28 OTTOBRE 2026

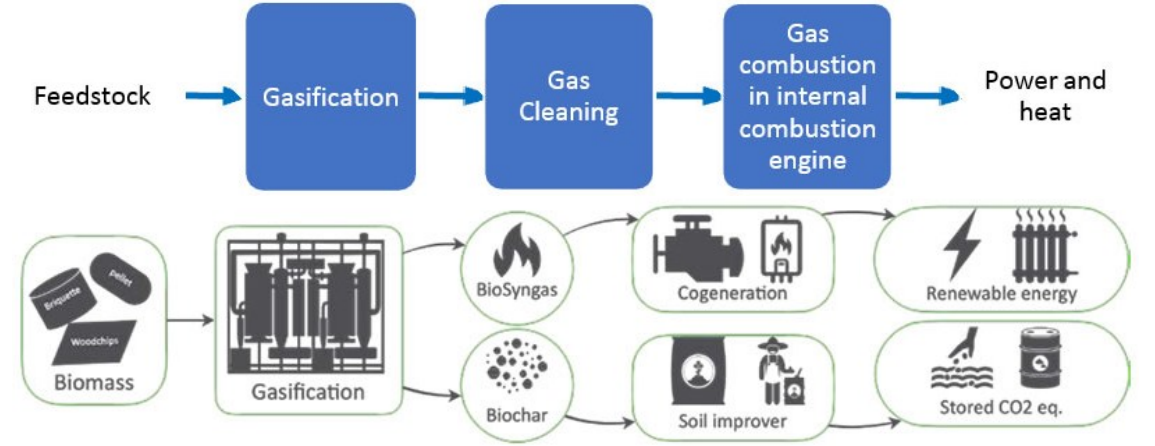
WP1 – Gassificazione di biomasse solide per la produzione di syngas arricchito in idrogeno e per applicazioni in sistemi ad alta efficienza elettrica accoppiata a calore (CHP) attraverso SOFC

Donatella Barisano — ENEA

Bioenergia e Decarbonizzazione · 28 ottobre 2026 · Sala Convegni Ara Pacis, Roma

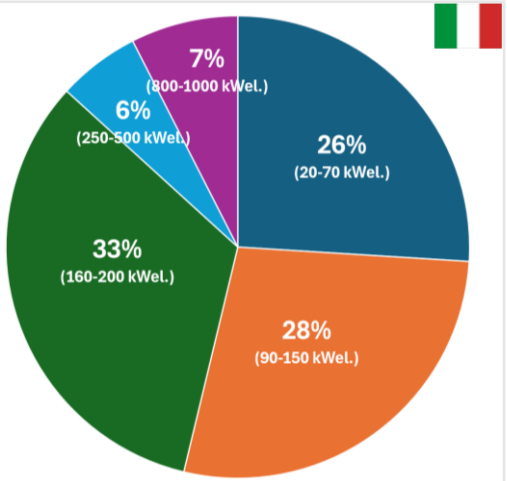


Stato dell'arte e innovatività

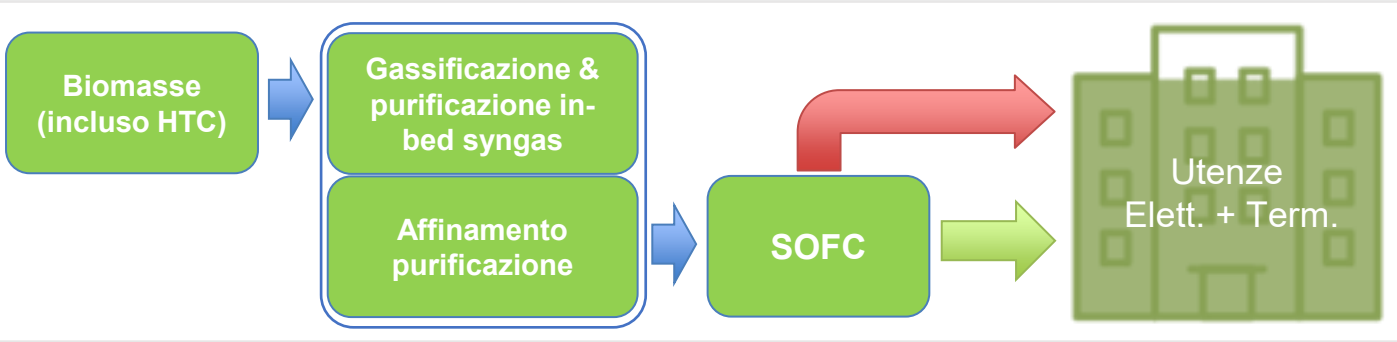


Rif. https://task33.ieabioenergy.com/biomass-and-waste-gasification-for-the-production-of-heat-and-power/

- In Europa: oltre 1700 unità operative;
- In Italia: 230 unità operative (2025; elaborazione da dati GSE, Gestore Servizi Energetici)



N° Impianti per taglia (%)



CHP: $\eta_{el,SOFC}$ 45-50 % vs $\eta_{el,ICE}$ 20-25 %
TRL: 5 - 7

Elementi chiave

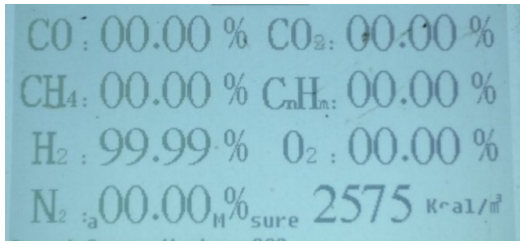
- Processo di gassificazione intensificato (N_2-free);
- Upgrading del syngas alle specifiche SOFC;
- Maggiore efficienza elettrica: SOFC vs MCI;
- Ampliamento tipologia feedstock alimentabili;
- «Exploitation» risultati da altri progetti EU/Nazionali (e.g. BLAZE, GICO, SO-Free, PORH$_2$)

Background

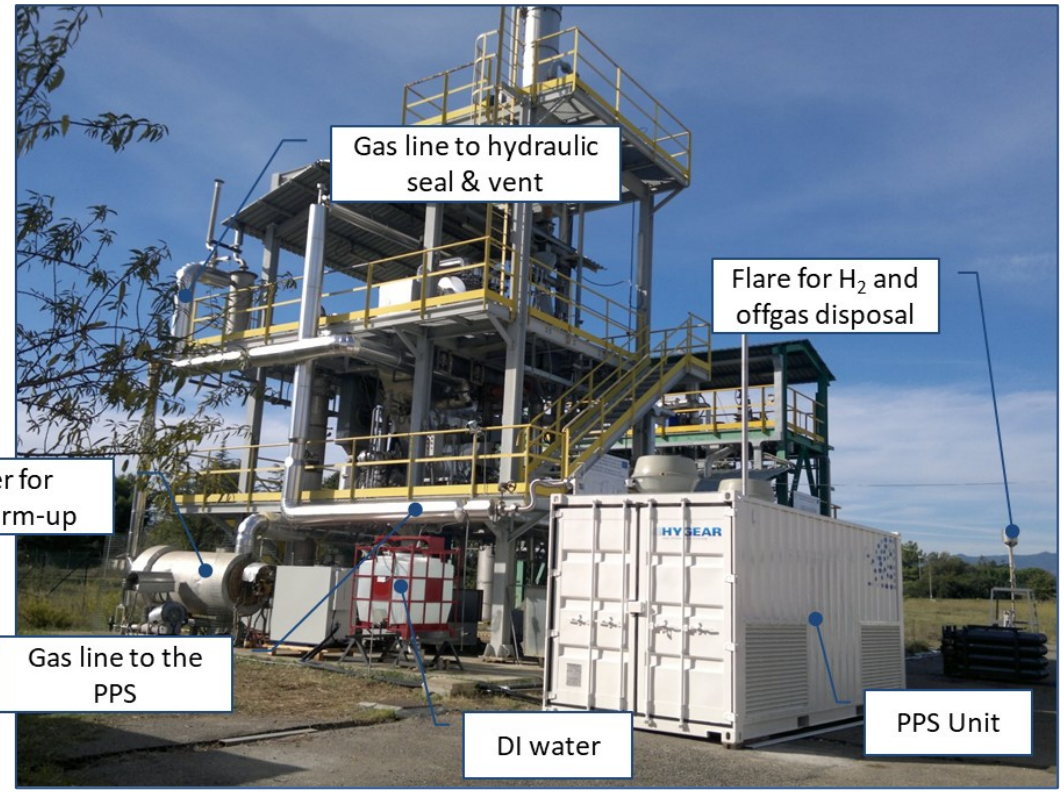


Obiettivo Progetto: Produzione H_2 a grado FC Vehicle

gas composition (%v, dry)						
CO	CO2	CH4	CnHm	H2	O2	N2
21.7 - 26.7	31.8-32.1	9.5-10.4	0.3-0.4	28.9-32.3	n.d.	1.9-4.0



In campagna sperimentale conclusiva ottenuto
H_2 > 99,99%-v



Opportunità per nuove applicazioni

Obiettivi Tecnologici specifici

- Approfondimenti sulla tecnologia della **gassificazione intensificata** (soluzioni in-bed, parametri di processo vs reazioni termochimiche, design reattore e termofluidodinamica) per miglioramento prestazionale;
- **Purificazione** e **condizionamento** della corrente gassosa prodotta (syngas) vs utilizzo all'unità SOFC;
- **Accoppiamento moduli** ed **esercizio** dell'intero sistema (gassificatore, HGC, SOFC) per valutazioni prestazionali delle tecnologie integrate;
- Trattamento di matrici non convenzionali per **ampliare la gamma** di biomasse utilizzabili per maggiore flessibili sugli approvvigionamenti e riduzione costi di esercizio;
- Analisi di **scenari integrati** Biomasse e altre FER.



Co-Beneficiari

- UNIBO – Dip. di Chimica Industriale "Toso Montanari";
- UNICAL – Dip. di Ingegneria dell'Ambiente (DIAm)
- UNIKORE – Dip. di Ingegneria e Architettura;
- UNIMAR - Centro Interdip. per la Transizione Ecologica e Digitale (CERITED);
- UNIVAQ – Dip. di Ingegneria industriale e dell'informazione e di economia (DIIIE).

Metodologie

WP1 è strutturato in 13 Linee di Attività che puntano ad ottenere importanti avanzamenti prestazionali e di affidabilità di tecnologie e processi (Scala Prototipale e Scala Laboratorio)

LA1.11. Impiego di schiume catalitiche per la purificazione syngas destinate all'utilizzo in SOFC. ENEA, M 19-36

LA1.12. Upgrading della formulazione di schiume metalliche catalitiche. UNIBO, M 19-36

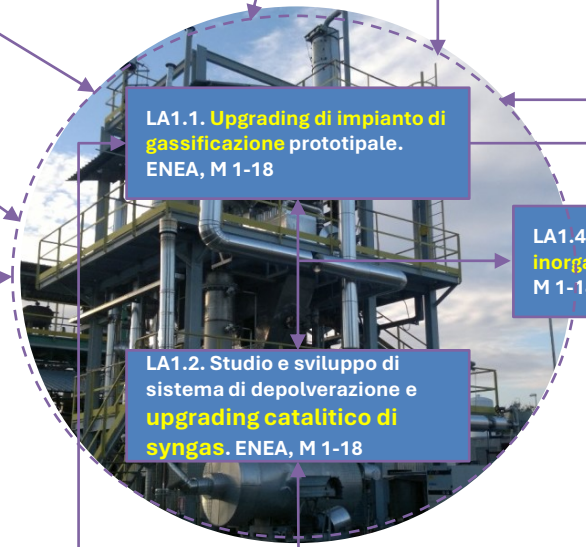
LA1.10. Purificazione del syngas da tar e reforming di idrocarburi leggeri con schiume catalitiche. UNIBO, M 1-18

LA1.13. Sviluppo di sistemi catalitici da applicare in unità di gassificazione di biomasse. UNICAL, M 19-36

Scala Banco

LA1.9. Impiego di HTC in gassificazione e della fattibilità scale-up del processo integrato. ENEA, M24-36

LA1.8. Studio e Sviluppo processo HTC per utilizzo matrici critiche in gassificazione. UNIKORE, M 7-36



LA1.1. Upgrading di impianto di gassificazione prototipale. ENEA, M 1-18

LA1.2. Studio e sviluppo di sistema di depolverazione e upgrading catalitico di syngas. ENEA, M 1-18

Scala Prototipale

LA1.5. Sviluppo di un sistema innovativo di produzione di elettricità attraverso SOFC. ENEA, M 19-36

LA1.4. Sistema di purificazione da contaminazione inorganica e sistema di cogenerazione a SOFC. UNIMAR, M 1-18

LA1.6. Analisi tecnico-economiche sistemi di generazione elettrica da syngas via SOFC. UNIMAR, M 16-36

LA1.3. Studi di modellazione fluidodinamica e di processo: disegni progettuali delle modifiche impiantistiche. UNIVAQ, M1-36

LA1.7. Analisi di scenari di produzione delocalizzata di bio-idrogeno ed energia elettrica distribuita da biomasse e altre fonti rinnovabili non programmabili . ENEA, M 19-36

Metodologie

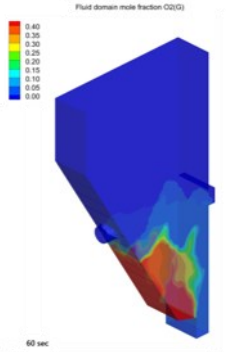


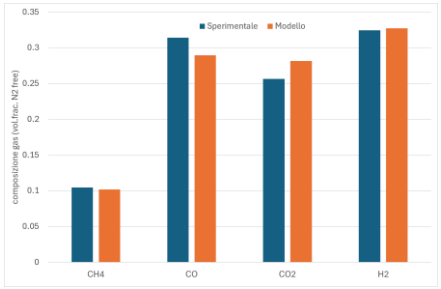




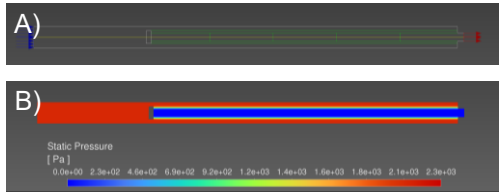
Principali risultati ottenuti (Scala Prototipale)

- Revisione P&I impianto UNIfHY 1000;
- Implementazioni meccaniche;
- Aggiornamento del sistema di gestione e controllo dell'impianto;
- Modellazione del Reattore di Gassificazione Intensificata:
  - Simulazioni CPFD Gassificatore O_2/vapore 1 MWt (implementate le cinetiche di devolatilizzazione della biomassa);
  - Analisi CFD sulle candele filtranti di geometria bidimensionale implementata all'interno di ANSYS Fluent;



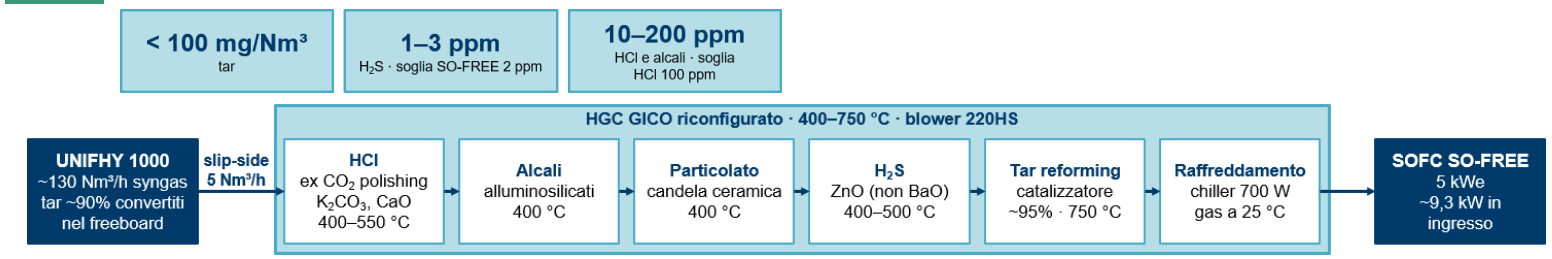


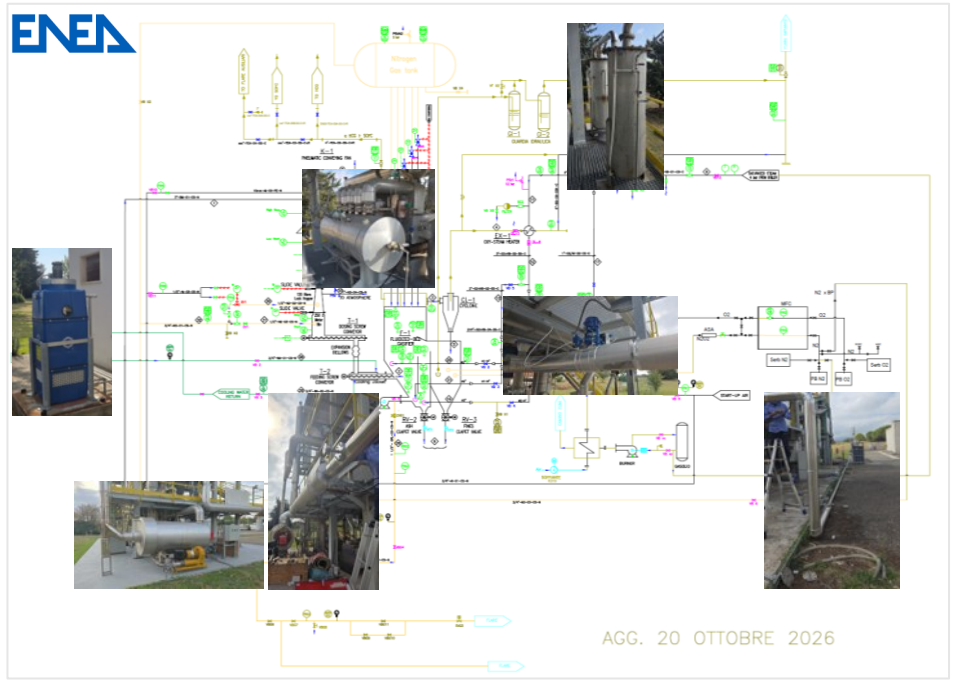
Confronto Composizione gas: modello vs sperimentale



Simulazione CFD: A) Dominio di calcolo della candela in ceramica; B) Profilo di pressione della candela in ceramica vuota.

- Stato dell'arte SOFC e valutazione specifiche tecniche:
  - Livello dei contaminanti ammissibili (Carbonio, Tar, H_2S, HCl);
  - Integrazione HGC-SOFC;





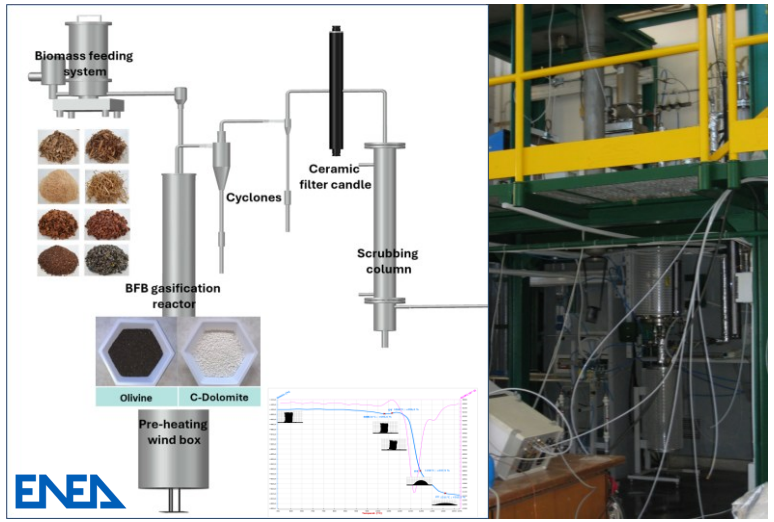
Tra i maggiori interventi:

- Modifica gruppo di controllo ingresso N_2 e O_2;
- Aggiunta bruciatore secondario per preriscaldamento;
- Torre evaporativa con pompa di ricircolo per raffreddamento coclea dosatrice;
- Intervento su linea vapore;
- Guardie idrauliche su linea vent reattore;
- Predisposizione punto di prelievo gas ad HGC/SOFC/Torcia ausiliaria;
- Aggiunta nuova linea a torcia smaltimento Syngas/offgas in eccesso;
- Revisione serbatoio e valvole sistema di back-pulsing N_2;
- Implementazioni sistema di gestione e controllo impianto (monitoraggio parametri di processo e da campo).

Principali risultati ottenuti (Scala Laboratorio)

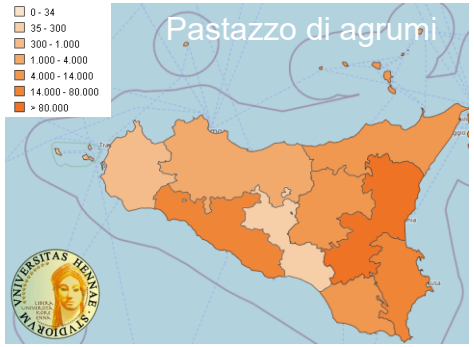
Studio e sviluppo di un sistema integrato per la purificazione del syngas prodotto dalla gassificazione di biomasse di scarto

- ✓ Materie prime da biomassa residua e delle frazioni biogeniche critiche;
- ✓ Studio mediante TGA e analisi del comportamento termico delle ceneri;
- ✓ Studio delle prestazioni dei materiali per il condizionamento del syngas e il sequestro di CO_2 ai fini dell'arricchimento in H_2 del flusso gassoso (es. dolomite potenziata);
- ✓ Biochar residuo: studio della composizione chimica, della reattività e dei potenziali ambiti di riutilizzo.



Studio e sviluppo del processo di carbonizzazione idrotermica (HTC) per l'utilizzo di materie prime critiche nel processo di «gassificazione a secco»

- ✓ Raccolta dei dati necessari all'analisi delle filiere agroalimentari di riferimento;
- ✓ Analisi statistico-descrittiva degli elementi di punta del settore agroalimentare;
- ✓ Selezione finale delle biomasse residue per la preliminare caratterizzazione chimico-fisica;
- ✓ Caratterizzazioni Chimico-Fisiche (elementare, immediata, PCS) in accordo con i protocolli standard di riferimento (ASTM D7582-15, ASTM D5373, CEN/TS 14918)



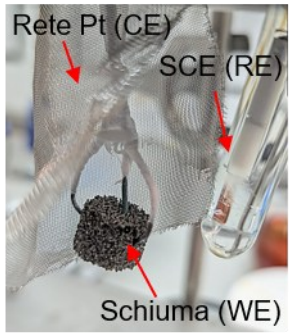


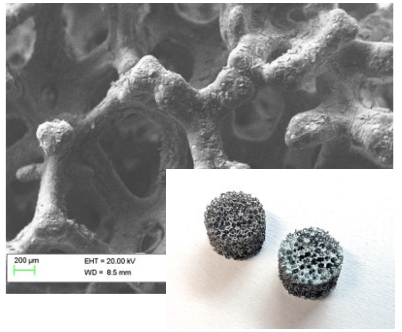
Acque di vegetazione da spremitura olive	Pastazzo di agrumi
92.000 tonn/anno (circa 2,5 litri per litro di olio extravergine)	**350-500.000 tonn/anno** (la produzione annuale può oscillare significativamente)

Matrice	Analisi prossima (% in peso)			Analisi elementare (% in peso)					Potere calorifico superiore (MJ/kg)
	Tenore d'umidità	Materia volatile	Carbonio fisso	Ceneri	Carbonio	Idrogeno	Azoto	Ossigeno	
Acque di vegetazione	90.6	89.1	8.3	2.6	54.4	6.2	0.9	36.0	18.1
Limone	79.8	76.7	23.1	3.0	43.5	5.9	0.9	49.7	17.2
Arancia	78.0	72.6	24.3	3.1	46.6	5.8	1.7	43.8	18.6
Mandarino	77.3	72.5	24.4	3.1	45.6	6.1	1.1	44.1	18.7

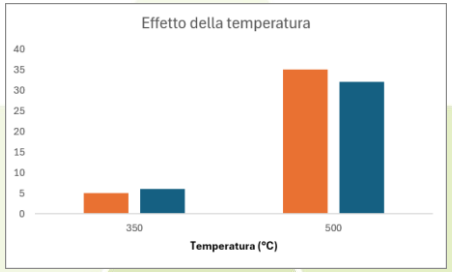
Purificazione del syngas da Tar e reforming di idrocarburi leggeri mediante schiume catalitiche

- ✓ Sviluppo di sistemi strutturati basati su schiume metalliche rivestite con materiali cataliticamente attivi a base NiMgAl;
- ✓ Ottimizzazione processo di elettrodeposizione della fase attiva sul supporto metallico;
- ✓ Produzione di schiume con loading di Ni pari al 10 mg/cm^3 di schiuma (o ~2 g/cm^3 di supporto metallico, 7.6%-p di catalizzatore);
- ✓ Caratterizzazioni morfologiche;
- ✓ Test valutazioni preliminari prestazioni SMR.





NiMgAl (arancio) e RhMgAl (blu)



Prossime attività (Scala Prototipale)



- Campagne di gassificazione a valle delle revisioni di impianto e analisi risultati;
- Integrazione di con catalizzatore di reforming in candele ceramiche filtrazione HT e nuove campagne di gassificazione;
- Trasferimento modulo HGC da CR ENEA Casaccia a CR ENEA Trisaia e integrazione;
- Trasferimento modulo SO-FREE a SOFC: finalizzazione dell'accordo di trasferimento in Trisaia del prototipo;
- Esercizio del sistema integrato UNIfHY1000&HGC e analisi dei risultati;
- Esercizio del sistema integrato UNIfHY1000&HGC&SOFC e analisi dei risultati;
- Analisi di scenari di produzione delocalizzata di bio-idrogeno ed energia elettrica distribuita da biomasse e altre fonti rinnovabili non programmabili.

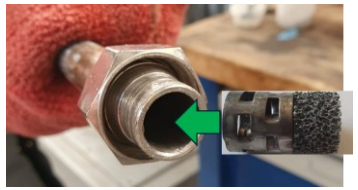
- Valutazione della possibilità di effettuare iniezioni di O_2 a differenti altezze nel freeboard per incremento della T di processo;
- Progettazione e disegni di revamping di impianto prototipale scala significativa per produzione ad alta efficienza di energia elettrica da syngas via SOFC;
- Simulazione di sistema del gassificatore integrante candele ceramiche catalitiche filtranti, sistema a caldo di purificazione del syngas dai contaminanti inorganici e sistema di celle SOFC;

- Valutazione dei dati sperimentali per ottimizzare il sistema CHP syngas-SOFC e l'upscaling commerciale con analisi tecnico-economiche e di mercato (Upscaling e CAPEX/OPEX Mercato e business case);

Prossime attività (Scala Laboratorio)

Impiego di schiume catalitiche e pellet per la purificazione di correnti di syngas destinate all'utilizzo in celle a combustibile SOFC ad elevata efficienza

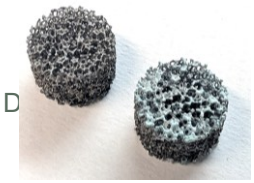
- ✓ Test di upgrading di syngas reale con Schiume Metalliche Catalitiche e supporto non attivato;
- ✓ Pellet catalitici commerciali;





Upgrading della formulazione di schiume metalliche catalitiche sulla base dei test con correnti di syngas reale

- ✓ Variazione della composizione del supporto metallico
- ✓ Eventuali modifiche a seguito di feeback ottenuti dai test catalitici in Enea;



Studio e sviluppo del processo di carbonizzazione idrotermica (HTC) per l'utilizzo di materie prime critiche nel processo di «gassificazione a secco»

- ✓ Progetto e upgrading del sistema di reazione idrotermica in regime subcritico;
- ✓ Studio sperimentale influenza condizioni operative sui prodotti della conversione e caratterizzazione analitica;
- ✓ Valorizzazione dei sottoprodotti di reazione;
- ✓ Approfondita dei meccanismi di reazione;
- ✓ Produzione di aliquota significativa (~ 500 g) per trasferimento al ENEA Trisaia.



Impiego di matrici HTC in sistemi di gassificazione per la produzione di syngas

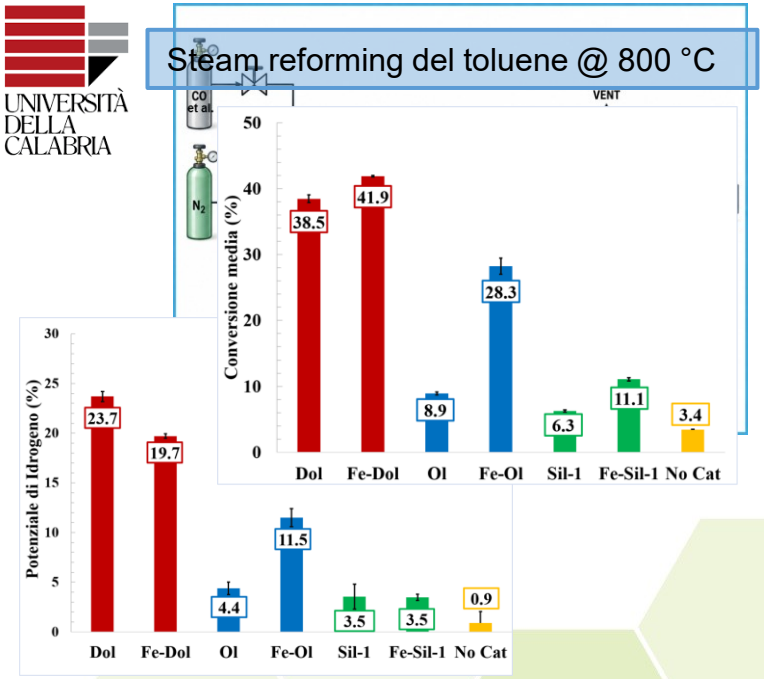
- ✓ Test prestazionali su campioni HTC (UniKORE) su piccola scala in Trisaia;
- ✓ valutazione della fattibilità per scale-up del processo;

Sviluppo di sistemi catalitici da applicare in unità di gassificazione di biomasse

- ✓ sistemi catalitici per il trattamento «in bed» di gas prodotto durante il processo di gassificazione;
- ✓ definizione del protocollo di sintesi del materiale catalitico;
- ✓ Produzione di aliquota significativa (~ 1 kg) del catalizzatore più performante da un punto di vista delle proprietà chimico-fisiche e catalitiche

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

Steam reforming del toluene @ 800 °C



Team di lavoro e ringraziamenti

Barisano Donatella
Barletta Domenico
Fanelli Emanuele
Freda Cesare
Garzone Pietro
Giuliano Aristide
Nanna Francesco
Pasqual Laverdura Umberto
Targiani Luca
Villone Antonio

Di Carlo Andrea
Papa Alessandro Antonio
Vitale Armano

Bocci Enrico
Ferruzzi Yuri
Palacios Juan Diego
Peniche Yucsin

Basile Luca
Fasolini Andrea
Balestra Giulia
Tosi Brandi Eleonora

Messineo Ninni
Volpe Maurizio
Picone Antonio

Catizzone Enrico
Daniela Cozza
Migliori Massimo
Paladino Maria Domenica

Ringraziamenti

Il lavoro presentato è stato condotto all'interno del programma «Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale (RdS)» finanziato dal MASE (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica) per il triennio 2025–2027. Gli autori desiderano esprimere la propria gratitudine per il sostegno ricevuto.

Grazie per l’attenzione

Donatella Barisano

ENEA — donatella.barisano@enea.it

