

Titolo della tesi

Life Cycle Cost Analysis applicata a un impianto di produzione di biocarburanti da micro e macro alghe
Tesi sperimentale

Tipo di Laurea

Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Sessione di Laurea

I

Anno Accademico

2017/2018

Nome Candidato Carlotta Ciocci

Matricola 1448676

Relatore

Prof. Ing. Andrea Cappelli

Correlatori

Ing. Luigi Assacute

Prof. Francesco Romagnoli

SSD Relatore GEO/09

Riassunto

La crescente domanda di energia, la preoccupazione nei confronti di cambiamenti climatici sempre più evidenti e la conseguente continua ricerca di soluzioni alternative ai combustibili fossili, negli ultimi decenni, ha spinto ad indagare nella direzione di fonti rinnovabili competitive e sfruttabili per la produzione di energia e di carburanti.

In tale contesto, le alghe hanno suscitato l'interesse della comunità scientifica per la loro capacità di crescere velocemente anche in caso di condizioni ambientali sfavorevoli, mostrandosi quindi adatte ad un impiego diffuso in vaste aree del pianeta e nutrendosi, attraverso il più classico dei processi biochimici, di diossido di carbonio.

Centrale in questo lavoro è, pertanto, l'impianto per la produzione di biocarburanti da micro e macro alghe, progettato nel lavoro dell'Ing. Assacute in collaborazione con l'Università di Riga, per cui sono stati studiati input e output attraverso bilanci di materia e di energia, e calcolati i relativi impatti attraverso una LCA classica.

Nel presente studio, che trae origine dalla volontà di integrare e completare tale LCA, è stata applicata una Life Cycle Cost Analysis con un approccio *Cradle to Gate*¹ per i biofuels generati: tale modalità operativa è stata assunta quale più significativa, ritenendo di fondamentale importanza la valutazione globale dei costi correlati alla messa in esercizio di un processo come quello presentato in tale contesto, poiché, come si è evidenziato finora, la causa principale della difficoltà nell'affermazione dei biocarburanti di terza generazione sul mercato mondiale, è proprio la loro scarsa competitività economica con i carburanti tradizionali.

Tale metodologia, ormai molto diffusa negli studi di fattibilità economica, si propone l'obiettivo di stimare tutti i costi connessi, sia direttamente che non, dell'intero ciclo di vita dell'impianto e ha consentito un riepilogo delle porzioni di costo più critiche, garantendo così la base per la riduzione delle spese direttamente nella fase iniziale del progetto.

Va ricordato e sottolineato che, avendo condotto l'analisi LCC su un impianto semplificato e integralmente ipotizzato, costruito su dati di letteratura e calcoli matematici, i risultati rappresentano solo una stima approssimativa dei costi reali e quindi l'intero lavoro può essere

¹ Dalla culla al cancello, non considerando quindi l'uso finale dei biocarburanti prodotti.

considerato come uno studio economico preliminare, da intendersi quale punto di partenza di una valutazione più approfondita, nel caso in cui si decidesse di implementare il sistema a scala reale. I costi che sono stati ritenuti rilevanti ai fini della valutazione economica del processo in esame, corrispondono alle spese affrontate per il funzionamento dell'impianto, partendo dunque dalla coltivazione delle microalghe (considerando sia lo scenario degli open pond che dei fotobioreattori tubulari) e dall'acquisto delle macroalghe, e giungendo al lavaggio del biodiesel prodotto e alla purificazione del biogas ottenuto in entrambe le linee.

Nonostante le numerose ipotesi semplificative adottate², grazie a tale analisi, si è dimostrato come gli alti costi di capitale e di esercizio generino un indice di VAN, e i conseguenti flussi di cassa, costantemente negativi, a meno di un aumento dei ricavi del 50%, nel qual caso però, si renderebbe necessario un notevole accrescimento di produzione, correlato a una conseguente maggiorazione di costi operativi e di capitale: nessuno degli scenari ipotizzati si è dimostrato, quindi, essere economicamente vantaggioso ai fini della produzione di biofuels.

A livello pratico inoltre, per quanto la soluzione degli open pond (vasche di accrescimento delle alghe) sia risultata la meno gravosa in termini di investimento di capitale, sono da sottolineare le criticità evidenziate all'interno del presente studio: è risultato infatti un eccessivo quantitativo di energia (e conseguente costo) necessario a disidratare le alghe raccolte e, nonostante l'ingente occupazione di suolo correlata all'istallazione delle vasche per permettere un'adeguata penetrazione della luce, la resa produttiva risulta comunque molto bassa; altresì i sistemi aperti sono passibili di contaminazione da parte di batteri e di diversi ceppi microalgali concorrenti e in più, vulnerabili alle fluttuazioni meteorologiche e all'evaporazione dell'acqua.

L'analisi svolta ha dunque chiaramente dimostrato l'insostenibilità economica della costruzione ex novo di un impianto di coltivazione e lavorazione algale per la produzione di biocombustibili.

Risulta chiaro che la riuscita economica di questo tipo di processo, da una parte, è strettamente legata allo sviluppo di tecnologie avanzate che mirino a ottimizzare integralmente il sistema, ma dall'altra è anche subordinato alla crescita del mercato dei sotto-prodotti legati alla produzione delle alghe e soprattutto, è necessariamente dipendente da misure di sostegno normativo e incentivi fiscali.

Le elevate velocità di crescita osservate nei letti naturali, inoltre, non appaiono riproducibili in impianti artificiali applicati in mare, ed è stato anche proposto di creare una struttura artificiale in funi, con costi medio bassi, per assicurare un costante apporto di materia prima alla bioraffineria e di raccogliere le alghe presenti in natura, conseguenza primaria dell'eutrofizzazione. Anche questa alternativa però si è rivelata essere di difficile realizzazione: l'insostenibilità operativa della coltura di macroalghe in mare, viene esplicita e discussa all'interno del report finale del progetto B4B, avvalorata dalle enormi difficoltà incontrate nella gestione del sistema di coltivazione delle alghe realizzate per il progetto nella baia di Augusta.

² In primis sono state considerate condizioni di esercizio in stato stazionario, mentre è evidente che il funzionamento di un impianto a microalghe sia intrinsecamente dinamico: la variabilità dell'intensità luminosa e del clima, associato al ciclo giorno-notte e stagionale, rende infatti non costante nel corso dell'anno solare la produzione netta di biomassa, che nel caso in esame è stata invece assunta costante e pari ad un valore medio giornaliero; in secundis, con il fine di limitare notevolmente i costi delle *utilities* necessarie al funzionamento dell'impianto, è stato scelto di riciclare nelle vasche una parte dell'anidride carbonica prodotta dai processi di fermentazione delle macroalghe e reimmettere il metanolo e l'acqua ottenuti nella fase di distillazione, il primo nell'unità di transesterificazione, e la seconda, non essendo pura, a monte dello step di digestione anaerobica; inoltre, buona parte del digestato solido derivante dalla fase di digestione anaerobica delle macroalghe, viene reimpresso nelle vasche di coltivazione delle microalghe in modo da fornire parte dell'apporto di nutrienti richiesti per la crescita della biomassa, evitandone i costi di smaltimento; in ultimo è stata adottata l'ipotesi più sostenibile di effettuare la raccolta di macroalghe nella sacca di Goro, con il duplice beneficio del risparmio economico e della bonifica ambientale.

Viene perciò suggerita la necessità di acquisire questa biomassa dall'ambiente con il duplice beneficio, di poter incrementare la produzione di biogas, sostenibile e a basso costo, e contemporaneamente di bonificare le aree infestate.

D'altra parte, dato l'elevato costo di investimento necessario ad avviare e mantenere un simile impianto e l'inevitabile carattere temporale della raccolta di alghe dall'ambiente, è a tal punto consigliabile progettare un sistema in cui venga fornita a monte un'alimentazione mista di altri biowaste, quali scarti dell'industria agro-alimentare, del mercato ittico etc., per rendere il processo assolutamente non dipendente esclusivamente dalle alghe: d'altro canto un approccio simile andrebbe a configurarsi come un'alternativa intelligente ed economica per lo smaltimento degli scarti dell'industria alimentare.

Un'ulteriore ipotesi per valorizzare al massimo le potenzialità di tale biomassa è costituita dall'integrazione di coltivazioni algali con impianti industriali pre-esistenti, la quale potrebbe apportare benefici ad entrambi i sistemi, riducendone l'impatto sull'ambiente e sui costi: è da evidenziare, infatti, la potenzialità della biomassa algale di assorbire la CO₂ e rimuovere gli NO_x dei fumi di combustione, andando a ridurre le emissioni degli impianti esistenti.

In definitiva, la coltivazione esclusiva di biomassa algale rimane una barriera tecnica significativa alla produzione di biocarburanti: il costo di produzione delle materie prime è il fattore più significativo nel determinare il prezzo di vendita del biocarburante. Con ciò si vuole intendere che le alghe hanno sì un potenziale straordinario, ma sicuramente non è sfruttabile come unica ed esclusiva fonte di biomassa, sempre a meno di eccezionali sviluppi tecnologici e ottimizzazioni di processo.