

I RISULTATI DEL PROGETTO GOBIOM

Nell'articolo vengono descritti i principali risultati ottenuti nel corso delle attività condotte nel progetto "Ottimizzazione tecnologica della filiera del biometano (GoBioM)". Il progetto cofinanziato dai Fondi europei Por Fesr 2014-2020 della Regione Emilia-Romagna, ha perseguito l'ottimizzazione tecnologica della filiera regionale/nazionale del biometano, per il superamento delle sue principali criticità.



The results of GoBioM -Technological optimization of the biomethane chain

The paper describes the main results obtained during the activities carried out in the project "Technological optimization of the biomethane supply chain (GoBioM)". The project co-funded by the European Regional Development Fund 2014-2020 of the Emilia-Romagna Region, has pursued the technological optimization of the regional/national chain of biomethane, for overcoming its main problems.

Introduzione

Gli obiettivi dell'Unione Europea rispetto alle fonti rinnovabili sono ambiziosi sia per quanto riguarda gli usi energetici che per l'uso nei trasporti. In particolare per il comparto del trasporto, al 2030 dovrà essere prodotto da fonti rinnovabili il 14% della quota di combustibili utilizzati, il 3,5% come biocarburanti avanzati. Il biometano riduce le emissioni complessive di gas serra fino al 60% rispetto a quelle dei combustibili fossili e può, quindi, contribuire in modo significativo al raggiungimento degli obiettivi europei.

La filiera biogas/biometano è fortemente rappresentata in Europa con 17.376 impianti di biogas, per 8.728 MWel installati, e 459 impianti di biometano, per una produzione annua di circa 1,2 miliardi di m³ di biometano (European Biogas Association, 2015). Rispetto al settore del biogas, l'Italia si colloca al quarto posto al mondo dopo Germania, Cina e Stati Uniti con circa 1.920 impianti operativi, di cui circa 1.460 nel settore agricolo e 460 nel settore rifiuti e fanghi di depurazione, per un totale di circa 1.400 MWel installati, di cui poco meno di 1000 nel settore agricolo (fonti GSE e TERNA, 2015). Per il settore del Biometano, però, l'Italia è solo all'inizio, infatti è del 2 marzo 2018 il Decreto Ministeriale che può rappresentare il passaggio fondamentale per lo sviluppo della filiera del biometano nel nostro paese.

Il potenziale di sviluppo della filiera biogas/biometano, in Italia, nel breve/medio termine è consistente: stime del CIB-Consorzio Italiano Biogas identificano un potenziale produttivo al 2030 di 10 miliardi di m³ di biometano, pari a circa il 15% del consumo attuale di gas naturale in Italia e superiore all'attuale produzione nazionale.

Il progetto Gobiom

Sergio Piccinini, CRPA Lab

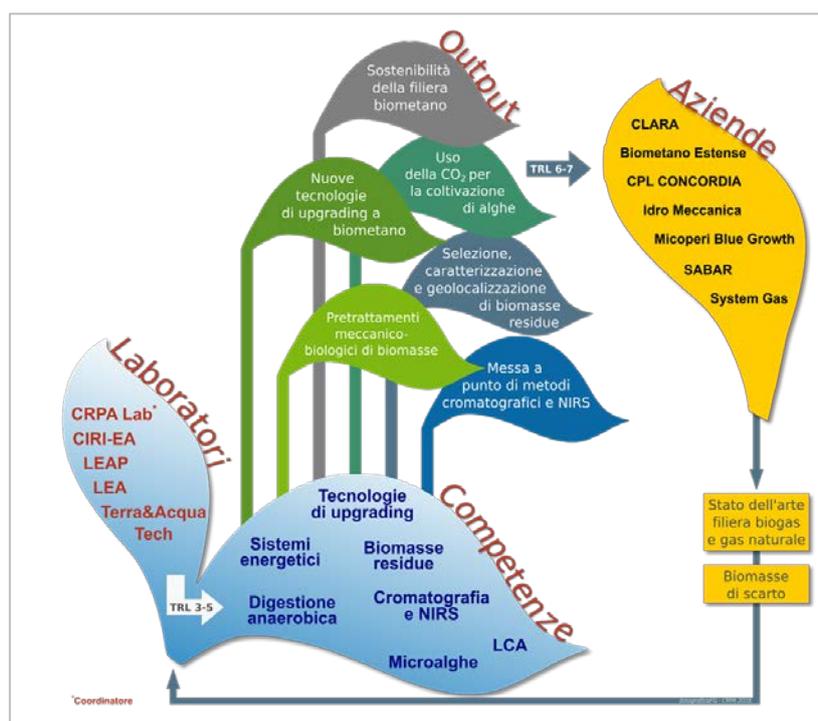
Il progetto GoBioM, cofinanziato dai Fondi europei Por Fesr 2014-2020 della Regione Emilia-Romagna, ha perseguito l'ottimizzazione tecnologica della filiera regionale/nazionale del biometano, per il superamento delle sue principali criticità, che sono:

- la carenza di tecnologia italiana nell'upgrading (raffinazione) del biogas a biometano;

Chimica & Ambiente

- la necessità di utilizzare le biomasse residue locali e l'esigenza di inserire ed integrare gli impianti di biometano nel concetto più ampio di bioraffineria per la valorizzazione di scarti/sottoprodotti organici.

Il progetto è stato coordinato da CRPA Lab con quattro laboratori della Rete Alta Tecnologia dell'Emilia-Romagna: CIRI-EA (Centro Interdipartimentale per la Ricerca Industriale - Energia Ambiente, Università di Bologna), LEAP (Consorzio L.E.A.P. - Laboratorio Energia ed Ambiente Piacenza), LEA (Laboratorio Enea per l'Ambiente), T&A Tech (Terra&AcquaTech, Università di Ferrara). Affiancano i cinque centri di ricerca sette imprese (V. schema sotto).



Gruppo di lavoro Gobiom

Il progetto ha ottenuto i seguenti risultati:

- l'ottimizzazione della tecnologia di upgrading con membrane del biogas a biometano;
- l'individuazione e la definizione della filiera di fornitura dell'alimento (biomassa residuale) agli impianti del biometano;
- l'ottimizzazione del processo di digestione anaerobica sviluppando protocolli analitici per la caratterizzazione delle biomasse e il controllo del processo e un pretrattamento delle biomasse basato sulla cavitazione idrodinamica e l'idrolisi controllata;

- la valorizzazione della CO₂ separata dal CH₄ per la coltivazione di alghe su scala industriale;
- l'analisi della sostenibilità ambientale, sociale e tecnico-economica della filiera del biometano.

GoBioM ha, quindi, dato un contributo a:

- ridurre la dipendenza dalle fonti fossili, sviluppando nuove tecnologie bioenergetiche sostenibili;
- creare competenze specialistiche in un settore della green economy ad alto potenziale di crescita;
- creare opportunità di produzione ed esportazione di prodotti qualificati a favore dell'internazionalizzazione delle imprese.

Sottoprodotti, scarti e rifiuti organici per il biometano

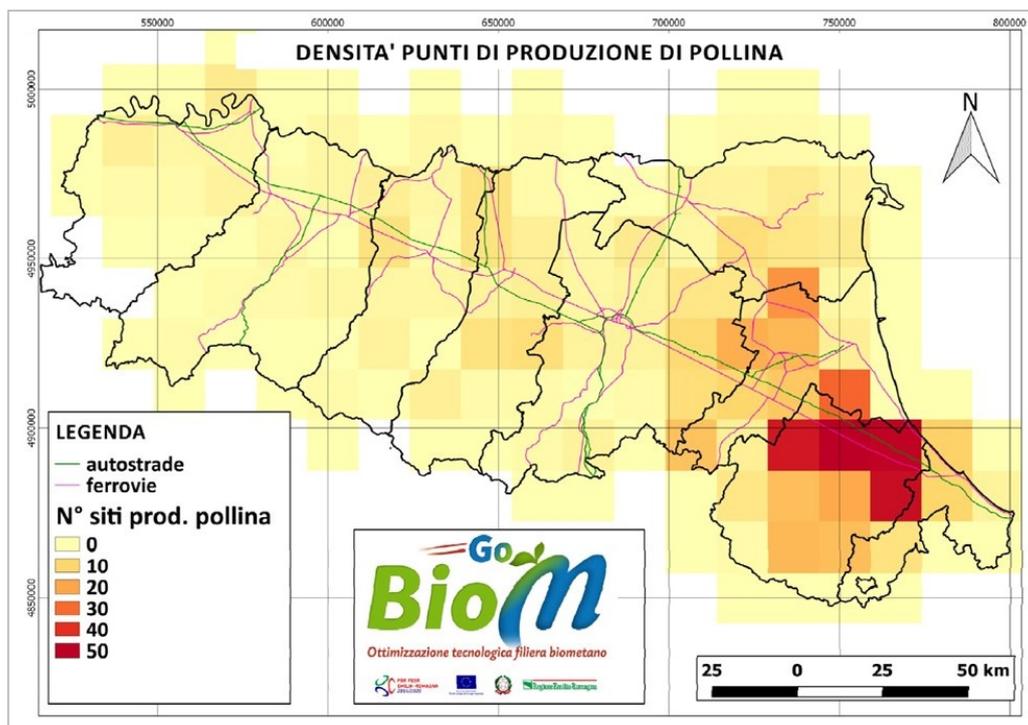
Nicolas Greggio, CIRI EA-UniBO

Mariangela Soldano, CRPA Lab

Il progetto ha stimato, per la regione Emilia-Romagna, i quantitativi di biomasse residuali. I dati per gli anni 2014, 2015 e 2016 sono liberamente consultabili dal sito gobiom.crpa.it.

Complessivamente in regione sono stati stimati dai 24 ai 28 milioni di tonnellate per anno di biomasse residuali tal quali, che significano circa 7 milioni di tonnellate per anno di solidi totali o sostanza secca. Per la porzione di biomasse fermentabili (C/N <30) il quantitativo tal quale si attesta attorno ai 20 milioni di tonnellate per anno, il cui contenuto di solidi totali è circa 3 milioni di tonnellate per anno, mentre quello di solidi volatili o sostanza organica è circa 2,5 milioni di tonnellate per anno. Applicando i rispettivi coefficienti di biometanazione e ipotizzando il recupero totale di questi sottoprodotti/residui si potrebbero produrre più di 700 milioni di Nm³/anno di biometano; in termini di tonnellate di olio equivalente (toe) si tratta di circa 190.000 toe/anno.

Oltre alla stima delle biomasse residuali sono state elaborate anche le mappe di densità dei siti di produzione, per specifica tipologia di residuo, in grado di offrire una visione comprensiva del contesto regionale in cui si possono identificare aree più o meno vocate alla produzione di un determinato residuo.



Stima delle biomasse residuali ed esempio di mappa di densità dei siti di produzione in Emilia-Romagna

Diverse biomasse residuali, recuperate nel territorio regionale, sono state caratterizzate chimicamente e per il potenziale metanigeno (BMP) (Tab. 1).

Tab. 1 - Caratteristiche chimiche e potenziale metanigeno di sottoprodotti, scarti e rifiuti di natura organica: Solidi Totali (ST), Solidi Volatili (SV), Azoto totale (NTK), Frazioni della fibra (NDF, ADF, ADL), potenziale metanigeno (BMP)

BIOMASSE	ST	SV	NTK	NDF	ADF	ADL	BMP	CH ₄
	(%)	(% ST)	(Nm ³ CH ₄ /t SV)	(%)				
Bucchette di pomodoro	35,0	97,1	3,1	57,2	54,4	34,3	217	57
Letame bovino	25,4	78,6	2,4	58,0	43,9	12,7	161	50
Stocchi di mais	88,2	91,8	0,6	82,2	56,4	7,0	263	51
Semi di orticole	93,0	85,6	4,0	19,6	11,0	3,8	382	64
Vinaccia	37,4	94,8	2,0	62,6	49,0	33,6	98	51
Spremuta di FORSU	8,5	75,3	5,2	31,0	25,8	6,4	436	66
Lettiera di tacchino	54,8	82,1	4,4	47,2	36,4	7,5	240	57
Fieno di erba medica	88,5	91,9	-	52,4	43,0	9,4	226	54
Scarti pulizia del pesce	28,9	88,0	8,7	4,8	4,5	3,5	361	75
Materiale organico spiaggiato	34,4	80,4	1,1	55,9	55,6	32,6	34	59
Scarto industria dolciaria	95,4	97,9	0,8	-	-	-	419	58
Scarto pulitura mais	77,6	93,8	2,0	33,0	16,7	4,1	363	52

Sviluppo di nuovi metodi analitici

Michele Ghidotti e Daniele Fabbri, CIRI EA-UniBO

Nell'ambito di Gobiom è stata sviluppata una nuova procedura per l'analisi di acidi grassi volatili (AGV) in campioni di digestato tramite gas cromatografia-spettrometria di massa (GC-MS). Rispetto al metodo convenzionale, gli AGV vengono estratti con un solvente non tossico (dimetil carbonato) che permette di evitare la filtrazione del campione, apportando una semplificazione procedurale, un ridotto rischio di contaminazione incrociata e una migliore prestazione



cromatografica. Il nuovo metodo è stato applicato ad una serie di campioni provenienti da digestori primari e secondari, alimentati con diverse tipologie di biomasse. Con il metodo GC-MS sono stati identificati nuovi potenziali marcatori per differenziare la tipologia di biomassa e le condizioni di processo (acidi aromatici e aliciclici).

Campionamento di biogas/biometano ed analisi di metilsilossani volatili

Un nuovo metodo di rilevamento è stato inoltre sviluppato per i metilsilossani volatili (VMS), che sono contaminanti problematici del biogas. Basato sulla micro-estrazione in fase solida (SPME) ed analisi GC-MS, il metodo è stato applicato con successo all'analisi di VMS di impianti a biogas.

Chimica & Ambiente

Concentrazioni relativamente alte di VMS sono state individuate in biogas derivante dalla digestione anaerobica di fanghi di depurazione e concentrazioni in traccia in biogas da digestione di residui vegetali. L'analisi di campioni di biometano ha permesso di valutare l'efficienza di abbattimento di impianti per la purificazione del biogas grezzo.

Caratterizzazione substrati con NIR

Elena Tamburini, Terra&Acqua Tech-UniFE

Sono stati messi a punto i modelli di calibrazione e validazione per l'analisi dei parametri Potenziale metanigeno (BMP), Solidi Totali (ST) e Solidi Volatili (SV) su campioni di biomasse agricole e agroindustriali di varia origine (135 campioni) e dei parametri ST, SV e AGV su digestati (46 campioni). I risultati ottenuti hanno permesso di concludere che il metodo spettroscopia nel vicino infrarosso (NIR) può essere applicato in modo soddisfacente per la loro caratterizzazione, in tempo reale (pochi secondi) e con un'unica acquisizione, semplicemente sottoponendo il campione alla radiazione nel vicino infrarosso (700-2.500 nm) e senza alcun tipo di pretrattamento o purificazione, con un notevole risparmio di tempo. Al momento, l'errore di misura si attesta intorno al 20-25% per la determinazione di BMP, ST e SV sulle biomasse e intorno al 15% sulla determinazione del contenuto di VFA nei digestati. Questo risultato può essere ulteriormente migliorato inserendo un numero maggiore di campioni nei modelli di calibrazione per ciascun parametro, per aumentarne la rappresentatività e la variabilità.



*Caratterizzazione di biomasse con spettroscopia nel vicino infrarosso.
Alcune delle biomasse residue analizzate*

Tecnologie di pretrattamento biomasse per favorire la metanogenesi

Mirco Garuti e Claudio Fabbri, CRPA Lab

Antonio Giuliano e Luigi Petta, LEA-ENEA

Le attività di ricerca sono state impostate nell'ottica di fornire soluzioni applicabili alla valorizzazione energetica di biomasse di scarto avviabili a digestione anaerobica e disponibili in Emilia-Romagna, ma caratterizzate da un basso grado di biodegradabilità anaerobica.

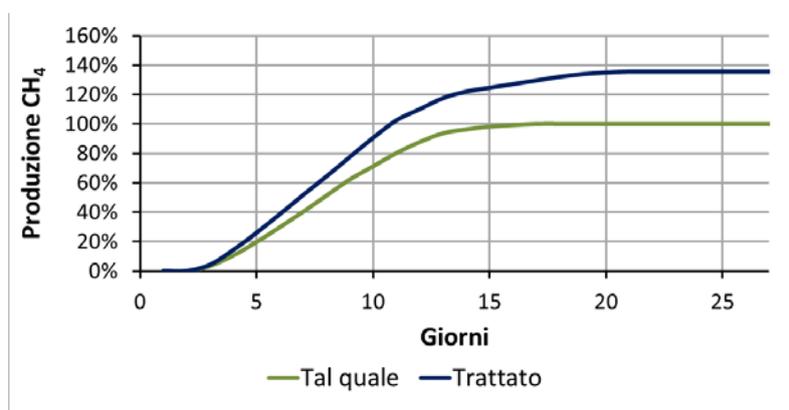
Chimica & Ambiente

Una prima analisi condotta in campo ha portato alla verifica delle prestazioni di diverse tecnologie di pretrattamento applicate in scala reale, evidenziando che i pretrattamenti di natura meccanica sono in grado di aumentare la superficie specifica delle biomasse fino al 50%, favorendo il contatto con la flora batterica all'interno del digestore; questo però non sempre si traduce in una maggiore produzione di biometano, in particolare con biomasse con già elevata digeribilità anaerobica.

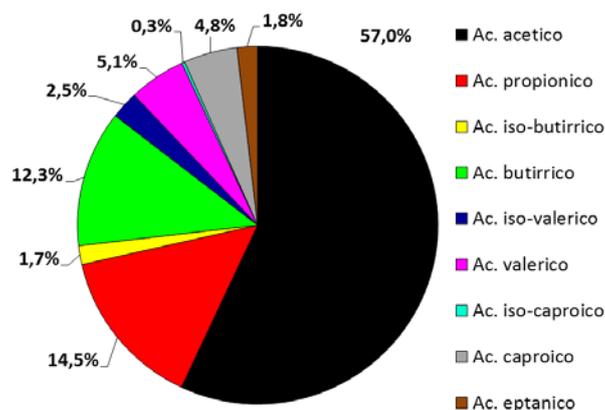
La fase di sviluppo sperimentale ha visto l'implementazione di una linea di pretrattamento meccanico-biologico costituita da un'unità di idrolisi biologica mesofila accoppiata alla cavitazione idrodinamica. È stato effettuato lo *scale-up* dalla scala di laboratorio (12 litri) a pilota industriale (250 litri), che ha confermato la fattibilità del processo anche su matrici organiche fibrose difficilmente impiegabili tal quali, individuando i parametri gestionali in grado di garantire il miglior funzionamento della successiva fase di metanogenesi: Carico Organico Volumetrico (COV) >12 kg SV/(m³·g); Tempo di ritenzione idraulica (HRT) di 5-6 giorni; pH tra 5-6.

La linea di pretrattamento si è rivelata in grado di assicurare un flusso omogeneo in ingresso alla fase di metanogenesi sia in termini granulometrici che di contenuto di acidi grassi volatili, indipendentemente dalla tipologia di biomassa impiegata. Inoltre, il riscontro di concentrazioni di intermedi metabolici a valle dell'unità idrolisi (l'acido acetico costituisce il 45-70% degli acidi grassi totali) apre la strada allo sviluppo di processi di valorizzazione di tali biomasse, non solo dal punto di vista energetico, ma anche del recupero di materia in un'ottica di bioeconomia circolare.

Stocchi di mais, buccette di pomodoro, vinacce, residui di lavorazione delle sementi, FORSU, scarti di fieno, lettiera di tacchino sono le principali biomasse utilizzate nell'attività sperimentale. La linea di pretrattamento meccanicobiologico (cavitazione idrodinamica + idrolisi biologica mesofila) mostra un incremento nella produzione di biometano sulle biomasse trattate (dato medio +35% circa) (vedi figura sottostante).



Il materiale idrolizzato in ingresso alla fase di metanogenesi si caratterizza per una ripartizione costante tra gli acidi grassi volatili, in particolare per l'acido acetico (grafico a torta sotto)



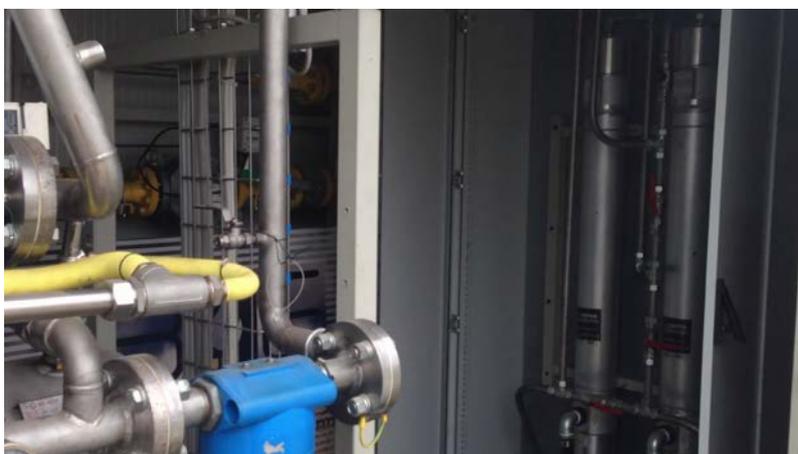
Tecnologia di upgrading con membrane

Nicola Labartino e Sergio Piccinini, CRPA Lab

Il progetto ha valutato la possibilità di introdurre la tecnologia di upgrading a membrana. Un prototipo a membrane, messo a disposizione da Biometano Estense, è stato installato presso l'impianto di biogas dell'azienda agricola Colombaro 2. Il biogas prodotto dalla digestione anaerobica di effluenti suini e bovini e di sottoprodotti vegetali (contenuto medio di CH₄ pari al 53,6% in volume) è stato captato prima dell'ingresso al cogeneratore e mandato al prototipo. Il prototipo lavora grazie ad un compressore che convoglia il biogas in due serie di membrane che, per effetto sterico, separano le molecole di CH₄ e CO₂. Il sistema è stato utilizzato per diverse prove di messa a punto, a diverse pressioni di esercizio. Sono state condotte misure della qualità sia del biometano prodotto che dell'off-gas di risulta.

Una volta messo a punto il sistema, sono state svolte misure certificate sulla qualità del biometano prodotto. La prima prova è stata svolta con un solo modulo di membrane (due membrane in parallelo) e la qualità del biometano non è risultata idonea per l'immissione in rete. Durante le successive prove, con due stadi di separazione (primo stadio costituito da due membrane, secondo stadio da cinque membrane), si sono invece rilevati valori di qualità del

biometano in linea con la normativa tecnica (UNI-TR 115737-2016) e quindi idonei all'immissione nella rete del gas naturale e/o come biocarburante per i veicoli.



Particolare del sistema di upgrading a membrana

Tab. 2 - Qualità del biometano prodotto nei diversi test di upgrading

Punto di campionamento	Pressione (bar)	CH ₄	CO ₂	H ₂	O ₂	N ₂
		(% v/v)	(% v/v)	(% v/v)	(% v/v)	(% v/v)
Uscita dopo uno stadio di upgrading (in parallelo)	16	82,8	13,6	0,001	0,68	2,9
Uscita dopo due stadi di upgrading (in serie)	14	97,5	0,89	<0,001	0,31	1,3
Uscita dopo due stadi di upgrading (in serie)	16	99	0,08	<0,001	0,19	0,72

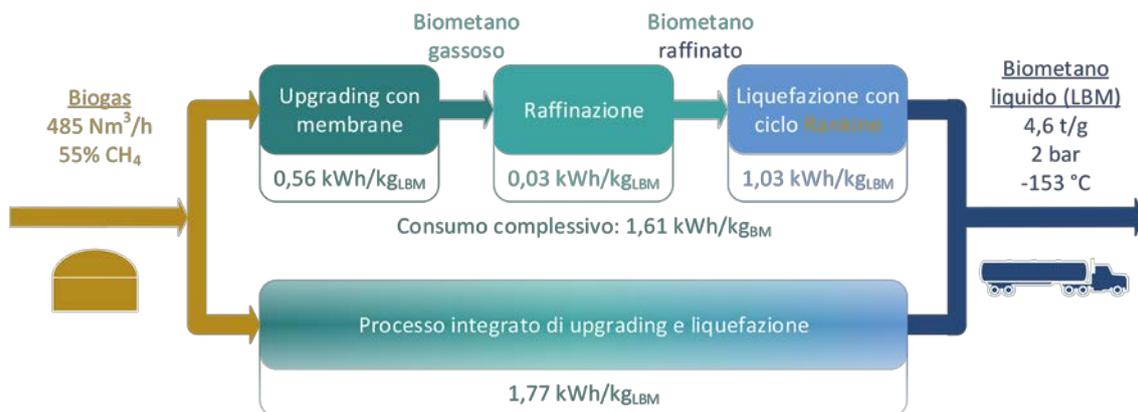
Tecnologie di liquefazione del biometano

Manuele Gatti e Federico Capra, LEAP

Il biometano liquido (LBM) è un biocarburante ad elevata densità energetica (21 MJ/l) e quindi adatto ai mezzi di trasporto pesanti, disponibile a temperature criogeniche prossime a -160 °C. Produrre LBM comporta una spesa del 10-14% dell'energia contenuta nel biogas di partenza, contro il 4-7% per la produzione di biometano gassoso compresso per autotrazione.

LBM può essere ottenuto dal biogas attraverso tre processi sequenziali (upgrading, raffinazione e liquefazione), oppure per mezzo di un unico processo integrato (V. figura seguente).

Chimica & Ambiente



Confronto tra i consumi del processo di upgrading e liquefazione sequenziale con ciclo Rankine a refrigerante misto e il processo integrato basato su upgrading criogenico, per un impianto da 1 MWel equivalente

Sono state analizzate ed ottimizzate le prestazioni di tre cicli frigoriferi per lo step di liquefazione (Rankine inverso, Claude e Brayton inverso). Per un impianto da 4,6 t di LBM al giorno - impianto biogas da 1 MWel - il ciclo più conveniente è il Rankine inverso a refrigerante misto, che garantisce un costo per la sola liquefazione di 7,5 €/GJ (comprensivo di costi operativi e di investimento). Per questi impianti, le economie di scala sono rilevanti: il costo cresce del 30% dimezzando il volume di biometano prodotto, mentre diminuisce del 18% raddoppiandolo. La vaporizzazione di azoto liquido risulta competitiva per costi dell'azoto inferiori a 90 €/t.

L'intero processo sequenziale presenta una spesa energetica (da biogas a LBM) di 1,61 kWh/kgLBM, inferiore del 9% rispetto al processo integrato. È ad ogni modo opportuno proseguire lo sviluppo dei processi integrati, valutando le prestazioni di materiali adsorbenti o membrane per upgrading a bassa temperatura.

Nei cicli frigoriferi analizzati, il compressore del refrigerante risulta essere il componente determinante al fine di ottenere buone prestazioni, affidabilità e costi contenuti.

Utilizzo CO₂ da upgrading per la produzione di alghe

Laura Pezolesi, CIRI EA-UniBO

Negli ultimi anni, in seguito al diffondersi delle problematiche dovute all'incremento della CO₂ atmosferica, e allo stesso tempo delle conoscenze sulle potenzialità che può avere la biomassa algale in campo nutraceutico, cosmetico, o farmaceutico, le microalghe sono state oggetto di studi volti alla loro applicazione in campo industriale; ciò anche in vista del possibile utilizzo per la loro coltivazione di CO₂ reflua derivante da attività antropogeniche, come ad esempio la digestione anaerobica.

Nell'ambito del progetto, ai fini di valutare gli effetti su crescita, produttività e composizione della biomassa algale, è stata effettuata una sperimentazione per la coltivazione in fotobioreattori di *Phaeodactylum tricorutum*, somministrando un gas refluo molto arricchito in CO₂ (>90%), ottenuto da upgrading del biogas a biometano. Si tratta di una diatomea utilizzata in acquacoltura e in campo nutraceutico per la sua capacità di produrre acidi grassi polinsaturi (PUFAs). Lo studio, svolto in collaborazione con l'azienda Micoperi Blue Growth, ha evidenziato come l'utilizzo di CO₂ reflua da upgrading, allo stesso modo di quella tecnica commerciale, sia in grado di potenziare la crescita dell'alga permettendo di ottenere produttività maggiori. Inoltre l'utilizzo della CO₂ reflua è risultato vantaggioso sia in termini di sostenibilità ambientale, poiché in questo modo non vi è il rilascio di CO₂ antropogenica in atmosfera, sia in termini economici,

in quanto vengono meno le spese necessarie per il rifornimento di CO₂ tecnica, altrimenti necessarie in un impianto di coltivazione per microalghe.



Coltivazione di Phaeodactylum tricorneratum in fotobioreattori da 70 litri (foto sopra). Sotto, colture batch (1 litro)



LCA della filiera biometano gassoso e liquido

Giulio Bortoluzzi, LEAP

Serena Righi, CIRI EA-UniBO

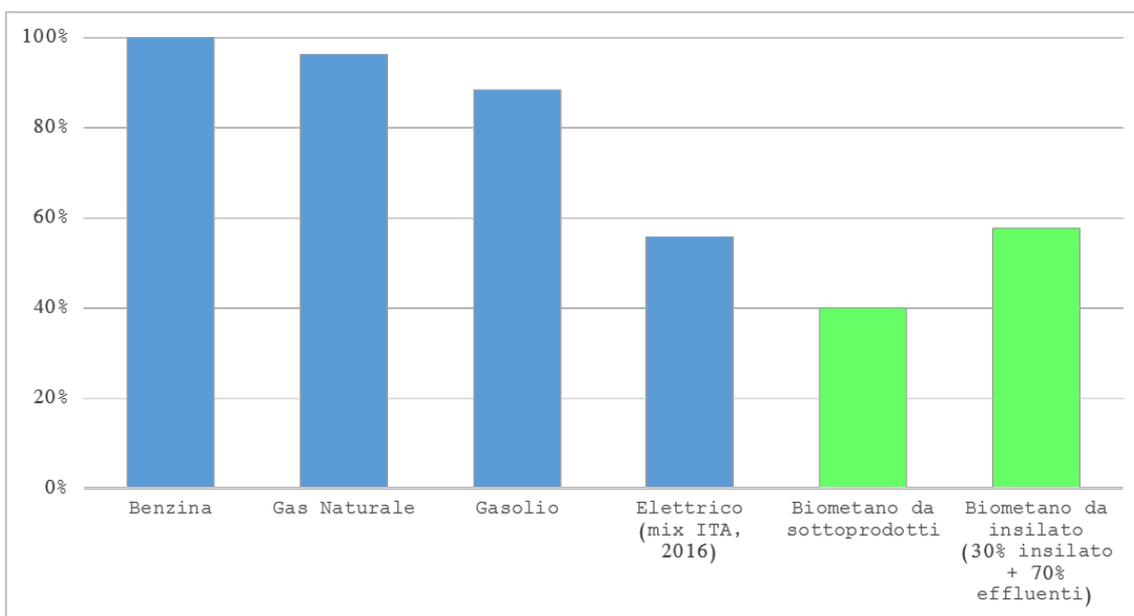
Per quantificare i benefici ambientali associati all'intera filiera di produzione di biometano è stata condotta una valutazione della sua sostenibilità tramite Life Cycle Assessment (LCA). L'utilizzo di biometano gassoso in autovetture (come alternativa ai combustibili fossili) permette di ridurre le emissioni complessive di gas a effetto serra fino al 60% se il biometano è prodotto da un mix di effluenti zootecnici e sottoprodotti agro-industriali.

Nel sistema analizzato l'upgrading avviene con tecnologia a membrane, è presente un motore cogenerativo a biogas per le utenze interne dell'intero impianto e lo stoccaggio del digestato è in vasca coperta. Le emissioni derivano principalmente dalle fasi di digestione anaerobica e stoccaggio del digestato. L'impiego di biometano liquido in veicoli pesanti (autocarri) comporta una diminuzione delle emissioni di gas a effetto serra fino al 44% rispetto all'utilizzo di gasolio fossile.

Infine, allo scopo di valutare i benefici derivanti dall'utilizzo della CO₂ prodotta dal processo di upgrading, sono state confrontate le prestazioni ambientali della coltivazione della specie algale *Phaeodactylum tricorneratum* in ambiente indoor tramite fotobioreattori che sfruttano CO₂ da upgrading con quelle di una coltivazione che utilizza CO₂ commerciale. Il caso con CO₂ da upgrading presenta gli indicatori migliori relativamente a tutte le tipologie di impatto

Chimica & Ambiente

ambientale considerate. L'utilizzo della CO₂ proveniente dal processo di upgrading del biogas a biometano per la coltivazione algale è quindi promettente non solo dal punto di vista tecnico, ma anche dal punto di vista ambientale.



Confronto delle emissioni di gas ad effetto serra per km percorso, di autovettura con diversi tipi di alimentazione (fatte pari al 100% quelle con benzina)

Ringraziamenti: si ringraziano tutti i ricercatori e tecnici dei laboratori partner e delle imprese coinvolti nel progetto e l'Azienda Colombaro 2 che ha ospitato l'impianto pilota di upgrading.