

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Studi sulla produzione di energia elettrica locale da biomasse e scarti

Scenario di riferimento

Le biomasse, una risorsa energetica ben distribuita e spesso ampiamente disponibile a livello locale, possono essere trasformate in energia e/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 poi utilizzati 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 (clean-up) e rimozione della CO₂ (upgrading), 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) a elevato contenuto energetico mediante specifici processi di conversioni chimiche catalitiche.

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 a elevata efficienza e l'integrazione tra i vari sottosistemi, mentre la produzione di biometano richiede 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 generale del progetto riguarda lo sviluppo e la messa a punto di sistemi di conversione energetica di biomasse di diversa natura mediante la produzione di biogas o syngas da utilizzare in sistemi cogenerativi di piccola-media taglia, produrre biocombustibili o biocarburanti alternativi e ridurre l'impatto ambientale conseguente ad una ampia produzione decentralizzata.

Risultati

Le attività del progetto, iniziate nel triennio precedente per ottenere gas di qualità idonea ad alimentare sistemi di cogenerazione basati su celle a combustibile, sono state focalizzate sull'ampliamento/efficienza dei sistemi di conversione e sui trattamenti dei gas prodotti per migliorarne le caratteristiche qualitative e quantitative, in modo da renderne più agevole e ambientalmente meno impattante il loro uso nella cogenerazione distribuita.

Ottimizzazione del processo di digestione anaerobica

Lo studio del processo di DA ha consentito il potenziamento della produzione di metano dal liquame, valutando gli effetti della separazione delle fasi di idrogenogenesi e metanogenesi, e l'individuazione di pool microbici funzionali alla produzione di idrogeno, già presenti nel liquame. Sono state svolte indagini per definire la composizione dei pool microbici utilizzati negli esperimenti che hanno portato al completamento della caratterizzazione delle comunità microbiche degli inoculi utilizzati per

la produzione di idrogeno, e sui pretrattamenti biologici di biomasse legnose, studiando la degradazione che in natura è dovuta a funghi - denominati 'white rot' - per ottenere substrati fermentescibili.

Ottimizzazione di processi chimico-fisici di abbattimento degli inquinanti e di upgrading del biogas a biometano

Sono proseguiti gli studi e le attività sperimentali sul clean up con la messa a punto di nuovi materiali sia per i processi di semplice assorbimento che per quelli di conversione chimica (catalizzatori strutturati), e di sistemi biologici di abbattimento dell'idrogeno solforato nel biogas tramite il processo di fotosintesi anossigenica operato da solfobatteri.

Parallelamente, sono state affrontate le problematiche aperte per la separazione della CO₂, approfondendo lo studio sui sistemi di separazione della CO₂ basati sull'impiego delle membrane, sia polimeriche che ceramiche, al fine di disporre di dati sperimentali che consentano di effettuare un'analisi costi-benefici delle possibili soluzioni, individuando anche i margini di miglioramento delle stesse.

Infine, è stata avviata una specifica linea sul trattamento dei fumi di combustione delle biomasse lignocellulosiche al fine di migliorare l'impatto ambientale della loro valorizzazione energetica in impianti termici e/o cogenerativi di piccola-media taglia, con particolare riferimento alle emissioni di particolato, idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e composti organici volatili (COV).

Sperimentazione di un prototipo per il clean up del biogas a valle del digestore

I risultati conseguiti hanno permesso di valutare la capacità di rimozione di alcuni carboni attivi commerciali (RGM3 e ROZ3) dell'H₂S in miscele simulate umidificate, evidenziando che la presenza di umidità riduce le ottime prestazioni ottenute con gas secchi per RGM3, mentre ROZ3 ha mostrato buone affinità anche con umidità elevate.

Lo studio della purificazione del biogas con sistemi biologici è stato svolto con due ceppi di *Chlorobium limicola*, DSM 245T e 248, in un prototipo di fotobioreattore per il trattamento del biogas dotato di LED monocromatici. La coltivazione in batch di *C. limicola* ha dato buoni risultati in termini di volumi di coltura

realizzati e capacità di abbattimento dell'inquinante da parte dei microrganismi, anche se su tempi decisamente lunghi.



Fotobioreattore con illuminatore a LED

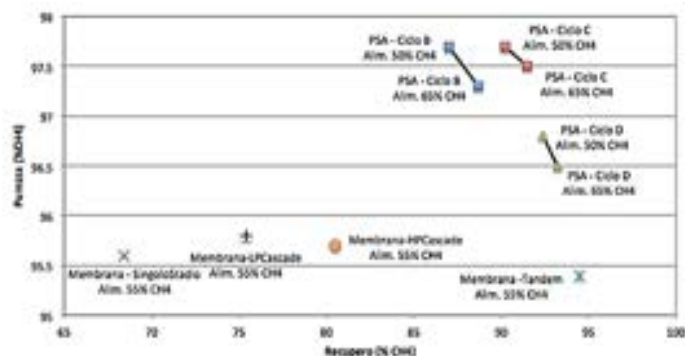
L'attività di modellizzazione del processo di desolfurazione, eseguita per disporre di uno strumento per l'analisi dei dati sperimentali raccolti e per la corretta progettazione di un'unità di desolfurazione, ha permesso di individuare il modello con le migliori prestazioni, tenendo conto della capacità del modello di descrivere in modo soddisfacente i vari meccanismi di desolfurazione.

La sperimentazione sui carboni attivi ha evidenziato una buona capacità di rimozione dei silossani. I test hanno, tra l'altro, mostrato che l'adsorbimento è di tipo fisico e non varia con il trattamento chimico subito dal carbone, e che la rigenerazione termica a 300 °C è efficace. Lo studio della rimozione di H₂S mediante ossidazione parziale selettiva con catalizzatori V₂O₅/CeO₂ ha evidenziato che il supporto non ha alcuna attività catalitica, mentre buone prestazioni sono state ottenute per due campioni di catalizzatori strutturati a base di vanadio, con una conversione di H₂S superiore al 90% e un'elevata stabilità.

Rimozione della CO₂ da biogas per upgrading a biometano

Per poter valutare meglio le effettive potenzialità della Pressure Swing Adsorption (PSA) è stato implementato un modello di simulazione dinamica, a partire dalla conoscenza dell'equilibrio e della cinetica di adsorbimento dei due componenti da separare (anidride carbonica e metano) sul materiale adsorbente utilizzato, in grado di valutare parametri di performance quali la purezza del biometano prodotto, il recupero di metano, la produttività, i consumi energetici. È stata inoltre confrontata la prestazione di unità di

upgrading con tecnologia PSA con quelle di processi a membrana.



Confronto fra le performance ottenute con processi di upgrading PSA e a membrane con diverse configurazioni di impianto

Test di membrane polimeriche commerciali e sviluppo di membrane innovative

L'impianto pilota è dotato di moduli equipaggiati con membrane polimeriche in PEEK, al fine di ricavare i parametri caratteristici di processo. I test hanno consentito di valutare l'influenza della pressione di alimentazione sul livello di purezza e di recupero del CH_4 presente nella miscela in ingresso.



Cartridge di contenimento del modulo a membrane

È stata studiata una membrana polimerica commerciale, la Matrimid®, che ha discrete potenzialità per la separazione CO_2/CH_4 alle basse e medie pressioni, ma che non è risultata particolarmente interessante per applicazioni nel campo dell'upgrading del biogas a biometano, avendo proprietà simili se non inferiori ad altri materiali utilizzati allo scopo. Membrane polimeriche nano composite, appositamente sviluppate, a base di film polimerici densi isotropici e nanofiller inorganici, sottoposte a test di permeazione dei gas puri e loro miscele hanno mostrato

selettività, fattori di separazione e stabilità soddisfacenti.



Campione di membrana polimerica nanocomposita

Emissioni di inquinanti da impianti di combustione alimentati a biomasse solide

Lo studio condotto sui dispositivi filtranti e catalitici disponibili in commercio per l'applicazione su impianti cogenerativi di combustione a biomasse lignocellulosiche, utilizzabili a valle di sistemi di abbattimento tradizionali, ha evidenziato la possibilità di ridurre ulteriormente gli inquinanti usando specifici catalizzatori su supporti ceramici a nido d'ape, meno costosi di quelli metallici e più idonei a essere catalizzati.

Si è inoltre proceduto a realizzare e provare supporti ceramici utilizzabili per dispositivi catalitici di abbattimento degli inquinanti dai fumi, per evidenziare i possibili effetti di ritenzione del particolato da parte degli stessi supporti e gli eventuali fenomeni di intasamento e investigare la loro capacità di abbattimento delle sostanze inquinanti a temperature inferiori a $200\text{ }^\circ\text{C}$.

Analisi di sistemi di generazione-cogenerazione basati su biomasse

È stata perfezionata la piattaforma web A.I.D.A. il cui fine è valutare la prefattibilità tecnico-economica di impianti di digestione anaerobica e di gassificazione. A.I.D.A. offre un supporto nel valutare, per diverse tipologie di utenti, il pre-dimensionamento di un impianto per la produzione di biogas o syngas e le sue prestazioni energetiche ed economiche in relazione agli incentivi attualmente in essere. È stato completato il database di riferimento, ampliando e collaudando tutte le funzionalità implementate, aggiornandola alle recenti modifiche legislative sugli incentivi per la produzione di elettricità da biomasse.

Gassificazione con acqua in condizioni supercritiche (SCWG)

I risultati ottenuti hanno permesso di verificare una buona corrispondenza sui bilanci di materia rispetto a quanto alimentato nell'intero processo. Sono state condotte prove alimentando il sistema con gusci di mandorle, consentendo di verificare le ripartizioni relative tra le fasi ottenute dall'upgrading idrotermico, la qualità e la composizione del syngas. Sono state valutate le principali caratteristiche dei catalizzatori utili per i processi di gassificazione in condizioni vicine a quelle critiche e supercritiche. Si è infine validato il modello termodinamico ricavato nel corso della precedente annualità, valutando gli effetti della conduzione del processo di gassificazione in condizioni supercritiche dei gusci di mandorle e dei fanghi di depurazione.



Apparato sperimentale per trattamenti idrotermici

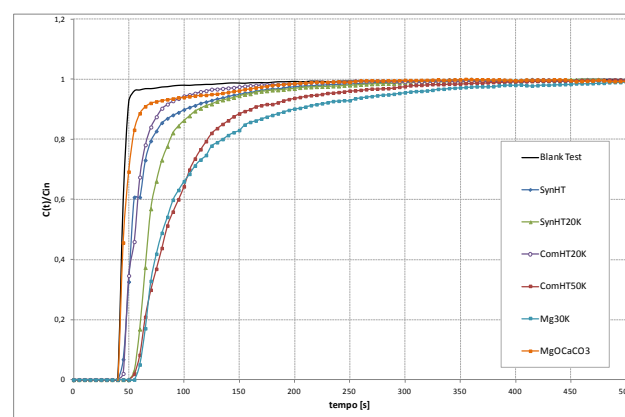
Produzione di gas naturale sintetico SNG mediante processo di gassificazione di biomasse

Sono stati studiati i catalizzatori che contengono, oltre all'elemento tradizionale Ni, anche del Fe, valutando le cinetiche ottenute nei diversi laboratori che attualmente lavorano nell'ambito della catalisi eterogena. È stato

sviluppato un dispositivo per la metanazione del syngas mediante la reazione in fase eterogena tra miscele di gas e un catalizzatore commerciale a base di Ni. Il sistema sarà in grado di operare sia con gas simulati che con gas reali, e consentirà di valutare le prestazioni dei diversi catalizzatori.

Si è focalizzato l'interesse sui processi di Sorption Enhanced Reaction Processes, che migliorano le rese di reazioni come quella di reforming e di water gas shift.

È stato realizzato un micro-reattore a letto fisso per effettuare prove di adsorbimento-desorbimento di CO₂ a media pressione e una temperatura di 400 °C, utilizzando ossidi basici, carbonati e idrotalciti. Particolarmente interessanti sono i risultati delle idrotalciti (HT) impregnate con il carbonato di potassio.



Curve di risposta in test di adsorbimento

Diffusione dei risultati

I risultati delle attività sono stati diffusi in occasione di congressi, workshop e seminari sulle tematiche specifiche, mediante la pubblicazione su articoli sulle riviste nazionali e internazionali del settore e in 20 rapporti tecnici editi dall'ENEA.

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

Progetto 2.1.2: Studi sulla produzione di energia elettrica locale da biomasse e scarti

Referente: Vito Pignatelli, vito.pignatelli@enea.it

Novembre 2012

Documenti tecnici e aggiornamenti disponibili sul sito ENEA: www.enea.it