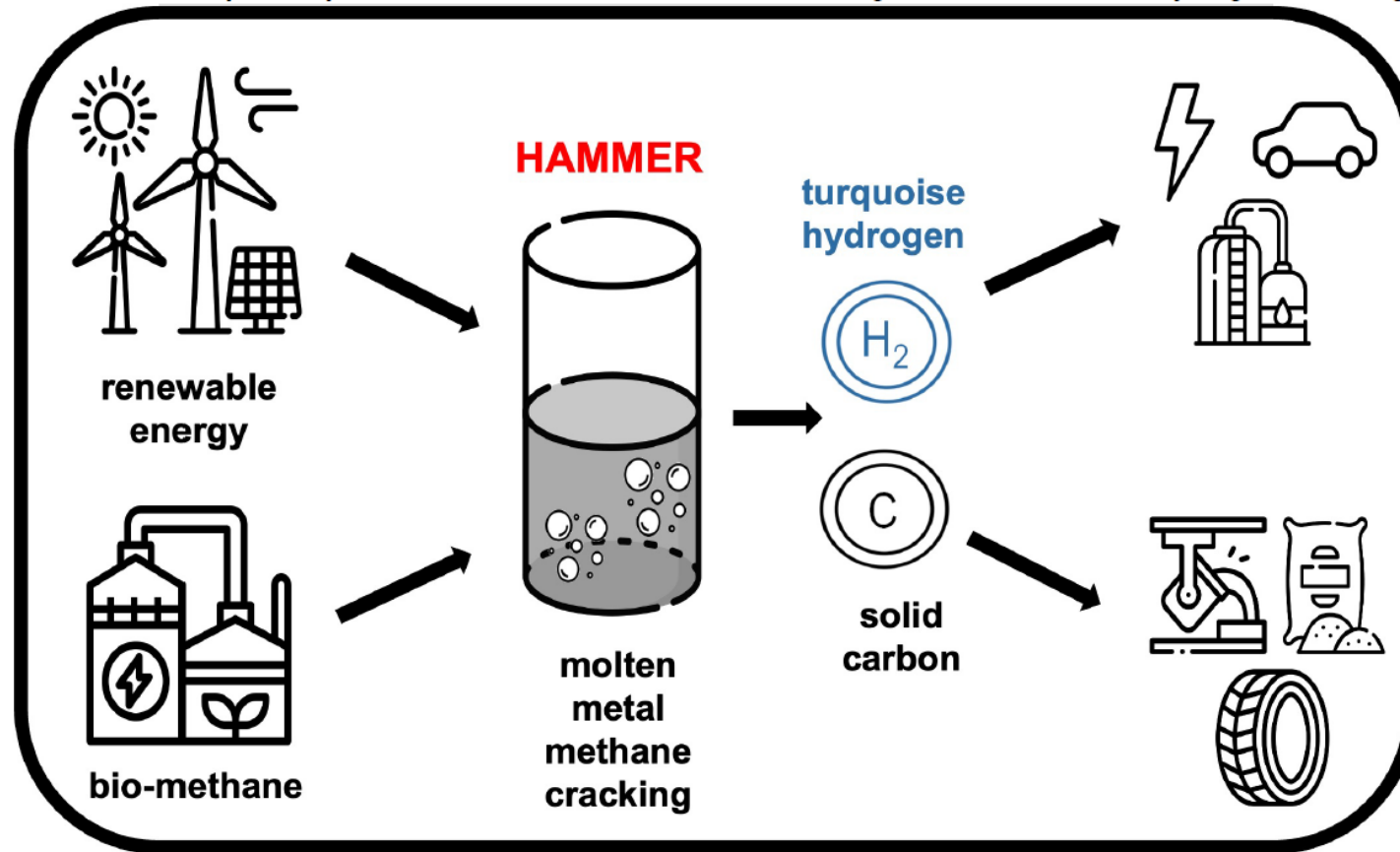
TASKS:

- Studio sperimentale delle prestazioni e della cinetica della **pirolisi di CH₄ 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_4 in metalli fusi

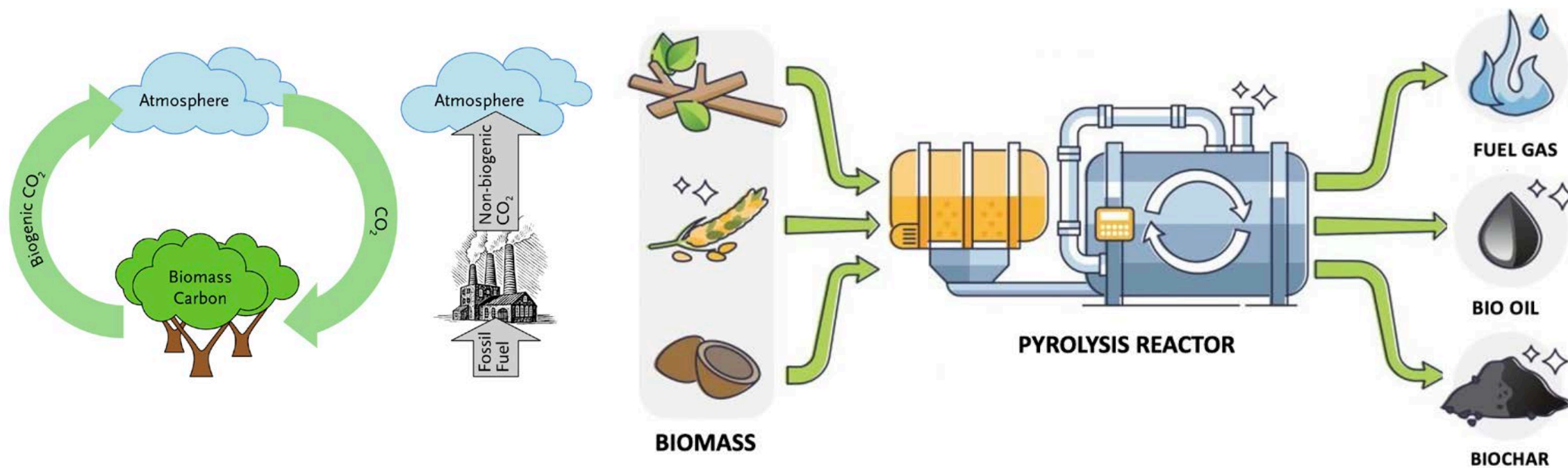
Finanziato da MUR



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

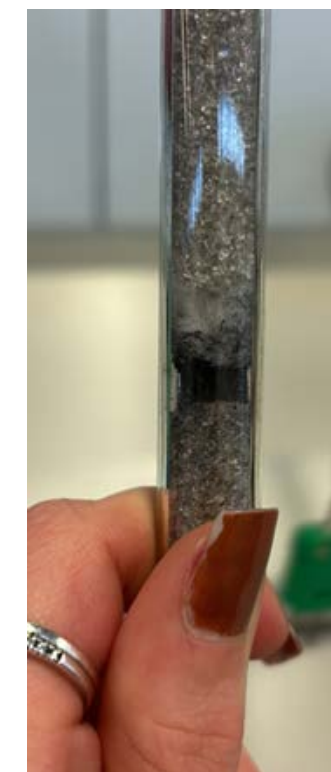
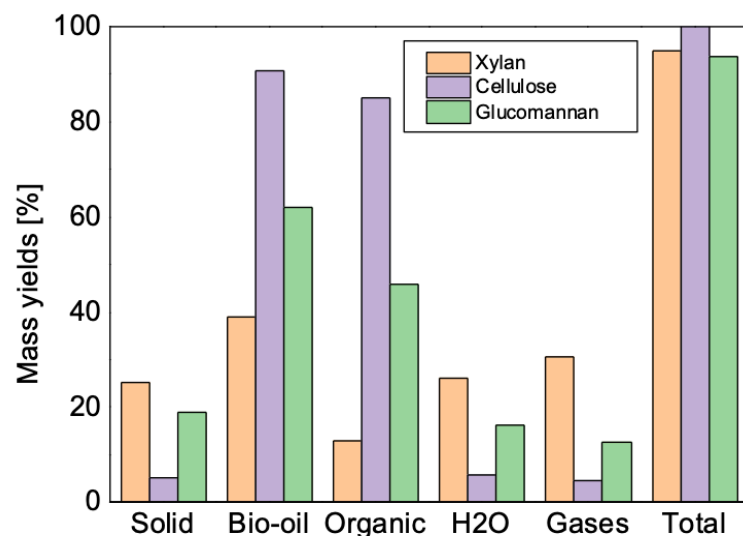


Pirolisi di biomassa lignocellulosica

In collaborazione con: RSE

OBIETTIVI

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

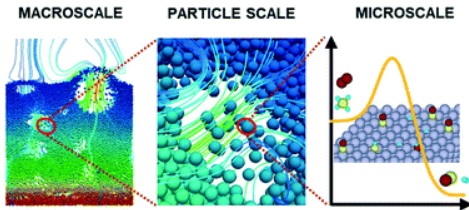


LCCP group: transizione energetica e catalisi



INTENSIFICAZIONE PROCESSO

Reattori con promozione scambio termico
Elettrofizzazione diretta



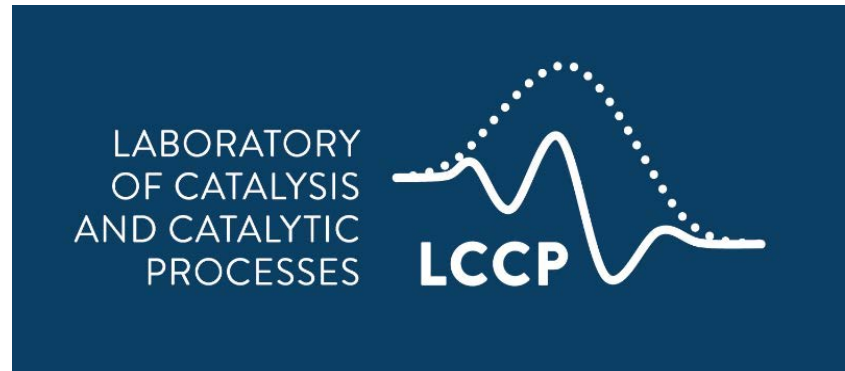
CATALISI COMPUTAZIONALE

Modellazione Microcinetica
Modellazione molecolare
CFD fluidi reagenti



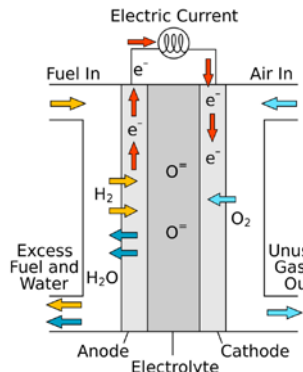
CATALISI AMBIENTALE

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)



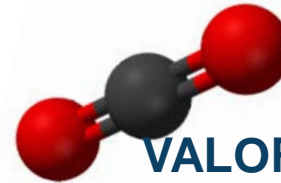
PRODUZIONE H₂

CH₄ Catalytic Partial Oxidation
CH₄ Steam/Dry reforming
Pirolisi CH₄
Cracking NH₃ e
Liquid organic H₂ carriers



ELECTROCATALISI

SOECs/SOFCs
Water splitting foto-elettrochimico



VALORIZZAZIONE CO₂

Reverse Water Gas Shift
Metanazione
Produzione olefine
e-Fuels

BIOFUELS

Pirolisi Biomasse
Upgrade di biofuels

