



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 mediante 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 come combustibili o gassificate per ottenere syngas.

Il biogas e il syngas possono essere impiegati in sistemi cogenerativi di piccola taglia (potenza massima di qualche centinaio di kW), per la produzione distribuita di energia elettrica e calore. Il biogas, se sottoposto a opportuni trattamenti di purificazione e rimozione della CO₂, può anche essere immesso nella rete di distribuzione del gas naturale. Anche il syngas, dopo adeguati processi di pulizia, può essere utilizzato per la produzione di biocombustibili liquidi (BTL) o gassosi (SNG) mediante specifici processi di conversione catalitica.

I sistemi cogenerativi devono basarsi su impianti affidabili, di facile gestione e competitivi, e il loro sviluppo richiede l'ottimizzazione dei processi di produzione e purificazione del gas, la messa a punto di tecnologie di cogenerazione ad elevata efficienza e l'integrazione tra i vari sottosistemi. La produzione di biometano richiede invece l'ottimizzazione dei processi di DA e lo sviluppo di sistemi di trattamento che consentano di ottenere un gas combustibile della qualità necessaria per l'immissione in rete.

Nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico, l'ENEA ha condotto numerose attività di ricerca e

sviluppo tecnologico nel campo dei processi di produzione del biogas 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 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 trasforma-

zione 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 trattamento di clean-up e upgrading, per l'immissione come biometano nella rete nazionale di distribuzione.

L'obiettivo include l'ottimizzazione di sistemi di cogenerazione pre-commerciali ad 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.

RISULTATI

Sviluppo dei sistemi di produzione di biocombustibili

Le attività svolte si possono sintetizzare in sei punti. Il primo ha visto lo sviluppo, la verifica e il potenziamento di funzionalità della piattaforma web A.I.D.A. (Advanced and Innovative tool for Developing feasibility Analysis of biomass plants, <http://aida.casaccia.enea.it/aida/default.asp>). Un secondo punto ha riguardato la sperimentazione sull'impianto pilota DMM6000® di processi di codigestione anaerobica di differenti miscele di matrici organiche, incluse alcune tipologie di rifiuti e biomasse prodotte da colture dedicate, al fine di valutare l'incremento della velocità e dell'efficienza di trasformazione di diversi substrati. Il terzo punto ha visto lo sviluppo e la sperimentazione in reattori da laboratorio di processi innovativi per la produzione di biogas a più elevato contenuto in metano e miscele di metano e idrogeno mediante l'ottimizzazione delle condizioni di reazione sia della fase idrolitica/acidogenesi che della metanogenesi e/o produzione di idrogeno.

Il quarto punto riguardava prove sperimentali di pretrattamenti chimico-fisici o biologici di substrati con elevato contenuto di materiale lignocellulosico o biomasse algali, con valutazione dell'effetto di tali pretrattamenti sulla successiva fase di degradazione microbica per la produzione di biogas. Un quinto punto consisteva nello studio e valutazioni comparative di sistemi per la produzione di microalghe da inserire a valle del processo di DA, per ridurre il contenuto in nutrienti degli effluenti liquidi e massimizzare la produzione di biomassa algale da riciclare nei reattori di DA. Il sesto punto ha riguardato l'esecuzione di prove sperimentali di gassificazione con acqua in condizioni supercritiche di biomasse ad elevato tenore di umidità con un dispositivo sperimentale in scala laboratorio reso idoneo a operare a

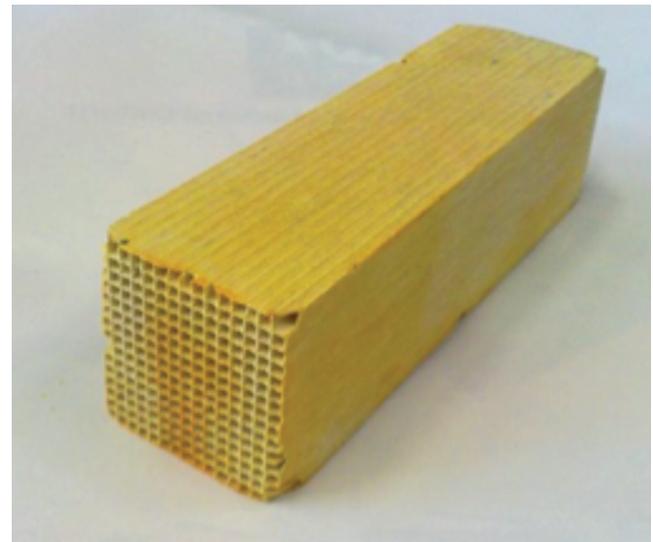


Sacchi di cultura

temperature superiori ai 500 °C.

Sviluppo dei sistemi di clean-up e upgrading dei biocombustibili e di riduzione dell'impatto ambientale

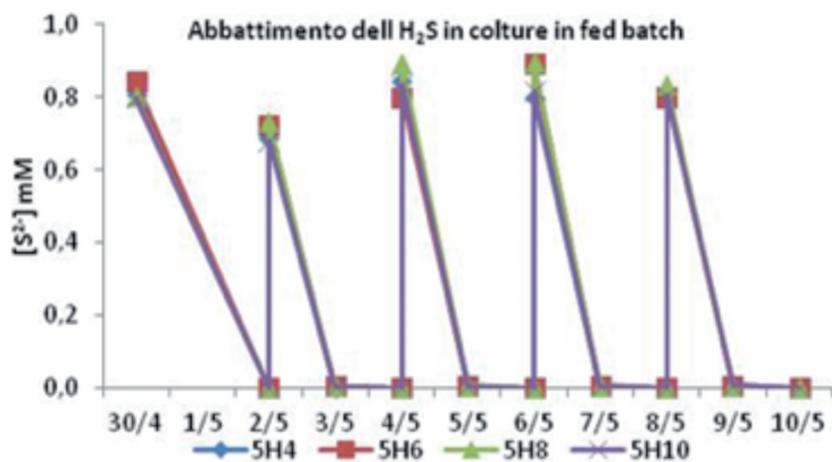
Le attività hanno riguardato in primo luogo lo studio, la sperimentazione e la caratterizzazione di un supporto strutturato a base di cordierite su cui è stato depositato con due metodi differenti un catalizzatore con carichi diversi di V_2O_5 . Il catalizzatore, da utilizzare per la desolforazione del biogas in un apposito reattore, è caratterizzato da una struttura a nido d'ape in configurazione "through-flow", con 225 canali e uno spessore medio di washcoat pari a 130 micrometri.



Catalizzatore strutturato per reattore pilota ENEA

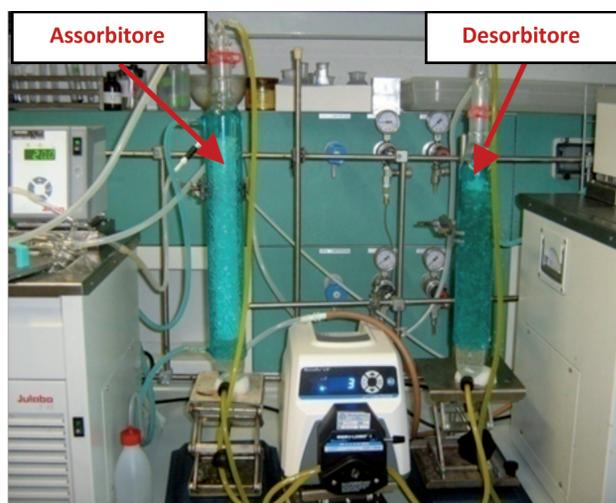
Un secondo studio ha riguardato l'abbattimento di H_2S presente nel biogas mediante un processo di fotosintesi anossigenica operato dal solfobatterio *Chlorobium limicola*. I risultati ottenuti hanno evidenziando una notevole riduzione nei tempi di abbattimento, visto che in tutti i casi già dopo 24 ore il contenuto di H_2S è fortemente ridotto ($< 0,006$ mM nella fase liquida, < 57 ppm nello spazio di testa), mentre l'abbattimento totale si ottiene nell'arco di tempo di due giorni.

È continuata, inoltre, l'attività di verifica dei sistemi di separazione della CO_2 mediante l'uso di membrane polimeriche commerciali, mentre lo studio teorico e la sperimentazione in laboratorio di sistemi innovativi per la rimozione della CO_2 dal biogas sono stati indirizzati sull'impiego di ammine in solvente organico e sulla formazione di idrati.



Trend di abbattimento dell'H₂S da parte di colture fed batch

Nel primo caso l'efficienza di assorbimento di CO₂ è risultata del 91-96%, impiegando i parametri operativi migliori, e la stabilità termica delle ammine impiegate nei cicli è elevata, mentre nel secondo dai risultati ottenuti emerge che la possibilità di effettuare l'upgrading del biogas a biometano mediante la formazione di gas idrati sembra essere ben supportata, perché con soli 2 stadi di separazione si può ottenere una frazione del gas con un rapporto CH₄/CO₂ pari a 92/8, partendo da una composizione iniziale di 60/40.



Sistema di assorbimento e desorbimento di CO₂ in continuo

Sono state inoltre eseguite sperimentazioni di upgrading e conversione del syngas prodotto dalla gassificazione di biomasse lignocellulosiche con un dispositivo per la rimozione della CO₂ mediante adsorbimento con sorbenti solidi commerciali e impiego di catalizzatori su supporti in materiale ceramico per l'ottimizzazione del processo di produzione di metano di sintesi sull'impianto pilota di metanazione BIOSNG.

Infine, per la rimozione del particolato fine (<10 micron) presente nelle emissioni gassose prodotte dalla combustione di biomassa solida, si è proceduto allo sviluppo, realizzazione e verifica di funzionalità di prototipi da laboratorio di sistemi di filtrazione ceramici attivati.

La sperimentazione ha dimostrato che la tecnologia wall-flow può essere applicata efficacemente anche per la pulizia dei fumi della combustione della biomassa solida, in cui il particolato è essenzialmente formato da particelle

<1 micron, per cui i filtri wall-flow dovrebbero essere costituiti da materiali con dimensione dei pori >1 micron, come ad esempio il carburo di silicio.



Stazione di controllo BIOSNG



Colonna di derivazione dei fumi e forno tubolare

Sviluppo di sistemi di produzione dell'energia elettrica

La prima attività di ricerca svolta riguarda lo studio e la caratterizzazione termo-fluidodinamica di miscele di sali fusi e la definizione dei parametri progettuali per il dimensionamento di caldaie alimentate con biomassa lignocellulosica.

Riguardo lo studio dei tipi di sali usati come vettore termico si può concludere che due miscele ternarie possono essere oggetto di sperimentazione come possibili fluidi termovettori per caldaie a biomasse:

1. La miscela contenente nitrato di litio ($\text{NaNO}_3/\text{KNO}_3/\text{LiNO}_3$ nella percentuale in peso di 18/52/30), sicuramente più costosa, ma le cui quantità di utilizzo potrebbero non incidere in maniera significativa sul costo totale di un impianto.

2. La miscela Na-K-Ca, che presenta un costo sensibilmente inferiore rispetto alla precedente, pur con un punto di inizio congelamento paragonabile.

Studiando la caldaia, gli aspetti presi in considerazione sono quelli termodinamici, fluidodinamici, termofisici e reologici introdotti dall'impiego dei sali fusi come fluido termico. Sono state individuate le sezioni sottoposte a maggiore sollecitazione e sono state valutate le temperature delle superfici metalliche più a rischio, sottoposte ai fenomeni di ossidazione-erosione a caldo.

È stata effettuato anche uno studio sulla definizione e l'analisi dei cicli termodinamici di fluidi in grado di operare a temperature superiori a quelle attualmente in uso (NORC), al fine di avere sistemi energetici più performanti di quelli basati su soluzioni di fluido organico comunemente utilizzate.

L'analisi svolta ha evidenziato i significativi vantaggi ottenibili operando a temperature più elevate rispetto i valori usuali. In particolare si è:

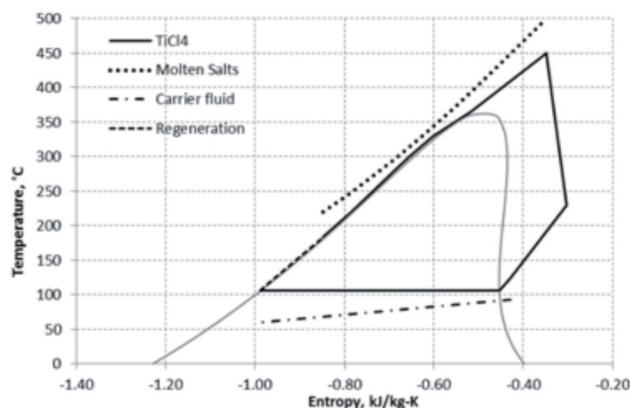
- individuato il TiCl_4 come potenziale fluido di lavoro che, oltre a possedere la stabilità termica a temperature molto elevate e ad avere costi estremamente contenuti, presenta caratteristiche termodinamiche (punto critico ecc.) ideali per l'accoppiamento con la sorgente termica considerata;
- identificato uno schema di impianto che prevede l'adozione di un ciclo di potenza ipercritico e un circuito intermedio ad olio fra il tetracloruro di titanio e l'acqua destinata al teleriscaldamento;

- effettuato il pre-dimensionamento dei principali componenti di impianto, che ha dato luogo a risultati promettenti, basati principalmente su una soluzione innovativa per il recuperatore di calore.

Fra le diverse soluzioni esaminate, le più promettenti portano ai seguenti risultati:

- un rendimento netto dell'impianto NORC dell'ordine del 24-25%, superiore di circa 6 punti (e quindi del 30%) rispetto all'attuale "stato dell'arte"
- costi dell'energia elettrica prodotta dell'ordine di 165-170 €/MWh
- il mantenimento di elevati rendimenti di conversione anche ai carichi parziali, che garantisce una buona elasticità operativa dell'impianto.

Caratterizzazione Impianto C6		
Variabili indipendenti		
P Max	bar	50
T Max	°C	450
T max Sali	°C	500
T min sali	°C	220
Variabili dipendenti		
η Ciclo, lordo	%	29,62
η_{el} Ciclo, netto	%	25,60
Tout Rig	°C	183,21
ΔT hot Rig	°C	105,60
ΔT cold Rig	°C	73,96
UA Rig	kW/K	27,01
UA Primario	kW/K	160,76
ΔT Primario	°C	13,0
UA Cond	kW/K	104,13
Pot scambiatori Rig	kW	751,87
(Vout/Vin)turb	-	116,25
Δh s,turb	kJ/kg	109,38



*Ciclo termodinamico con pressione massima di 50 bar e temperatura massima di 450 °C
Temperatura sali fusi 500-220 °C
Rappresentazione del ciclo termodinamico*

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