

Studi sulla produzione elettrica locale da biomasse e scarti

Scenario di riferimento

Le biomasse sono una fonte energetica continua e programmabile, con previsioni di sviluppo importanti in termini assoluti e relativi. La produzione di bioenergia è una realtà diffusa e consolidata, che si avvale di una pluralità di materie prime - sia residuali che provenienti da colture dedicate - e della disponibilità di tecnologie mature e affidabili. La quantità di energia prodotta in Italia nel 2009, pari a 5,77 Mtep, rappresentava il 28% della produzione totale di energia da FER nell'anno, e il 19% circa della potenzialità stimata (30 Mtep/a) che, se

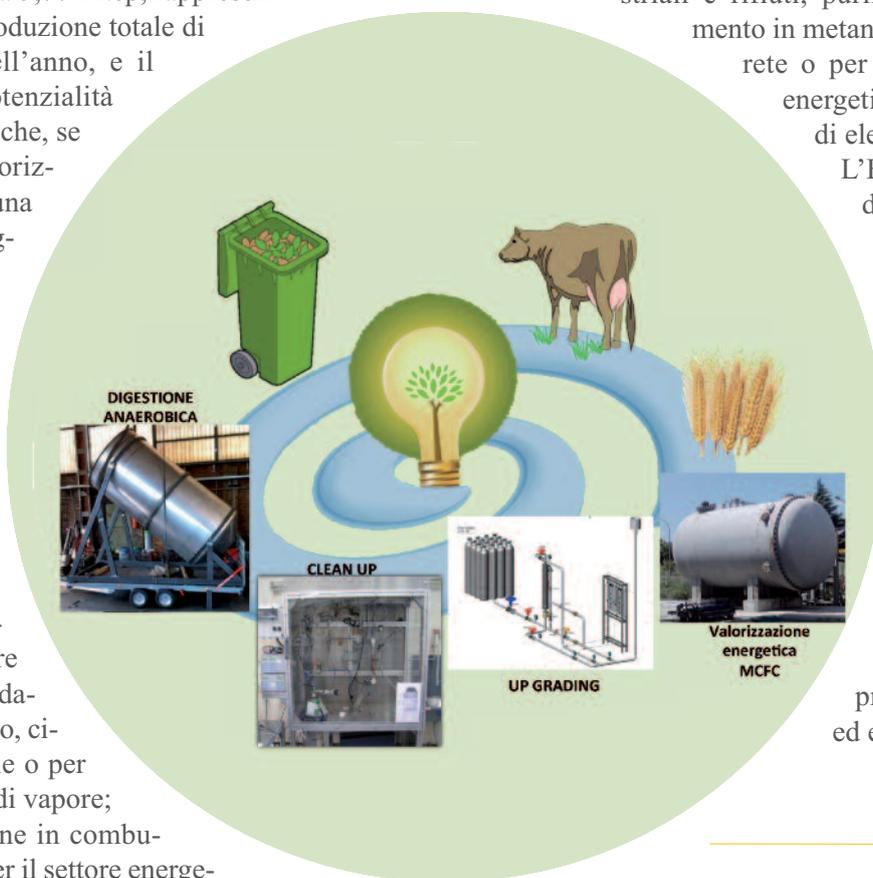
adeguatamente valorizzata, rappresenta una solida base per il raggiungimento degli obiettivi al 2020 del Piano d'azione nazionale per le energie rinnovabili. Le più valide alternative per l'uso energetico delle biomasse sono:

- la combustione diretta con produzione di calore per il riscaldamento domestico, civile e industriale o per la generazione di vapore;
- la trasformazione in combustibili liquidi, per il settore energetico (bioliquidi) o per il settore trasporti (biocarburanti);
- la fermentazione anaerobica di biomasse residuali e l'utilizzo del biogas per la generazione di calore e/o elettricità e/o di bio metano
- la gassificazione – pirogassificazione con produzione di syngas per la generazione di calore e/o elettricità e/o H₂.

Le biomasse, soprattutto quelle derivate da rifiuti, rappresentano ad oggi un'alternativa privilegiata ai combustibili fossili; si tratta di energia prodotta dagli scarti

dell'agricoltura, dell'allevamento e dell'industria, con una trasformazione che, oltre a fornire un reddito addizionale ai settori coinvolti, comporta evidenti vantaggi sia ambientali che energetici. Il presente progetto si inserisce in questo contesto puntando all'ottimizzazione dell'intera catena "Waste to energy": conversione in biogas di biomasse, residui di lavorazioni agroindustriali e rifiuti, purificazione e arricchimento in metano per l'immissione in rete o per l'utilizzo in sistemi energetici per la generazione di elettricità.

L'ENEA supporta l'industria nazionale della bioenergia per metterla in grado di fornire risposte adeguate alla necessità di innovazione tecnologica e di sistema nel campo della produzione di energia elettrica e calore da biomassa. Ha, in tale ambito, coordinato programmi nazionali ed europei.



Obiettivi

L'obiettivo generale del progetto ha riguardato lo sviluppo e l'ottimizzazione di sistemi integrati per la valorizzazione energetica delle biomasse residuali basati sui seguenti sottosistemi: unità di produzione di biogas o syngas (sia digestori anaerobici che gassificatori), clean up e fuel up grading, utilizzo in motori a combustione interna e celle a combustibile ad alta temperatura o attraverso immissione in rete.

Risultati

Le attività condotte per questo tema di ricerca sono il proseguimento delle attività degli anni precedenti con l'aggiunta di nuovi indirizzi volti a completare la tematica della produzione elettrica attraverso le biomasse. Alcune linee di ricerca del precedente triennio sono state completate con la realizzazione di prototipi da laboratorio e con l'avvio di attività sperimentali in scala significativa.

Ottimizzazione della produzione di biogas attraverso processi fermentativi e sviluppo di un prototipo da laboratorio

Lo studio del processo in reattori batch o in semi-continuo ha permesso di ottimizzare i parametri operativi per la produzione di CH_4 da effluenti zootecnici (suini e bovini) e FORSU da raccolta differenziata, di individuare alcune tecniche per la riduzione della concentrazione dell' H_2S nel biogas all'interno del digestore stesso, e di studiare le dinamiche delle popolazioni batteriche al variare delle condizioni ambientali per ottimizzare le rese di conversione della biomassa in termini di metano e/o idrogeno e di bassa presenza di H_2S .

Le sperimentazioni, condotte simulando le condizioni di alimentazione degli impianti reali, hanno evidenziato come la codigestione migliori notevolmente le rese energetiche di alcune biomasse con un contenuto energetico povero come i liquami suinicoli, e assicuri una maggiore stabilità del processo per i substrati più complessi.

Come aspetto innovativo è stato poi introdotto un primo stadio di digestione dedicato alla produzione di idrogeno da FORSU. Tale scelta: migliora le caratteristiche qualitative del materiale con cui alimentare il reattore metanigeno, permettendo in tal modo di raggiungere produzioni specifiche di metano maggiori rispetto a quelle ottenibili in un processo a singolo stadio; permette di ridurre la formazione di H_2S nel biogas; non necessita di particolari tecnologie/costi aggiuntivi rispetto ai digestori tradizionali; aggiunge un prodotto di



Impianto pilota di digestione anaerobica

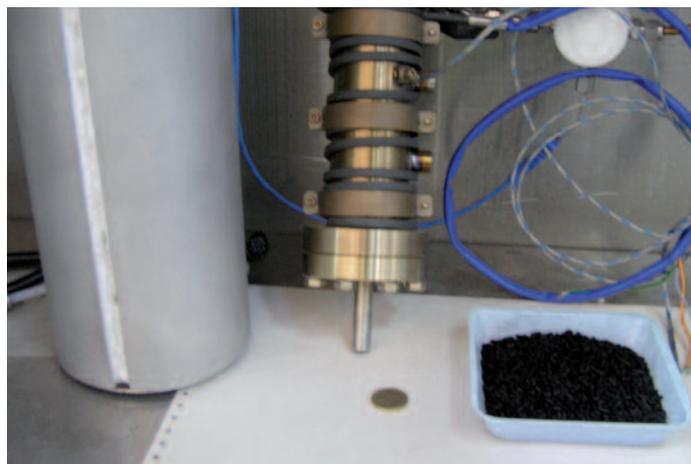
valore, come l' H_2 , le cui rese specifiche sembrano avere buoni margini di miglioramento.

I risultati delle prove hanno consentito il dimensionamento e la progettazione di un impianto pilota di taglia significativa (circa 5 m^3 circa di volume utile) utilizzabile anche per prove in campo a supporto di impianti reali. L'impianto, montato su un rimorchio stradale, è trasportabile e installabile nel sito più opportuno per attività dimostrative; è stato dimensionato per poter alimentare una cella a combustibile a carbonati fusi (MCFC) da 0,5-1 kW, ma potrà essere anche impiegato per produrre elettricità con motori/turbine e per l'upgrading del biogas a biometano.

Clean up del biogas

I materiali selezionati nel corso del precedente anno sono stati testati al variare delle condizioni operative, avvicinandosi il più possibile a quelle reali. Tra i carboni attivi ne è stato individuato uno, funzionalizzato con sali di Cu e Cr, che ha mostrato delle ottime capacità di adsorbimento le quali, ad una definita temperatura, aumentano in presenza di O_2 nella corrente da trattare. Per tale carbone è stato ipotizzato un meccanismo di rimozione, confermato da analisi e caratterizzazioni pre e post test. Per gli ossidi metallici lo studio è stato rivolto all'individuazione dei parametri cinetici, nella reazione di ossidazione selettiva. Sono stati studiati inoltre l'effetto competitivo di adsorbimento dovuto alla presenza della CO_2 e il comportamento di una miscela simulante il biogas. Anche in questo caso è stato individuato il materiale che mostra la maggiore selettività verso l'abbattimento dell' H_2S . Il comportamento degli stessi materiali individuati per la rimozione dell' H_2S è stato studiato anche in presenza di siloxani.

Sulla base dei risultati sperimentali ottenuti è stato progettato e realizzato un prototipo, in scala da banco, per la purificazione di una corrente di biogas in grado di alimentare una MCFC da 1 kW.



Prototipo per purificazione di una corrente di biogas di circa $0,5 \text{ Nm}^3/\text{h}$, contenente 50 ppm di H_2S , per un tempo di funzionamento di circa 1500 ore

Up grading del biogas a biometano per l'immissione in rete

Le attività hanno riguardato lo sviluppo di sistemi per la separazione della CO₂ dal biogas, al fine di arricchire in metano il biogas stesso (upgrading) e raggiungere la composizione richiesta per l'immissione in rete.

Sulla base dell'analisi bibliografica condotta, l'adsorbimento della CO₂ su matrici solide a letto fisso è emerso come il più attraente per la semplicità di gestione e la facilità di automazione; un ampio studio con sviluppo di un modello è stato rivolto proprio a questa tecnologia. Una particolare attenzione è stata rivolta anche verso le tecnologie a membrane che rappresentano una strada promettente soprattutto in applicazioni di piccola taglia (< 1 MW).

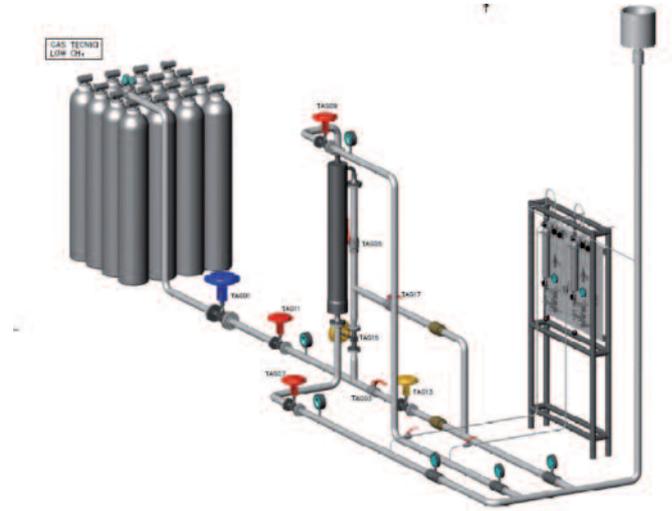
A valle dell'analisi bibliografica è emerso che l'utilizzo delle membrane ceramiche per la separazione della CO₂ dal biogas è ad oggi limitato ad applicazioni di nicchia a livello prototipale di ricerca. Dunque ci si è diretti verso lo studio di nuovi prototipi, avviando lo sviluppo di un processo per la produzione di tali membrane, basato sulla realizzazione di supporti ceramici porosi per tape casting & co-sintering e successiva deposizione per CVD dello strato selettivo. I nuovi materiali sono stati caratterizzati in un circuito di prova realizzato ad hoc. In parallelo all'attività sulle membrane ceramiche, è stato avviato lo studio di membrane polimeriche, sia attraverso la realizzazione di un modello per simulare il loro comportamento al variare delle condizioni di esercizio, che attraverso prove sperimentali di prodotti sia commerciali che sviluppati nell'ambito del programma. È stato progettato e realizzato un impianto per la prova di moduli per portate variabili da 1 a 50 m³/h.

Sistemi di cogenerazione a biogas o syngas: analisi tecnico economiche

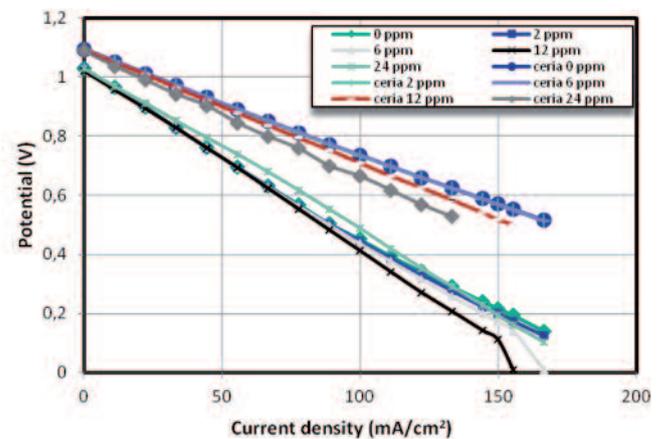
Si sono studiati i sistemi cogenerativi alimentati da biogas o da syngas da gassificazione delle biomasse. È stato completato il software AIDA che consente di analizzare i potenziali produttivi delle biomasse fermentescibili e delle biomasse lignocellulosiche censite dall'Atlante Italiano delle Biomasse, precedentemente sviluppato da ENEA, di proporre un dimensionamento di massima per un impianto di valorizzazione energetica, di fornire infine i parametri economici per la valutazione della fattibilità e della convenienza dell'investimento.

Sviluppo di componenti innovativi per MCFC

Sono stati sviluppati e sperimentati componenti innovativi per celle a combustibile MCFC più resistenti ai contaminanti, come elettrodi di nichel-cromo rivestiti con un sottile strato di ceria o ceria-zirconia. Misure di impedenza elettrochimica, misure di polarizzazione e analisi post test hanno mostrato che gli elettrodi ricoperti



Impianto per prova moduli a membrane polimeriche



Curve di polarizzazione per celle con anodi non rivestiti e per anodi rivestiti di ceria



Impianto per la caratterizzazione di elettrodi con area 3 cm²

hanno prestazioni più elevate dei tradizionali e risultano essere efficaci nel ridurre gli effetti dell'avvelenamento, soprattutto a basse concentrazioni di H₂S, confermando così che il rivestimento sperimentato è una potenziale soluzione per ridurre l'avvelenamento di una MCFC alimentata con biogas.

Produzione di anodi e catodi con processi di formatura in plastico

È stata completata la messa a punto del processo di produzione dei componenti di cella MCC (matrice, anodo e catodo) per via plastica. Tale processo consente di ridurre l'impatto ambientale, in quanto non ci sono solventi organici, e di ridurre i costi di produzione, essendo il processo meno energivoro del tape casting, più rapido e più affidabile per la qualità del prodotto. Il processo è applicabile anche in ambiti nei quali fosse necessario produrre componenti a spessore e porosità controllata (membrane, filtri). Una eventuale fase successiva dovrebbe riguardare la qualificazione del processo attraverso caratterizzazioni chimico fisiche ed elettrochimiche e lo scale up su taglie reali.

Sperimentazione di un sistema da 125 kW gassificatore di biomasse/celle a combustibile

Le attività hanno previsto l'approfondimento delle problematiche connesse alla gassificazione delle biomasse ligno-cellulosiche e con l'utilizzo del syngas prodotto per l'alimentazione di celle a combustibile. È stato sviluppato un modello del gassificatore che è servito per



Impianto MCFC + gassificatore

Area di ricerca: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente
Progetto 2.1.2: Studi sulla produzione elettrica locale da biomasse e scarti
Referente: A. Moreno, angelo.moreno@enea.it

verificare la possibilità di produrre un gas naturale sintetico (SNG) con una qualità pari a quella prevista dal codice SNAM RETE GAS. È stato esaminato, mediante modelli matematici, il comportamento di un sistema integrato gassificatore/cella a combustibile ed è stato completato l'impianto gassificatore/cella da 125 kW, in vista di un'eventuale sperimentazione in condizioni di esercizio dello stesso.

Comunicazione e diffusione dei risultati

I risultati sono stati diffusi attraverso la partecipazione a congressi, la pubblicazione di articoli su riviste nazionali e internazionali di documenti ENEA e mediante l'organizzazione o la partecipazione a workshop dedicati.

Molti lavori saranno presentati a Roma durante la conferenza EFC11 (14-16/12/2011), di cui l'ENEA e l'Università di Perugia sono i promotori. ENEA, CNR e RSE hanno organizzato per il 13/12/2011, come evento collaterale, una giornata dedicata alla presentazione delle attività italiane in ambito idrogeno e celle a combustibile. La giornata sarà dedicata sia alle attività di ENEA, CNR e RSE nell'ambito dell'AdP che a interventi da parte delle industrie italiane attive nel settore H₂ e FC.



Sezione gas tecnici di supporto