

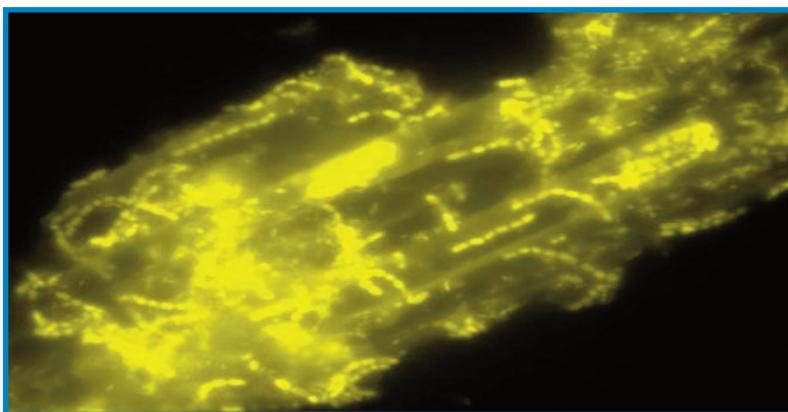


## Sviluppo di sistemi per la produzione di energia elettrica da biomasse e l'upgrading dei biocombustibili

### SCENARIO DI RIFERIMENTO

Con il termine "bioenergia" si intende la produzione di energia rinnovabile dalle biomasse. Per quel che riguarda la produzione di energia elettrica, sono state prese in considerazione come possibili materie prime biomasse disponibili a livello locale, utilizzabili in impianti di taglia media e piccola mediante combustione diretta, gassificazione, o digestione anaerobica di quelle fermentescibili. Anche i biocombustibili gassosi, come il biogas prodotto dagli impianti di digestione anaerobica o il syngas ottenuto dalla gassificazione delle biomasse lignocellulosiche, sono interessanti

in quanto possono essere utilizzati in impianti di piccola taglia distribuiti sul territorio non solo presso i siti di produzione, ma anche per l'immissione nelle reti di distribuzione del gas naturale (biometano) o per alimentare sistemi cogenerativi isolati, sulla base delle effettive esigenze energetiche delle utenze finali. Questo richiede da un lato l'ottimizzazione dei processi di conversione della biomassa, per aumentare la resa e la quota di metano prodotta, dall'altro lo sviluppo di sistemi di clean-up ed upgrading che consentano di ottenere il gas della qualità necessaria, minimizzando le emissioni nocive per la salute e per l'ambiente, e di disporre di impianti affidabili e di facile gestione.



### OBIETTIVI

L'obiettivo del progetto è la dimostrazione su scala significativa di sistemi per la valorizzazione energetica delle biomasse, sia mediante la produzione di biogas o syngas, da utilizzare per la co-generazione di energia elettrica e calore in impianti decentralizzati di piccola-media taglia o per l'immissione come

biometano nella rete nazionale di distribuzione del gas, sia attraverso lo sviluppo di sistemi di cogenerazione ad elevato rendimento basati su dispositivi innovativi per utilizzare sali fusi come vettori energetici. Inoltre, proseguiranno gli studi per la

realizzazione di dispositivi innovativi in grado di ridurre i livelli di emissioni inquinanti.

### RISULTATI

#### Sviluppo dei sistemi di produzione di biocombustibili

Le attività di ricerca finalizzate allo sviluppo dei sistemi di produzione di biocombustibili si sono rivolte in particolare ai processi di digestione anaerobica alimentati con mix di biomasse a maggior contenuto lignocellulosico e/o colture algali. La tecnologia oggetto della ricerca si basa su un processo di digestione anaerobica a doppio stadio, che prevede l'impiego di un impianto pilota di scala laboratorio, costituito da un reattore biologico separato in cui avviene la degradazione dei materiali organici di qualsiasi provenienza, e da un secondo reattore di metanogenesi per la produzione di biogas.

L'ottimizzazione del processo è stata effettuata alimentando l'impianto pilota esclusivamente con la scotta, scarto delle industrie casearie, dimostrando che è possibile dimezzare i tempi di produzione del biogas ed aumentare del 35% la resa energetica complessiva del processo rispetto alla configurazione convenzionale a un solo stadio. Risultati molto promettenti sono poi stati ottenuti anche nello sviluppo di processi biologici finalizzati ad incrementare la "digeribilità" di biomasse ricche in componente lignocellulosica, in particolare utilizzando funghi ruminali insieme ai microrganismi responsabili della fermentazione anaerobica, che ha permesso di produrre biogas da un substrato ricco di cellulosa come la paglia con rese in metano aumentate fino al 68% rispetto a un processo convenzionale. Inoltre, sono stati studiati processi semplificati e a basso costo per la produzione di microalghe in connessione a impianti di biogas, sfruttando le capacità fertilizzanti del digestato liquido e utilizzando la biomassa così prodotta per ottenere nuovo biogas, mediante un'operazione di



**Impianto bistadio di digestione anaerobica**

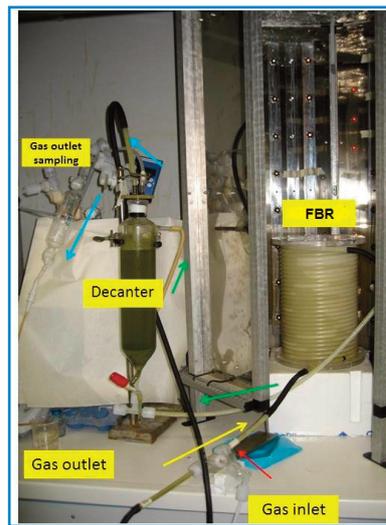
riciclo di nutrienti. Per quel che riguarda la produzione di biocombustibili con processi termochimici, sono stati studiati processi di gasificazione con acqua in condizioni supercritiche (SCW) di biomasse ad elevato contenuto idrico per la produzione di syngas. Il lavoro svolto ha riguardato la modellazione termodinamica, il confronto delle prestazioni del processo con differenti biomasse e la sua valutazione energetica, nonché la sperimentazione con un impianto bench-scale, progettato e realizzato in ENEA. In particolare, sono state effettuate prove di conversione di digestato di reflui zootecnici e biomassa da colture microalgali di *Scenedesmus dimorphus*, ottenendo in entrambe i casi un syngas con un potere calorifico superiore di 22 MJ/Nm<sup>3</sup> ed un contenuto elevato di idrogeno (40-45% in volume).

## Sviluppo di sistemi di upgrading di biocombustibili e riduzione dell'impatto ambientale

La ricerca sui sistemi di upgrading dei biocombustibili si è occupata in primo luogo della rimozione dei contaminanti presenti nel biogas, in particolare solfuro di idrogeno (H<sub>2</sub>S), con l'obiettivo di arrivare alla produzione di biometano con caratteristiche tali da consentirne l'immissione nella rete di distribuzione del gas naturale.

Per la rimozione del solfuro di idrogeno sono state individuate e poste a confronto due diverse tecnologie chimico-fisiche, basate sull'utilizzo di carboni attivi (processo di adsorbimento) e di ossidi metallici (ossidazione catalitica). Per entrambi i processi gli studi avevano l'obiettivo di massimizzare la quantità di H<sub>2</sub>S rimosso dal biogas a parità di carbone o catalizzatore utilizzato minimizzando i consumi energetici. È stato anche studiato un processo biologico di rimozione dell'H<sub>2</sub>S mediante fotosintesi anossigenica, arrivando all'abbattimento

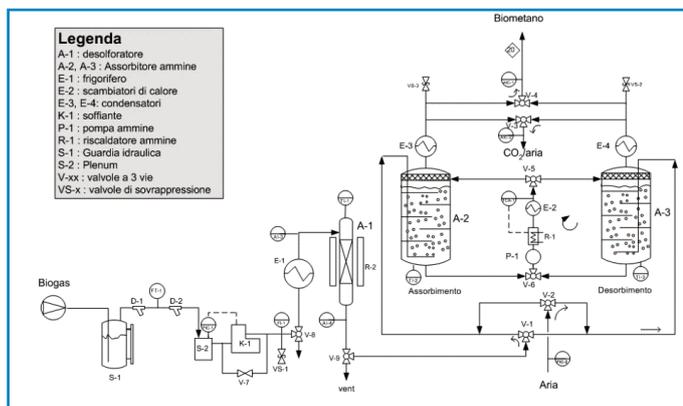
totale dell'H<sub>2</sub>S per un biogas con un contenuto di inquinante intorno a 400 ppm, con un basso consumo di energia (1 W/m<sup>2</sup>). Le attività relative ai processi di upgrading del biogas al fine di ottenere metano praticamente puro (97-99%), hanno riguardato l'impiego di un'ammina



**Fotobioreattore a LED**

complessa (2-ammino 2-metil 1-propanolo, AMP)

in una miscela di glicol etilenico e n-propanolo in proporzione 1:1, che permette di superare i limiti del processo convenzionale di assorbimento con ammine in acqua, soprattutto grazie alla possibilità di operare il desorbimento della CO<sub>2</sub> a temperatura più bassa (≤90 °C), riducendo la perdita di ammina per evaporazione e degradazione, la corrosione degli impianti e il consumo di energia per la rigenerazione.



*Schema dell'impianto di up-grading del biogas mediante lavaggio con ammine*

Un'altra linea di attività ha invece riguardato lo studio di processi di separazione della CO<sub>2</sub> dal metano mediante la formazione/dissociazione di gas idrati, realizzata con l'impiego di particolari reattori a pressione, che consentono di arrivare ad una miscela con un contenuto in metano pari all'80%, partendo da un biogas che ne contiene il 60%. Nel corso degli ultimi due anni è stato possibile, anche grazie all'impiego di specifici promotori della formazione di idrati, scendere da pressioni di esercizio di 60 bar a 30 bar, limitando i consumi energetici e aprendo la prospettiva dello sviluppo di un futuro processo continuo.

Altre attività di ricerca sono poi state condotte sul processo di purificazione e di metanazione del syngas prodotto dalla gassificazione di biomasse lignocellulosiche, modificandone la composizione mediante assorbimento della CO<sub>2</sub>, prodotta dalla reazione di *water gas shift* (WSG) con specifici sorbenti (idrotalciti) e incrementando le rese di conversione in metano con l'impiego di specifici catalizzatori a base di nichel su precursori Mg/Al in un impianto pilota di biometanazione (BIOSNG) realizzato da ENEA.

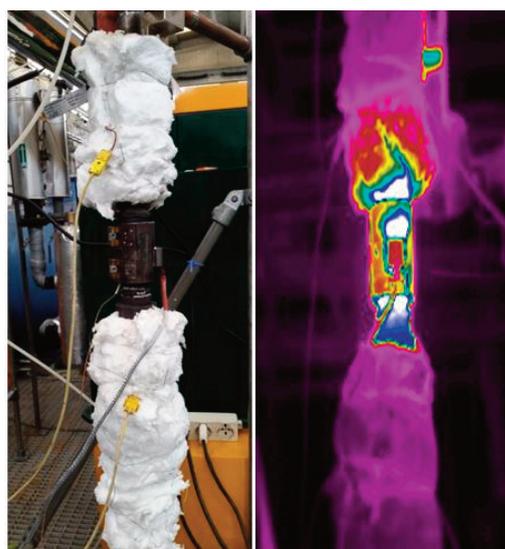
### **Sviluppo di sistemi di produzione dell'energia elettrica e cogenerativi e riduzione dell'impatto ambientale**

Sono state prese in esame caldaie a sali fusi ad alta temperatura alimentate con biomassa lignocellulosica per impianti di produzione di energia elettrica e co/trigenerazione di piccola-media taglia basati su cicli termici con vapore d'acqua o con nuovi fluidi operanti a un livello termico superiore a quelli attualmente in uso. In particolare, si è approfondito lo studio di cicli termodinamici innovativi, mediante lo sviluppo di uno strumento di calcolo (COGEGNO)

per l'analisi energetica ed economica di sistemi cogenerativi basati su caldaie a sali fusi, implementato in modo tale da rendere lo strumento liberamente fruibile al pubblico.

Riguardo al fluido termovettore, sono state selezionate una miscela ternaria contenente calcio nitrato (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>/NaNO<sub>3</sub>/KNO<sub>3</sub> 42,2/15,3/42,5% in peso) ed una con nitrato di litio (NaNO<sub>3</sub>/KNO<sub>3</sub>/LiNO<sub>3</sub> 18/52/30 in percentuale in peso); la miscela con il nitrato di calcio è stata ritenuta la più adatta per il suo basso costo, basso punto di inizio solidificazione, relativa facile reperibilità e minori problemi ambientali. Sono state completate prove di corrosione di lunga durata (8.000 ore) di materiali utilizzabili per la realizzazione delle parti delle caldaie a contatto con tali fluidi, eseguite su provini di acciai ferritici (430) e austenitici (316 L) a contatto con il ternario contenente nitrati di Na/K/Li, a 550 e 590 °C, che hanno evidenziato come l'acciaio austenitico presenti in generale uno strato protettivo più stabile.

È stata studiata la rimozione del particolato fine e degli inquinanti organici dalle emissioni gassose della combustione delle biomasse solide mediante la caratterizzazione e la verifica sperimentale di filtri ceramici porosi per la riduzione delle emissioni inquinanti, con particolare riferimento al particolato. Sono state effettuate prove sperimentali su prototipi in scala di laboratorio di filtri catalitici strutturati tipo "wall-flow", esaminando il loro comportamento a contatto diretto con i fumi di combustione di una caldaia alimentata a pellet di legno. Le attività sperimentali hanno dimostrato una elevata efficienza di abbattimento (> 92%) del particolato ad opera di filtri in carburo di silicio catalizzati con ferrite di rame.



*Particolare della linea di campionamento fumi e relativa immagine con termocamera IR*

Sono state infine avviate, in collaborazione con la Società Sotacarbo SpA, nuove attività di ricerca finalizzate allo sviluppo di tecnologie per la co-gassificazione di biomasse e carbone, utilizzando l'impianto di gassificazione updraft da 5 MWt del Centro di Ricerche Sotacarbo di Carbonia. In particolare, sono state progettate e realizzate una serie di modifiche dell'impianto, tra cui la realizzazione di un sistema di caricamento del combustibile e di pulizia del syngas. Successivamente, è stata effettuata la verifica del funzionamento del gassificatore in continuo e della stabilità del processo mediante l'esecuzione di test di lunga durata, che hanno permesso la definizione dei parametri operativi di co-gassificazione di biomassa e carbone e di pulizia del syngas dai tar. Relativamente a quest'ultimo punto, è stato progettato e realizzato un reattore secondario di reforming catalitico ossidativo, utilizzato per valutare l'efficacia di questo tipo di dispositivi.

## **COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI**

Oltre alla divulgazione dei contenuti e dei risultati delle attività di ricerca, ENEA è impegnata in attività di supporto ai ministeri e di collaborazioni internazionali.

In particolare, ENEA ha partecipato, in rappresentanza dell'Italia, agli Implementing Agreement dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) sulla Bioenergia (Bioenergy Implementing Agreement <http://www.ieabioenergy.com>), nonché ad alcune iniziative sulle tematiche del presente progetto nell'ambito della European Energy Research Alliance (EERA).

Per il Bioenergy Implementing Agreement (IEA/BA) l'ENEA ha coordinato, insieme al GSE, il contributo delle altre strutture nazionali interessate e partecipato



*Impianto di gassificazione e pulizia del syngas da tar*

direttamente alle attività dell'Executive Committee e delle seguenti Task:

- Task 33 - Thermal gasification of biomass (<http://www.ieabioenergy.com/Task.aspx?id=33>), con attività di monitoraggio, analisi e scambio di informazioni su ricerca, sviluppo, dimostrazione e commercializzazione, sulla gassificazione delle biomasse.
- Task 42 - Biorefineries: co-production of fuels, chemicals, power and materials from biomass (<http://www.ieabioenergy.com/Task.aspx?id=42>), che si occupa di attività e tecnologie connesse allo sviluppo delle bioraffinerie, ovvero di piattaforme tecnologiche integrate attraverso le quali le biomasse in ingresso vengono trasformate in combustibili, energia e prodotti chimici in maniera analoga a quanto avviene in una raffineria convenzionale.

ENEA ha curato inoltre la partecipazione nazionale alle attività di EERA (European Energy Research Alliance) sulla Bioenergia (SP5 Stationary Bioenergy), le cui azioni riguardano la cooperazione fra istituti che svolgono attività di ricerca pre-competitiva e l'individuazione di aree di interesse comune per lo sviluppo tecnologico congiunto, allo scopo di accelerare il superamento di barriere tecnologiche e lo sviluppo di nuove soluzioni.

*Area di ricerca: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente*

*Progetto B.1.1: Sviluppo di sistemi per la produzione di energia elettrica da biomasse e l'upgrading dei biocombustibili*

*Referente: V. Pignatelli, [vito.pignatelli@enea.it](mailto:vito.pignatelli@enea.it)*