



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

SCENARIO DI RIFERIMENTO

Le biomasse, una risorsa energetica ben distribuita e spesso ampiamente disponibile a livello locale, possono essere trasformate in energia o combustibili con diverse tecnologie. In particolare, le biomasse fermentescibili possono essere convertite in biogas tramite il processo di digestione anaerobica (DA), mentre quelle legnose possono essere utilizzate direttamente come combustibili o gassificate per ottenere syngas. Il biogas e il syngas vengono poi impiegati in sistemi cogenerativi di piccola-media taglia per



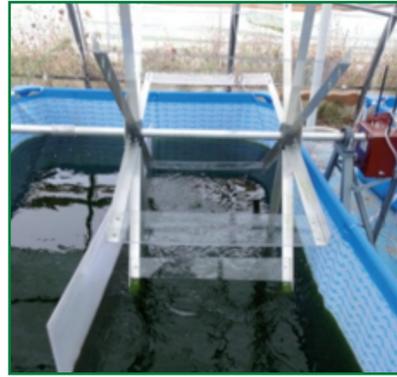
la produzione distribuita di energia elettrica e calore. Tali sistemi devono basarsi su impianti affidabili, di facile gestione e competitivi, e il loro sviluppo richiede quindi l'ottimizzazione dei processi di produzione e purificazione del gas, la messa a punto di tecnologie di cogenerazione a elevata efficienza e l'integrazione tra i vari sottosistemi. Il biogas, se sottoposto a opportuni trattamenti di purificazione e rimozione della CO₂, può anche essere immesso, con il nome di "biometano", nella rete di distribuzione del gas naturale, mentre il syngas, dopo adeguati processi di pulizia, può essere a sua volta utilizzato per la produzione di biocombustibili liquidi (BTL) o gassosi (SNG). Nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico, l'ENEA ha condotto numerose attività di ricerca e sviluppo tecnologico nel campo dei processi di DA e delle tecnologie per il clean-up e l'upgrading del biogas e del syngas, con l'obiettivo di arrivare alla loro validazione in impianti pilota su cui testare processi, materiali e componenti innovativi.

OBIETTIVI

L'obiettivo principale del progetto è quello di contribuire alla messa a punto di sistemi per la valorizzazione energetica delle biomasse, sia incrementando la produzione di biogas ottenibile, sia migliorando l'efficienza di trasformazione di uno spettro più ampio di matrici organiche (uso di biomassa algale,

scarti e residui lignocellulosici, specie vegetali coltivabili in terreni marginali), da utilizzare per la co-generazione di elettricità e calore in sistemi decentralizzati di piccola-media taglia o, previo un opportuno tratta-

mento di clean-up e upgrading, per l'immissione come biometano nella rete nazionale di distribuzione del gas naturale. Le relative attività includono l'ottimizzazione di sistemi di cogenerazione pre-commerciali a elevato rendimento basati sulla tecnologia della gassificazione, anche con acqua in condizioni supercritiche, o della combustione in dispositivi innovativi (caldaie a sali fusi) per disporre in prospettiva di vettori energetici ad alta temperatura, anche oltre i 450 °C, con valutazioni di cicli termodinamici innovativi per incrementare sia le rese elettriche che quelle cogenerative. Un altro obiettivo è quello di ridurre i livelli di emissioni del particolato fine dagli impianti di combustione di biomasse solide di piccola-media taglia, individuando nuovi sistemi di abbattimento basati su processi di rimozione catalitici dei suddetti inquinanti.



Fotobioreattore a sacco in stadi successivi di sviluppo e agitatore a pale posizionato in vasca di accrescimento di colture di microalghe



Monolite con V₂O₅ per l'ossidazione selettiva dell'H₂S

RISULTATI

Sviluppo dei sistemi di produzione di biocombustibili

Le attività di ricerca riguardano processi di digestione anaerobica alimentati con mix di biomasse a maggior contenuto lignocellulosico e/o colture algali, anche per incrementarne la produzione in idrogeno e metano. La tecnologia oggetto della ricerca si basa su un processo di DA a doppio stadio, che prevede l'impiego di un impianto pilota di scala laboratorio, realizzato e messo a punto nel corso delle precedenti annualità della RdS, costituito da un reattore biologico separato in cui avviene la degradazione (idrolisi e acidogenesi) dei materiali organici di qualsiasi provenienza, e da un secondo reattore di metanogenesi per la produzione di biogas. Il piano sperimentale è stato impostato con la finalità di ridurre i tempi di ritenzione idraulica del II stadio (HRT = 7,5 giorni), rispetto alla passata sperimentazione (HRT = circa 15 giorni) tramite l'utilizzo di un ricircolo in discontinuo del digestato stesso, con una portata (L/d) uguale a quella del substrato in ingresso. Le attività relative alla ottimizzazione del processo di DA a doppio stadio sono state effettuate alimentando l'impianto pilota esclusivamente con scotta, che è un effluente di scarto delle industrie casearie.

Parallelamente, sono stati studiati processi semplificati e a basso costo per la produzione di microalghe in connessione a impianti di biogas, sfruttando le capacità fertilizzanti di un sottoprodotto della digestione anaerobica, denominato "digestato liquido" e utilizzando la biomassa così prodotta per ottenere nuovo biogas, mediante un'operazione di riciclo di nutrienti.

Le attività di ricerca sono state indirizzate verso una più larga scala rispetto a quanto fatto in precedenza, focalizzandosi sulla produzione algale in vasche del volume di circa 1.500 litri, protette da una serra. Tali vasche sono state realizzate utilizzando la struttura di economiche piscine fuori terra opportunamente adattate con attrezzature utili allo scopo della coltivazione microalgale e poste in condizioni ambientali ottimali, con controllo su temperatura e illuminazione, oltre che su vento e precipitazioni.

Sono state svolte ulteriori attività riguardanti le prestazioni e l'affidabilità dei processi di gassificazione con acqua in condizioni supercritiche (SCW) di biomasse a elevato contenuto idrico per la produzione di syngas con caratteristiche chimico-fisiche tali da renderlo idoneo per applicazioni energetiche. Il lavoro svolto ha riguardato la modellazione termodinamica, il cui scopo è la valutazione delle caratteristiche del gas ottenuto, il confronto delle prestazioni del processo di gassificazione in SCW di differenti biomasse di interesse e la valutazione energetica del processo, nonché l'analisi sperimentale su un impianto bench scale al variare delle principali condizioni operative in modo da verificare le performance del processo sulle differenti matrici.

Sviluppo dei sistemi di produzione di energia elettrica e cogenerativi

In questa linea di attività ci si è occupati dell'arricchimento del biogas in metano e della rimozione dei contaminanti, in particolare H₂S, fino a livelli tali da consentirne l'immissione nella rete di distribuzione del gas naturale.

Per la rimozione dell'H₂S 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 sono continuati sia a livello di laboratorio, con l'obiettivo di massimizzare la quantità di H_2S rimosso dal biogas a parità di carbone o catalizzatore utilizzando minimizzando i consumi energetici, che su dispositivi accoppiati direttamente ad un impianto pilota di DA.

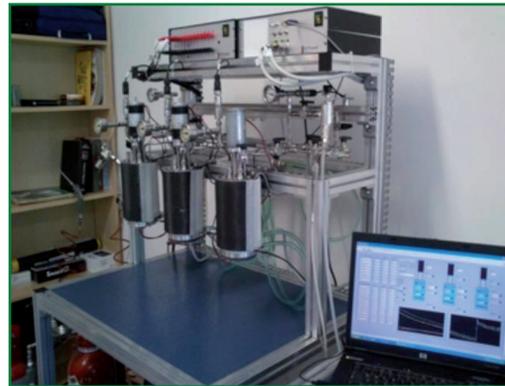
Sono poi proseguite le attività di ricerca sulla rimozione dell' H_2S con un processo biologico di fotosintesi anossigenica, realizzata in un apposito dispositivo di filtrazione del biogas illuminato con lampade LED a determinate lunghezze d'onda, con risultati molto interessanti in quanto l'abbattimento, anche se non totale, avviene anche a concentrazione elevate di H_2S (intorno a 2.000 p.p.m.) e con un basso consumo di energia (1 W/m^2).

Le attività relative ai processi di upgrading del biogas a biometano hanno avuto come oggetto l'impiego di ammine in un solvente organico protico, che permette di superare i limiti del processo di assorbimento con ammine in acqua, soprattutto grazie alla possibilità di operare il desorbimento della CO_2 a temperatura più bassa ($\leq 90 \text{ }^\circ\text{C}$), riducendo in questo modo la perdita di ammina per evaporazione e degradazione, la corrosione degli impianti e il consumo di energia per la rigenerazione.

In particolare, è stato preso in esame l'uso di ammine stericamente impedito, come il 2-ammino-2-metil-1-propanolo (AMP) in miscele di glicol etilenico e propanolo, con una sperimentazione finalizzata a valutare la capacità di assorbimento della CO_2 nella soluzione amminica a diverse condizioni operative, la cinetica di assorbimento e le modalità di un'efficace rigenerazione.

Una seconda linea di attività ha invece riguardato lo studio di processi di separazione della CO_2 dal metano mediante la formazione/dissociazione di gas idrati, realizzata con l'impiego di particolari reattori a pressione, che ha dato risultati molto promettenti, da validare con ulteriori prove sperimentali.

Altre attività di ricerca sono poi state condotte sul processo di purificazione e di metanazione del syngas prodotto da un impianto di gassificazione. Nei processi di gassificazione della biomassa il gas prodotto presenta rapporti H_2/CO inferiori a quelli indicati dalla stechiometria della reazione di metanazione (3:1) in quanto, in relazione alla tecnologia di gassificazione adottata e alle condizioni di processo, raggiunge al più un rapporto H_2/CO pari a 2. Per una ottimale conversione del syngas in metano si richiede pertanto un condizionamento della sua composizione a valori più favorevoli, e a tal fine è stata svolta, sull'impianto pilota di biometanazione BIOSNG realiz-



Reattori sperimentali per la produzione di biometano da biogas mediante formazione/dissociazione di gas idrati

zato da ENEA presso i propri laboratori del C.R. Trisaia, un'attività sperimentale rivolta all'aggiustamento della composizione del syngas mediante assorbimento della CO_2 , prodotta dalla reazione di water gas shift (WSG), e all'incremento delle rese di conversione in metano con l'impiego di specifici catalizzatori.

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 ($> 450 \text{ }^\circ\text{C}$) 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 ad un livello termico superiore a quelli attualmente in uso.

Riguardo al fluido sono state selezionate come potenzialmente interessanti una miscela ternaria contenente calcio nitrato ($Ca(NO_2)_2/NaNO_3/KNO_3$ 42,2/15,3/42,5% in peso), una con nitrito di sodio (prodotto commerciale denominato HITECH® salt, $NaNO_3/KNO_3/NaNO_2$ 7/53/40% in peso), e una con nitrato di litio ($NaNO_3/KNO_3/LiNO_3$ 18/52/30 in percentuale in peso). Dati il basso costo, il basso punto

di inizio solidificazione e la relativa facile reperibilità, la miscela ternaria con il nitrato di calcio si può ritenere la più promettente per questo scopo, per l'utilizzo sia come fluido di trasporto termico che di storage.

È stata infine 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 e ad inquinanti gassosi quali CO e Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA). Presso il Centro Ricerche ENEA di Saluggia sono state effettuate prove sperimentali su prototipi in scala di laboratorio di filtri catalitici 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 finora condotte hanno dimostrato una elevata efficienza di abbattimento del particolato ad opera dei filtri catalitici in carburo di silicio e ferrite di rame.

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 collaborazioni internazionali.

In particolare, ENEA ha partecipato, in rappresentanza dell'Italia, all'Implementing Agreement dell'Agencia Internazionale dell'Energia (IEA) sulla Bioenergia (<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 l'ENEA ha coordinato, insieme al GSE, il contributo delle altre strutture nazionali interessate e partecipato direttamente alle attività dell'Executive Committee e delle seguenti Task:

- Task 33 - Thermal gasification of biomass (<http://www.ieabioenergy.com/Task.aspx?id=33>),
- Task 42 - Biorefineries: co-production of fuels, chemicals, power and materials from biomass (<http://www.ieabioenergy.com/Task.aspx?id=42>).



Impianto pilota BioSNG



Filtri realizzati per le prove di abbattimento degli inquinanti nei fumi di combustione allo scarico della caldaia a biomassa presso ENEA Saluggia

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