



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Dipartimento di Ingegneria Civile

*Tesi di dottorato
in
Rischio e sostenibilità
nei sistemi dell'ingegneria civile, edile ed ambientale*

XXXI Ciclo (2015-2018)

Sommario

Anna Conte

Tutor
Prof. Vincenzo Belgiorno

Coordinatore
Prof. Fernando Fraternali

Co-Tutor
Prof. Vincenzo Naddeo

Sommario

L'utilizzo diretto delle biomasse per diverse applicazioni industriali sta trasformando i rifiuti solidi organici in una delle materie prime più promettenti per la produzione di prodotti biologici caratterizzati da grande rilevanza sul mercato. La bioconversione dei rifiuti organici in prodotti biochimici a valore aggiunto come strategia di gestione dei rifiuti potrebbe essere un metodo perseguibile per l'attuazione dei principi dell'economia circolare. Questo approccio è una sfida importante da un punto di vista tecnologico, economico e ambientale.

La frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU) è prodotta globalmente in grandi quantità e la sua disponibilità a basso costo la rende attraente per ridurre l'impatto ambientale derivante dell'utilizzo delle risorse fossili. Uno dei vantaggi più rilevanti nella considerazione della gestione sostenibile dei rifiuti organici è la generazione di prodotti a valore aggiunto da flussi di basso valore generati continuamente. La produzione di differenti prodotti richiede un processo di conversione altamente efficiente dei rifiuti organici. Attualmente, la digestione anaerobica (DA) è uno dei trattamenti maggiormente utilizzati per la biodegradazione intensiva della FORSU ed è considerata una tecnologia ormai consolidata per la produzione di energia.

Ad oggi, il principale prodotto derivante dai processi di DA è il biogas, costituito da una miscela di metano e anidride carbonica. Tuttavia, l'idrogeno gassoso (H_2) ed i metaboliti solubili, che sono prodotti intermedi di tale processo ed hanno un valore aggiunto più elevato del biogas, potrebbero potenzialmente essere estratti prima della loro conversione in metano.

Il frazionamento della composizione del substrato (carboidrati, proteine e lipidi) mediante pretrattamenti è un passo necessario per migliorare l'efficienza della bioconversione. Specifici pretrattamenti prima dei processi anaerobici possono essere utilizzati per superare le limitazioni del processo di bioconversione del substrato e per promuovere la modifica della struttura interna della biomassa.

I pretrattamenti chimici con solventi organici sembrano essere uno dei pretrattamenti più efficaci per frazionare i substrati organici nei suoi componenti principali. Questi pretrattamenti sono già stati applicati alla frazione lignocellulosica (FL) dei rifiuti solidi organici per migliorare l'accessibilità enzimatica e per frazionare la biomassa lignocellulosica in cellulosa di elevata purezza, lignina ed emicellulosa, ma la loro applicazione alla FORSU è ancora limitata. Il pretrattamento della FORSU attraverso un solvente organico potrebbe aumentare, mediante il frazionamento del substrato, la massima valorizzazione del suo potenziale per generare sia bioenergia sia sostanze chimiche a valore aggiunto, in modo da garantire il recupero dei componenti principali del substrato in una prospettiva sostenibile. Il solvente organico dovrebbe migliorare l'idrolisi e aumentare il substrato a base di carbonio disponibile.

L'analisi della letteratura scientifica ha evidenziato che le applicazioni con acido formico rappresentano opzioni innovative di pretrattamento chimico della FORSU in grado di convertire il substrato in prodotti chimici intermedi di elevata qualità mediante processi anaerobici. Inoltre, lo sviluppo della ricerca ha recentemente sottolineato che l'ampia gamma di molecole accumulate durante i processi anaerobici rappresenta una nuova opportunità per riciclare i rifiuti in molecole a valore aggiunto, come gli acidi carbossilici a catena corta e gli alcoli.

Il progetto di ricerca ha avuto l'obiettivo di studiare l'applicabilità del pretrattamento di acido formico al fine di proporre usi alternativi e idonei dei rifiuti organici pretrattati. È stata studiata la capacità delle condizioni operative del pretrattamento di migliorare la qualità dei componenti utili del substrato, al fine di valutare la fattibilità tecnica ed economica del pretrattamento per i processi anaerobici. Inoltre, è stata valutata la produzione degli elementi costitutivi dei prodotti chimici a valore aggiunto.

L'attività sperimentale è stata suddivisa in due fasi principali. Nella prima fase sperimentale, sono state studiate, secondo un disegno fattoriale, differenti combinazioni delle diverse condizioni operative del pretrattamento ed è stata valutata e analizzata statisticamente mediante un'analisi della varianza la relazione tra gli effetti del pretrattamento e la composizione della materia organica. Questa fase sperimentale è stata

anche caratterizzata dall'implementazione di test per valutare il potenziale metanigeno (BMP test) dei diversi substrati pretrattati nonché dalla stima dei prodotti metabolici solubili al fine di valutare l'efficacia del pretrattamento, in riferimento sia alla produzione di biometano sia alla conversione della struttura chimica della biomassa solubile.

Nell'ultima fase dell'attività sperimentale, è stata implementata la combinazione del pretrattamento con acido formico e test di fermentazione dei rifiuti organici, al fine di promuovere il simultaneo recupero di differenti flussi a valore aggiunto di sostanze biochimiche.

La prima fase dell'attività di ricerca è stata condotta presso il Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale (SEED) dell'Università degli Studi di Salerno (Italia). Questa parte della ricerca si è concentrata sulla valutazione dell'effetto del pretrattamento dell'acido formico sulla conversione dei rifiuti organici utilizzando substrati di FORSU di diversa composizione. Diverse condizioni operative del pretrattamento sono state applicate ai substrati secondo uno specifico disegno fattoriale. L'effetto individuale e combinato dei parametri operativi sulla solubilizzazione, le proprietà biochimiche e la conversione chimica dei substrati pretrattati sono stati quantificati statisticamente. I risultati hanno mostrato che combinazioni specifiche delle condizioni operative del pretrattamento con acido formico inducono la disintegrazione della biomassa e l'aumento dei composti solubili. Questi effetti si traducono in una migliore biodegradabilità e, di conseguenza, in una maggiore produzione di biometano dai BMP test dei substrati pretrattati. Al contrario, alcune combinazioni di pretrattamento hanno indotto una più forte disintegrazione della biomassa e la formazione di sottoprodotti che sono meno biodegradabili rispetto al substrato pretrattato. Tuttavia, queste combinazioni di pretrattamento prevedevano la produzione di substrati liquidi ricchi di acidi grassi volatili e di altri metaboliti che potrebbero essere utilizzati come base per la produzione di diversi tipi di prodotti biochimici.

La seconda fase dell'attività di ricerca è stata condotta presso il Laboratorio di Biotecnologia Ambientale (LBE) dell'Istituto Nazionale di Ricerca Agronomica (INRA - Francia).

Lo scopo dell'attività di ricerca presso l'LBE è stato quello di valutare la fattibilità della combinazione del pretrattamento con acido formico dei substrati di FORSU con i test di fermentazione al fine di promuovere il recupero di fonti di carbonio e la produzione di idrogeno. È stata, inoltre, effettuata una valutazione dettagliata della produzione di idrogeno. La combinazione del pretrattamento con acido formico ed i test di fermentazione ha promosso la produzione simultanea dell'idrogeno e delle altre biomolecole. Al contrario, quando la produzione di idrogeno è stata inibita da specifiche condizioni di pretrattamento, i risultati hanno mostrato una produzione significativa dei prodotti metabolici come l'acido lattico e l'etanolo, i quali sono caratterizzati da un mercato mondiale attuale più vasto rispetto di quello dell'idrogeno.

I risultati dell'attività sperimentale hanno mostrato che l'applicazione del pretrattamento con acido formico prima dei processi anaerobici ai rifiuti solidi organici consente la produzione simultanea di energia e biomolecole a valore aggiunto.

L'attività di ricerca ha dimostrato che il pretrattamento con acido formico ai rifiuti solidi organici rappresenta un metodo innovativo e promettente per recuperare e aggiungere valore ai rifiuti, possibilmente attraverso un approccio multiprodotto di bioraffineria ambientale.