



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI BARI
ALDO MORO



DIPARTIMENTO JONICO IN SISTEMI
GIURIDICI ED ECONOMICI DEL MEDITERRANEO
SOCIETÀ, AMBIENTE, CULTURE
IONIAN DEPARTMENT OF LAW, ECONOMICS
AND ENVIRONMENT

16
2020

QUADERNI DEL DIPARTIMENTO JONICO

ESTRATTO da

I SIMPOSIO DEI DOTTORANDI SUL TEMA
DELLO SVILUPPO SOSTENIBILE

a cura di

Domenico Garofalo, Paolo Pardolesi, Anna Rinaldi

DOMENICO GAROFALO, PAOLO PARDOLESI, ANNA RINALDI

Il DJSGE e la sfida dello sviluppo sostenibile



EDJ ZIONI
SGE

ISBN: 978-88-945030-2-9

DIRETTORE DEL DIPARTIMENTO

Riccardo Pagano

DIRETTORI DEI QUADERNI

Caludia Capozza – Adriana Schiedi – Stefano Vinci

COMITATO SCIENTIFICO

Cesare Amatulli, Massimo Bilancia, Annamaria Bonomo, Maria Teresa Paola Caputi Jambrenghi, Carnimeo Nicolò, Daniela Caterino, Nicola Fortunato, Pamela Martino, Maria Concetta Nanna, Fabrizio Panza, Pietro Alexander Renzulli, Umberto Salinas, Paolo Stefani, Laura Tafaro, Giuseppe Tassielli.

COMITATO DIRETTIVO

Aurelio Arnese, Danila Certosino, Luigi Iacobellis, Ivan Ingravallo, Ignazio Lagrotta, Francesco Moliterni, Paolo Pardolesi, Angela Riccardi, Claudio Sciancalepore, Nicola Triggiani, Antonio Felice Uricchio (in aspettativa per incarico assunto presso l'ANVUR), Umberto Violante

COMITATO DI REDAZIONE

Patrizia Montefusco (Responsabile di redazione)
Federica Monteleone, Danila Certosino,
Dottorandi di ricerca (Francesca Altamura, Michele Calabria, Marco Del Vecchio, Francesca Nardelli, Francesco Scialpi, Andrea Sestino, Pierluca Turnone)

Contatti:

Dipartimento Jonico in Sistemi Giuridici ed Economici del Mediterraneo: Società, Ambiente, Culture

Convento San Francesco – Via Duomo, 259 – 74123 Taranto, Italy

e-mail: quaderni.dipartimentojonico@uniba.it

telefono: + 39 099 372382 • fax: + 39 099 7340595

<https://www.uniba.it/ricerca/dipartimenti/sistemi-giuridici-ed-economici/edizioni-digitali>

16
2020 QUADERNI
DEL DIPARTIMENTO JONICO

I SIMPOSIO DEI DOTTORANDI SUL TEMA
DELLO SVILUPPO SOSTENIBILE

A cura di
DOMENICO GAROFALO, PAOLO PARDOLESI, ANNA RINALDI

Redazione a cura di Patrizia Montefusco



Il presente volume è stato chiuso per la pubblicazione in data 31 ottobre 2020 dall'editore "Dipartimento Jonico in Sistemi giuridici ed economici del Mediterraneo: società, ambiente, culture" dell'Università degli Studi di Bari Aldo Moro e messo in linea sul sito <http://edizionidjsge.uniba.it/i-quaderni> ed è composto di 464 pagine.

isbn 978-88-9450-302-9

REGOLAMENTO DELLE PUBBLICAZIONI DEL DIPARTIMENTO JONICO
IN SISTEMI GIURIDICI ED ECONOMICI DEL MEDITERRANEO:
SOCIETÀ, AMBIENTE, CULTURE – EDJSGE

Art. 1. Collane di pubblicazioni del Dipartimento Jonico

Il Dipartimento Jonico in Sistemi Giuridici ed Economici del Mediterraneo: società, ambiente, culture dell'Università degli Studi di Bari Aldo Moro ha tre distinte collane:

- **Collana del Dipartimento Jonico** (d'ora in poi Collana Cartacea), cartacea, affidata alla pubblicazione di una Casa Editrice individuata con Bando del Dipartimento, ospita lavori monografici, atti congressuali, volumi collettanei.
- **Annali del Dipartimento Jonico**, collana di volumi pubblicata on line dal 2013 sul sito <https://www.uniba.it/ricerca/dipartimenti/sistemi-giuridici-ed-economici>, ospita saggi, ricerche, brevi interventi e recensioni collegati alle attività scientifiche del Dipartimento Jonico. Gli Annali del Dipartimento Jonico hanno cadenza annuale.
- **Quaderni del Dipartimento Jonico**, collana di volumi pubblicata on line sul sito <https://www.uniba.it/ricerca/dipartimenti/sistemi-giuridici-ed-economici>, ospita lavori monografici, atti congressuali, volumi collettanei monotematici.

Art. 2. Coordinamento delle Collane del Dipartimento Jonico

È istituito un Coordinamento delle Collane del Dipartimento Jonico formato dai Direttori delle tre collane che dura in carica per un triennio.

Il Coordinamento è diretto dal Direttore del Dipartimento in qualità di Direttore della Collana cartacea, ed è convocato, secondo le necessità, anche su richiesta dei Direttori delle Collane.

La riunione del Coordinamento a discrezione del Coordinatore può essere allargata anche ai componenti dei Comitati Direttivi delle tre collane dipartimentali.

Il Coordinamento approva o rigetta le proposte di pubblicazione dei volumi delle Collane, dopo l'espletamento delle procedure di referaggio da parte dei Direttori e dei Comitati Direttivi. In caso di referaggi con esito contrastante, il Coordinamento decide sulla pubblicazione del contributo, sentito il parere del Comitato Direttivo della collana interessata. Il Coordinamento provvede alla formazione dei Comitati scientifici e dei Comitati Direttivi secondo le modalità stabilite dagli articoli successivi.

Art. 3. Direttori delle Collane

La Collana Cartacea è diretta d'ufficio dal Direttore del Dipartimento Jonico che può nominare uno o più condirettori scelti tra i membri del Consiglio di Dipartimento che siano in possesso degli stessi requisiti di seguito elencati per i Direttori degli Annali e i dei Quaderni.

Il/i Direttore/i degli Annali del Dipartimento Jonico è/sono eletto/i dal Consiglio di Dipartimento.

Il/i Direttore/i dei Quaderni del Dipartimento Jonico è/sono eletto/i dal Consiglio di Dipartimento.

L'accesso alle cariche di Direttore degli Annali e dei Quaderni è riservato ai docenti in servizio presso il Dipartimento Jonico ed in possesso dei seguenti requisiti:

- professori ordinari in possesso delle mediane ASN richieste per la partecipazione alle commissioni per le abilitazioni nazionali;
- professori associati in possesso delle mediane ASN per il ruolo di professore ordinario;

- RTI in possesso dell'abilitazione per la II o la I fascia, o in possesso delle mediane ASN per partecipare alle abilitazioni per la II fascia;
- RTB in possesso di abilitazione alla II o alla I fascia.

I Direttori ricevono le istanze di pubblicazione secondo le modalità prescritte dagli articoli seguenti, valutano preliminarmente la scientificità della proposta tenendo conto del *curriculum* del proponente e dei contenuti del lavoro e procedono, nel caso di valutazione positiva, ad avviare le procedure di referaggio.

I Direttori presiedono i lavori dei Comitati Scientifici e Direttivi e relazionano periodicamente al Coordinamento.

I Direttori curano che si mantenga l'anonimato dei revisori, conservano tutti gli atti delle procedure di referaggio, informano sull'esito delle stesse gli autori invitandoli, ove richiesto, ad apportare modifiche/integrazioni, decidono, d'intesa con il Coordinamento, la pubblicazione o meno in caso di pareri contrastanti dei *referees*.

Art. 4. Comitati scientifici

Ogni collana ha un proprio comitato scientifico composto dai professori ordinari e associati del Dipartimento Jonico.

Il Consiglio di Dipartimento può deliberare l'inserimento nel Comitato Scientifico di studiosi italiani o esteri non appartenenti al Dipartimento Jonico.

Art. 5. Comitati Direttivi

Ciascuna delle tre Collane ha un Comitato Direttivo formato da professori e ricercatori, afferenti al Dipartimento Jonico, in possesso, per il rispettivo settore disciplinare, delle mediane richieste dall'ASN per il ruolo successivo a quello ricoperto o, se ordinari, per la carica di commissario alle abilitazioni nazionali.

A seguito di invito del Coordinatore delle Collane del Dipartimento Jonico gli interessati presenteranno istanza scritta al Coordinamento che, in base alle indicazioni del Consiglio di Dipartimento, provvederà alla scelta dei componenti e alla loro distribuzione nei tre Comitati Direttivi.

I Comitati Direttivi collaborano con il Direttore in tutte le funzioni indicate nell'art. 3 ed esprimono al Coordinamento il parere sulla pubblicazione nella loro Collana di contributi che hanno avuto referaggi con esiti contrastanti.

Art. 6. Comitato di Redazione

Le tre Collane sono dotate di un Comitato di Redazione unico, composto da ricercatori, dottori di ricerca e dottorandi, afferenti al Dipartimento Jonico e individuati dai Comitati Direttivi, che, sotto la direzione di un Responsabile di Redazione (professore ordinario, associato o ricercatore), nominato dal Coordinamento delle Collane del Dipartimento Jonico, cura la fase di controllo *editing*, preliminare all'espletamento della procedura di referaggio.

Art. 7. Procedura di referaggio

Tutte le Collane del Dipartimento Jonico adottano il sistema di revisione tra pari (*peer review*) con le valutazioni affidate a due esperti della disciplina cui attiene la pubblicazione individuati all'interno dei Comitati Scientifici o Direttivi, oppure, ove ritenuto necessario, all'esterno dei predetti Comitati.

La procedura di referaggio è curata dal Direttore della Collana con l'ausilio dei rispettivi Comitati Direttivi.

Art. 8. Proposta di pubblicazione

La proposta di pubblicazione deve essere indirizzata al Direttore della Collana su modulo scaricabile dal sito <https://www.uniba.it/ricerca/dipartimenti/sistemi-giuridici-ed-economici>, nel quale il proponente dovrà indicare le proprie generalità e sottoscrivere le liberatorie per il trattamento dei dati personali e per l'eventuale circolazione e pubblicazione on-line o cartacea del lavoro.

Se il proponente è uno studioso "non strutturato" presso una università o centro di ricerca italiano o estero, la proposta di pubblicazione dovrà essere accompagnata da una lettera di presentazione del lavoro da parte di un professore ordinario della disciplina cui attiene la pubblicazione proposta.

Alla proposta di pubblicazione il proponente deve allegare il proprio *curriculum vitae et studiorum* (ovvero rinviare a quello già consegnato in occasione di una precedente pubblicazione) e il file del lavoro in due formati, word e pdf.

Per la pubblicazione sulla Collana Cartacea il proponente dovrà indicare i fondi cui attingere per le spese editoriali.

Le proposte di pubblicazione dovranno attenersi scrupolosamente ai criteri editoriali pubblicati sul sito <https://www.uniba.it/ricerca/dipartimenti/sistemi-giuridici-ed-economici/edizioni-digitali/come-pubblicare/criteri-redazionali-1>

Nel caso di non corrispondenza, o di corrispondenza parziale, il Responsabile di Redazione, coadiuvato dal Comitato di Redazione, invierà agli autori le indicazioni cui attenersi per la fase di *editing*.

Nel caso siano previste scadenze, pubblicate sul sito, la proposta dovrà tassativamente entro la data indicata, pena la non ammissibilità della stessa.

INDICE

DOMENICO GAROFALO, PAOLO PARDOLESI, ANNA RINALDI
Il DJSGE e la sfida dello sviluppo sostenibile. pag.9

SEZIONE I

GOAL N. 3 – SALUTE E BENESSERE

DANIELA LAFRATTA
*Tutela della salute e processi organizzativi nella sanità pubblica.
Un approccio al modello just in time nella prospettiva Kaizen.* pag.27

SEZIONE II

GOAL N. 4 – QUALITÀ DELL'ISTRUZIONE

PIERLUCA TURNONE
*L'idea di uomo nell'Agenda ONU 2030: una riflessione
antropologico-educativa* « 43

VALENTINA SAMPIETRO
Cultura, stile di vita sostenibile « 55

ROSATILDE MARGIOTTA
*La parola, strumento per lo sviluppo della democrazia:
traiettorie pedagogiche* « 71

SEZIONE III

GOAL N. 8 – LAVORO DIGNITOSO E CRESCITA ECONOMICA

MICHELE CALABRIA
Covid 19 e paralisi del mercato del lavoro tra sospensione

della condizionalità e blocco dei licenziamenti « 85

MICHELE DELEONARDIS

Lavoro autonomo e lavoro dignitoso nella prospettiva comunitari « 97

FRANCESCA NARDELLI

La questione salariale: il dibattito italiano ed europeo « 109

GIUSEPPE COLELLA

*Promozione del turismo sostenibile in un contesto urbano:
uno studio esplorativo sul caso Taranto capitale di mare* « 121

SEZIONE IV

GOAL N. 9 – IMPRESA, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE

ANNALISA TURI

Come il fisco può agevolare lo sviluppo sostenibile « 141

RAFFAELE MUTO

Bias e Monopoli « 151

SEZIONE V

GOAL N. 10 – RIDURRE LE DISEGUAGLIANZE

FEDERICA STAMERRA

Reddito di cittadinanza e riduzione delle disuguaglianze sociali « 165

STEFANO ROSSI

La disciplina lavoristica nel terzo settore « 175

ALESSIO CARACCILO

*L'accesso degli stranieri extra-UE alle prestazioni di assistenza
sociale* « 191

SONIA MEGGIATO

*Gender mainstreaming: dalle strategie comunitarie alle politiche
locali* « 205

VALERIA CASTELLI
*Quote rosa e nuovo codice di autodisciplina per le società
quotate: l'annosa problematica sociale della disuguaglianza
di genere* « 221

MARCO DEL VECCHIO
*Non tradirai la promessa. Il ruolo dei riti juju nelle esperienze
di tratta delle donne nigeriane* « 227

SEZIONE VI

GOAL N. 11 – CITTÀ E COMUNITÀ SOSTENIBILI

ANGELO RUGGERI
*L'innovazione strategica sostenibile nelle organizzazioni museali:
il caso del MarTa di Taranto* « 241

MAURIZIO MARAGLINO MISCIAGNA
*La co-creazione di valore nel settore pubblico:
spunti di riflessione* « 255

SEZIONE VII

GOAL N. 12 – CONSUMO E PRODUZIONE RESPONSABILI

ANDREA SESTINO
*Gli effetti del benessere sociale percepito sull'intenzione di
acquisto dei prodotti green* « 269

MASSIMO COCOLA
*La non financial disclosure nel processo di transizione
dei modelli organizzativi verso una prospettiva social orientated* « 287

FRANCESCO SCIALPI
*La plastic tax e la sugar tax nella legge di bilancio 2020:
limiti e prospettive* « 299

ROSA DI CAPUA, PETER A. RENZULLI
*Modellizzazione delle emissioni di biogas dalle discariche
di rifiuti solidi urbani: una review della letteratura* « 311

- ROSA DI CAPUA, PETER A. RENZULLI
Life cycle assessment di impianti di produzione di biodiesel da fanghi di depurazione: una review bibliografica « 325
- ROSA DI CAPUA, BRUNO NOTARNICOLA
Life cycle assessment di reattori fotovoltaici UV-C/TiO₂ per il trattamento di acque reflue: una review bibliografica « 337
- ROSA DI CAPUA,
Novità normative in materia di economia circolare e simbiosi industriale « 349

SEZIONE VIII

GOAL N. 13 – LOTTA CONTRO IL CAMBIAMENTO CLIMATICO

- CLAUDIA ILARIA SOFIA LOVASCIO
Polluter pays principle: un dovere verso le nuove generazioni « 363
- ERVINA RRUGA
Lo standard europeo dei green bonds per lo sviluppo della finanza sostenibile: quale opportunità per l'ambiente? « 373
- FRANCESCA ALTAMURA
Gli strumenti di mercato nella lotta al cambiamento climatico: riflessioni in chiave di analisi economica del diritto « 389
- NICOLÒ TREGLIA
Lo stato dell'arte e i profili evolutivi della fiscalità dei prodotti energetici: dai combustibili fossili alle fonti rinnovabili nell'ottica di una transizione ecologica « 403

SEZIONE IX

GOAL N. 16 – PACE, GIUSTIZIA E ISTITUZIONI SOLIDE

- COSIMA ILARIA BUONOCORE
Il possibile contributo dell'arbitrato allo sviluppo sostenibile « 419

MARIO SANTORO

La tutela linguistica della persona offesa dal reato nel processo penale italiano

« 435

DORELLA QUARTO

La progressiva espansione del patrocinio a spese dello Stato in ambito penale: dall'estensione "in deroga" per le vittime vulnerabili alla preclusione per gli enti

« 449

Rosa Di Capua, Pietro A. Renzulli

LIFE CYCLE ASSESSMENT DI IMPIANTI DI PRODUZIONE DI BIODIESEL DA FANGHI DI DEPURAZIONE: UNA *REVIEW* BIBLIOGRAFICA

ABSTRACT

La crescente domanda di biodiesel in tutto il mondo ha spinto gli studiosi ad un'attenta analisi dei benefici ambientali ed economici del processo produttivo. Uno degli obiettivi del Goal 12 dell'Agenda 2030 è quello di promuovere l'efficienza energetica nel settore dei trasporti, puntando su fonti rinnovabili. Particolarmente interessanti sono gli studi scientifici di Life Cycle Assessment utilizzata per confrontare la produzione convenzionale di biodiesel da matrici oleose di prima generazione e la produzione di biodiesel da matrici di scarto come i fanghi di depurazione che rappresenta una soluzione conveniente ed alternativa di smaltimento. Il presente lavoro illustra una review bibliografica degli studi di LCA applicata ai sistemi di produzione di biodiesel da fanghi di depurazione.

The growing demand for biodiesel worldwide has prompted scholars to carefully analyze the environmental and economic benefits of the production process. One of the goals of Goal 12 of the 2030 Agenda is to promote energy efficiency in the transport sector, focusing on renewable sources. Particularly interesting are the scientific studies of Life Cycle Assessment used to compare the conventional biodiesel production from first generation oily matrices and the biodiesel production from waste matrices such as sewage sludges which represents a convenient and alternative disposal solution. This work illustrates a bibliographic review of the LCA studies applied to biodiesel production systems from sewage sludge.

PAROLE CHIAVE

Biodiesel – Fanghi di depurazione – Life Cycle Assessment

Biodiesel - Sewage sludge - Life Cycle Assessment

SOMMARIO: 1. Introduzione. – 2. Materiali e metodi – 3. Sistemi di produzione di biodiesel da fanghi di depurazione - 3.1 Sistema oggetto di studio e definizione dei confini – 3.2 Scelta dell'unità funzionale e problematiche di allocazione - 3.3 Raccolta dei dati di inventario - 3.4 Risultati della valutazione degli impatti ambientali - 4. Conclusioni. – 5. Bibliografia

1. Il biodiesel è un combustibile costituito da esteri monoalchilici di acidi grassi tradizionalmente derivati da oli vegetali o grassi animali. In tutto il mondo si sta assistendo ad aumento senza precedenti della domanda di biodiesel e degli altri combustibili derivati da biomassa rinnovabile (Kargbo, 2010).

Nel rapporto congiunto OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028, nel corso del prossimo decennio, è legittimo attendersi un incremento superiore al 50% nella produzione e nel consumo dei biocarburanti (OECD-FAO, 2018).

La produzione di biodiesel può essere di tipo convenzionale se si parte da matrici oleose dedicate di prima generazione, provenienti da apposite coltivazioni, oppure di seconda generazione se il processo produttivo utilizza matrici di scarto come i “Waste Cooking Oils” o i fanghi di depurazione. Gli oli vegetali o di semi puri sono costosi e costituiscono tra il 70% e l'85% dei costi complessivi della produzione del biodiesel. I fanghi di depurazione, invece, stanno guadagnando terreno negli Stati Uniti e in tutto il mondo come materia prima lipidica per la produzione di biodiesel grazie alla loro abbondanza e alle elevate concentrazioni di lipidi che rendono redditizia la sua produzione (Mondala et al., 2009). I fanghi di depurazione derivanti dal trattamento di acque reflue urbane, infatti, contengono una quantità significativa di materia organica che è costituita prevalentemente da proteine e carboidrati (Yuan et al., 2006). La produzione dei fanghi è abbondante in tutto il mondo, solo negli Stati Uniti, gli impianti di trattamento delle acque reflue producono ogni anno circa 6,2 milioni di tonnellate di fanghi secchi, quantità che dovrebbe aumentare in futuro a causa della crescente urbanizzazione e industrializzazione (Dufreche et al., 2007).

L'impiego dei fanghi di depurazione per la produzione di biodiesel si caratterizza per importanti benefici ambientali ed economici. Dal punto di vista ambientale, tale impiego rappresenta una valida alternativa allo smaltimento in discarica. Dal punto di vista economico, invece, il prezzo di produzione stimato del biodiesel da fanghi è pari a \$ 0,85/L, che è significativamente inferiore all'attuale prezzo medio dei carburanti diesel di petrolio (circa \$ 1,27/L) e del biodiesel di soia, che oscilla in media tra \$ 1,06 e \$ 1,18/L (You et al., 2008).

In letteratura esistono diversi studi di Life Cycle Assessment (LCA) applicata ad impianti di produzione di biodiesel da fanghi di depurazione, alcuni in particolare riportano il confronto dei risultati dello studio dei sistemi di produzione di biodiesel di prima e di seconda generazione. L'obiettivo del presente lavoro è quello di analizzare gli studi di LCA applicata a sistemi di estrazione e trasformazione di lipidi in biodiesel da fanghi di depurazione per comprendere gli approcci metodologici seguiti dagli autori nel condurre tali studi. L'analisi della letteratura sarà di fondamentale importanza per l'attuale studio di LCA di un impianto di estrazione e trasformazione di lipidi in biodiesel nell'ambito del progetto PON Energie per l'Ambiente - TARANTO “Tecnologie e processi per l'Abbattimento di inquinanti e la bonifica di siti contaminati con Recupero di materie prime e produzione di energia Totally green”.

2. La *review* bibliografica degli studi di LCA applicata a sistemi di produzione di biodiesel da fanghi di depurazione ha l'obiettivo di analizzare gli approcci metodologici e le assunzioni dei vari autori per una corretta valutazione degli impatti

ambientali e di comprendere quali sono i vantaggi ambientali del processo produttivo rispetto ai processi di produzione convenzionali.

A tal proposito, nel paragrafo seguente si analizzano nel dettaglio i seguenti aspetti: comprensione del sistema oggetto di studio e definizione dei confini, scelta dell'unità funzionale e problematiche di allocazione, raccolta dei dati di inventario e risultati della valutazione degli impatti ambientali.

L'analisi della letteratura si è basata sulla consultazione di fonti bibliografiche internazionali utilizzando Scopus come motore di ricerca e selezionando gli articoli scientifici attraverso l'utilizzo della seguente combinazione di parole chiave: "Life Cycle Assessment", "lipid extraction", "biodiesel production", "sewage sludges".

3. Il presente paragrafo riporta i diversi aspetti metodologici affrontati in letteratura nel condurre uno studio di LCA di sistemi di produzione di biodiesel da fanghi di depurazione.

Nei sotto paragrafi seguenti si descrivono le scelte metodologiche e le assunzioni prese dagli autori a partire dall'analisi del sistema oggetto di studio fino alla valutazione degli impatti ambientali fondamentale per il confronto con i metodi di produzione convenzionali.

3.1. Lo schema generale di produzione di biodiesel è riportato in figura 3.1. Per evitare l'interferenza nella sintesi del biodiesel, i lipidi vengono solitamente estratti dai fanghi con solventi organici. Le fasi del sistema oggetto di studio includono il pre-trattamento dei fanghi grezzi per un'efficace estrazione dei lipidi, l'estrazione dei lipidi dai fanghi, la produzione del biodiesel e il controllo qualitativo del biodiesel (Siddiquee & Rohani, 2011).

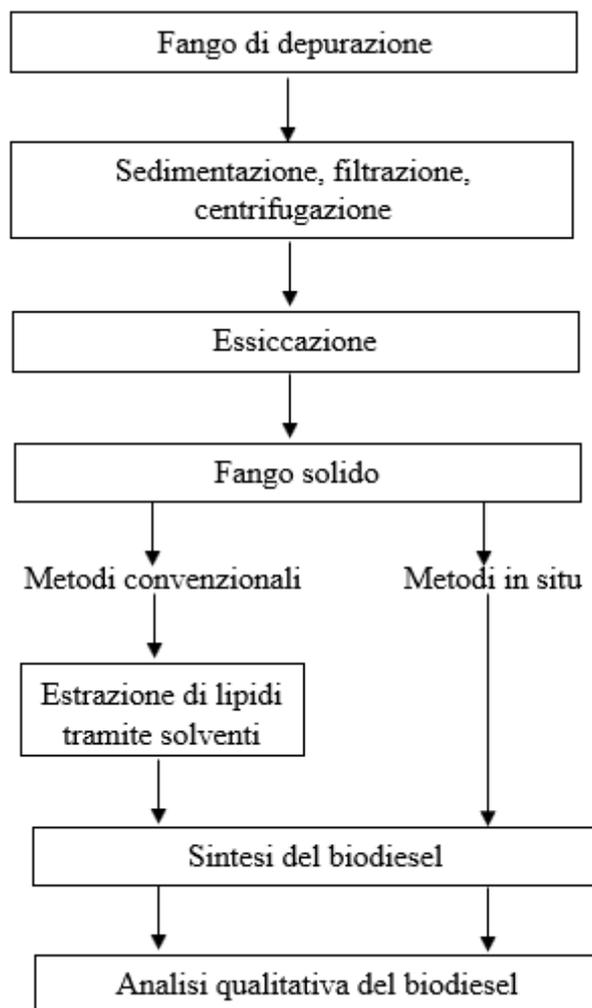


Figura 3.1: Schema generale di produzione di biodiesel

(Fonte: Siddiquee & Rohani, 2011)

Per quanto riguarda il processo di produzione del biodiesel, esistono quattro tecniche principali per la sua produzione: uso diretto e miscelazione di oli grezzi, microemulsione, cracking termico e transesterificazione.

Il metodo più comunemente usato per la produzione di biodiesel è la reazione di transesterificazione (nota anche come alcolisi) in presenza di un catalizzatore. La transesterificazione è una reazione di doppio scambio fra un alcol e un estere. Questo processo avviene in un reattore che solitamente opera in modalità batch, secondo cicli di tipo carico/reazione/svuotamento/work-up e prevede quindi il caricamento dei reagenti (grassi, metanolo e catalizzatore) attraverso un sistema di movimentazione. Al termine del processo chimico, segue lo svuotamento del dispositivo e il successivo work-up della miscela di reazione per isolare il biodiesel prodotto (Pastore, 2018).

Negli studi di LCA applicata a questa tipologia di impianti, l'approccio seguito dagli autori è del tipo cradle-to-grave, in quanto si parte dai processi di pre-trattamento dei fanghi di depurazione, si considerano i processi di estrazione e transesterificazione degli acidi grassi contenente lipidi insieme ai processi di trasporto fino alla gestione dei rifiuti.

In figura 3.2 si riporta il diagramma generale di un sistema di produzione di biodiesel secondo quanto suggerito dalla letteratura (Dufour & Iribarren, 2012). I riquadri tratteggiati sono usati per distinguere quei processi non coinvolti nel caso studio della produzione di biodiesel dai fanghi di depurazione, ossia il caso della produzione di biodiesel da oli vegetali di scarto o grassi animali, i cui confini del sistema includono il rendering, esterificazione catalizzata da acido e transesterificazione alcalinizzata insieme ai necessari processi di trasporto e gestione dei rifiuti.

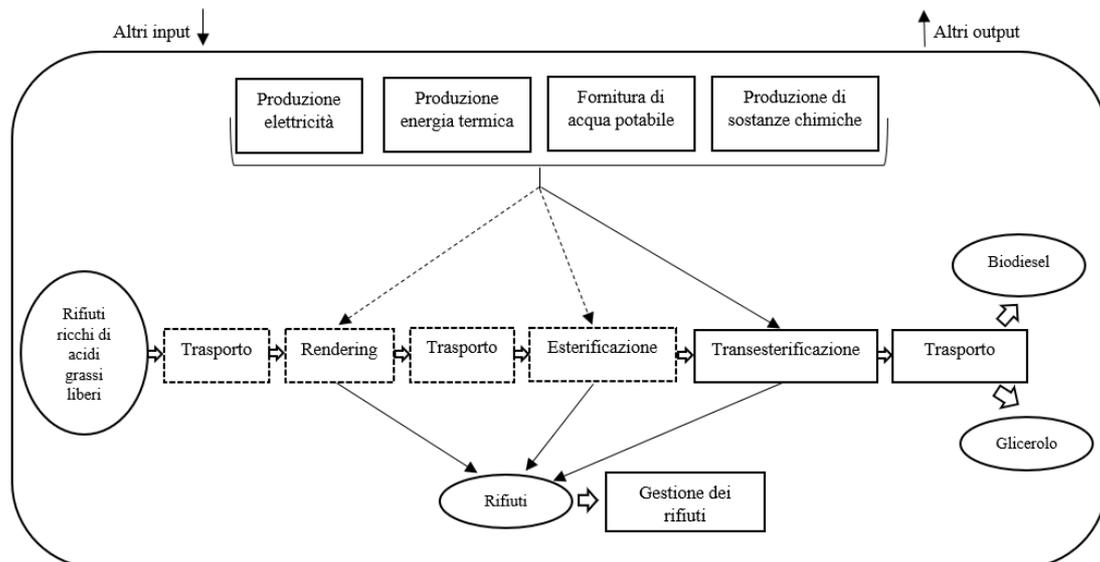


Figura 3.2: Diagramma generale di un sistema di produzione di biodiesel (i riquadri tratteggiati sono usati per distinguere quei processi non coinvolti nel caso studio della produzione di biodiesel dai fanghi di depurazione)

(Dufour & Iribarren, 2012)

3.2. Un'altra problematica da affrontare in uno studio di LCA di sistemi di produzione di biodiesel da fanghi di depurazione riguarda la scelta dell'unità funzionale a cui riferire i dati di inventario da raccogliere. Dall'analisi della letteratura è emerso come l'unità funzionale scelta da diversi autori sia una tonnellata di biodiesel prodotto (Dufour & Iribarren, 2012; Morais et al., 2010).

Per quanto riguarda il problema dell'allocazione, il biodiesel e il glicerolo sono i due prodotti principali che si ottengono alla fine del processo produttivo. Per distribuire gli oneri ambientali tra questi prodotti, gli studi adottano un approccio di allocazione di massa tradizionale (Lopez et al., 2010).

Sebbene l'allocazione economica sia anche una procedura molto comune, questa opzione è poco utilizzata in quanto tende a risentire ampiamente delle variazioni dei valori di mercato.

3.3. I dati di inventario utilizzati negli studi di LCA di sistemi di produzione di biodiesel dai fanghi di depurazione comprendono dati relativi al consumo di risorse, materiali ed energia e alle emissioni in aria, acqua e suolo in uscita dal sistema. I dati chiave per la quantificazione degli input (prodotti chimici, acqua, fabbisogno di energia elettrica e termica) e degli output (prodotti e rifiuti) sono generalmente ricavati dall'attuale letteratura sulla produzione di biodiesel da matrici di scarto. I dati secondari per i processi in background sono generalmente presi dal database Ecoinvent.

L'estrazione dei lipidi è la prima fase necessaria per la produzione del biodiesel dai fanghi provenienti da un impianto di trattamento delle acque reflue. Al momento, sono disponibili diversi metodi per l'estrazione dei lipidi da materiali biologici. La maggior parte di questi metodi usa solventi organici, di solito in miscele (Bligh & Dyer, 1959). Nel lavoro di Boocock et al. (1992), ad esempio, è stato estratto il 12% in peso di lipidi con il metodo di estrazione soxhlet utilizzando 300 ml di solvente (cloroformio o toluene) per 50 g di fanghi secchi e il 17-18% in peso di lipidi mediante ebollizione del solvente utilizzando 600 ml di solvente (cloroformio o toluene) per 100 g di fanghi secchi.

Per quanto riguarda il processo di produzione del biodiesel, la tabella 3.1 raccoglie i principali dati di inventario per la produzione di biodiesel (1 tonnellata) da oli vegetali usati, sego di manzo, grasso di pollame e fanghi di depurazione (Dufour & Iribarren, 2012). Come si osserva dalla tabella, gli input si riferiscono principalmente alla materia prima lipidica, sostanze chimiche (ad esempio acido solforico) nonché i requisiti di energia elettrica e termica. Nel caso della trasformazione dei lipidi dei fanghi di depurazione in biodiesel, la tabella 3.1 fa riferimento al processo convenzionale operato per mezzo di acido solforico, da cui emerge che per produrre una tonnellata di biodiesel dai fanghi siano necessari 10 tonnellate di lipidi, 670 kg di metanolo, 76 kg di acido solforico, 76 kg di esano e poco meno di un kg di acqua. Il processo di estrazione dei lipidi dai fanghi, per produrre una tonnellata di biodiesel, richiede un consumo di energia elettrica di 28 kWh e un consumo di energia termica di 2.543 MJ. Gli output del processo sono rappresentati da 129 kg di glicerolo e 2 tonnellate di fanghi esausti da inviare a trattamento. I dati riportati nella tabella 3.1 sono fondamentali per analizzare il profilo ambientale del sistema di produzione di biodiesel dai fanghi e comparare i risultati con gli altri sistemi alternativi di produzione. Recenti studi stanno testando possibili scenari di trasformazione dei lipidi dei fanghi in biodiesel con processi che impiegano nuovi catalizzatori, come ad esempio il cloruro di alluminio esaidrato, ossidi misti ferro e cobalto, allositi funzionalizzate e silici funzionalizzate (Pastore, 2018).

Tabella 3.1: Principali dati di inventario per la produzione di biodiesel (1 t) da oli vegetali usati, sego di manzo, grasso di pollame e fanghi di depurazione (Dufour & Iribarren, 2012)

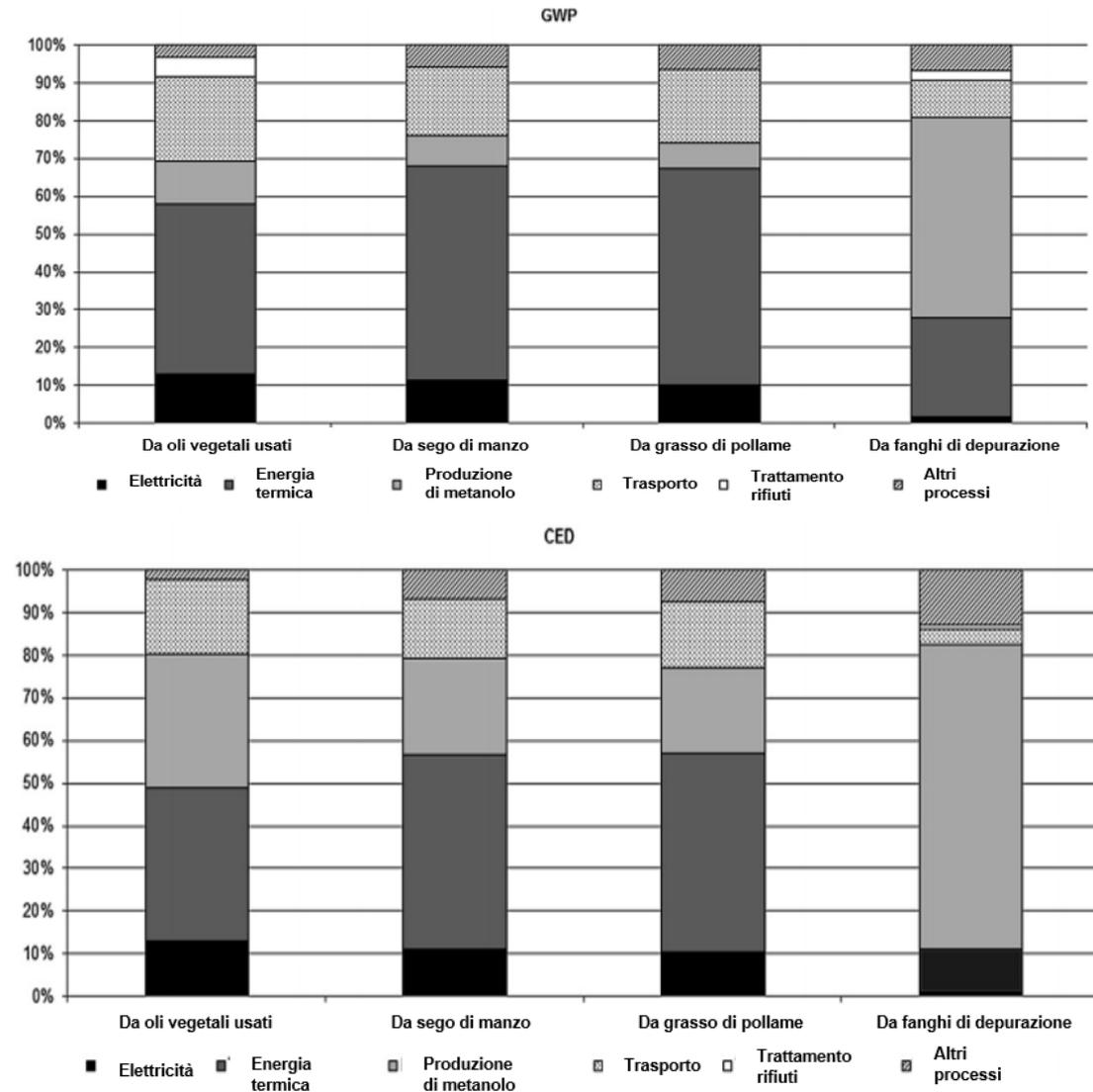
	Produzione biodiesel da:				
Dati di input					
<i>Materiali</i>	Oli vegetali usati	Sego di manzo	Grasso di pollame	Fanghi di depurazione	
Materia prima lipidica	1.205,12	1.015,36	1.013,00	10.000,00	kg
Metanolo	112,67	113,32	99,00	670,18	kg
Acido solforico	0,15	–	–	76,35	kg
Ossido di calcio	0,1	–	–	–	kg
Acqua	56,08	71,32	32,00	0,88	kg
Idrossido di sodio	9,80	4,00	5,00	–	kg
Metossido di sodio	–	11,00	12,00	–	kg
Acido fosforico	7,95	–	–	–	kg
Cloruro di idrogeno	–	6,00	7,00	–	kg
Esano	–	–	–	76,28	kg
<i>Energia</i>					
Energia termica (rendering)	1.628,93	–	–	–	MJ
Energia elettrica (rendering)	133,12	–	–	–	kWh
Energia termica (esterificazione)	222,3	175,94	90,04	–	MJ
Energia elettrica (esterificazione)	31,43	28,93	10,08	–	kWh
Energia termica (transesterificazione)	1.650,84	1.733,48	1.886,96	2.542,95	MJ
Energia elettrica (transesterificazione)	20,34	30,36	28,98	28,47	kWh
<i>Trasporto in camion</i>					
Fino all'impianto di rendering	187,76	–	–	–	t km
Fino all'impianto di biodiesel	291,31	293,44	292,76	–	t km
Prodotti	531,3	538,85	545,30	545,31	t km
Dati di output					
<i>Prodotti</i>					
Biodiesel	1,00	1,00	1,00	1,00	t
Glicerolo	102,21	115,64	109	129,05	kg

<i>Rifiuti a trattamento</i>					
Sali in discarica	16,00	9,00	10,00	–	kg
Rifiuti liquidi pericolosi	30,46	24,00	26,00	–	kg
Rifiuti organici in discarica	85,40	–	–	–	kg
Fanghi	–	–	–	2,00	t

3.4. I risultati della valutazione degli impatti ambientali del ciclo di vita (Life Cycle Impact Assessment) mettono in evidenza il profilo ambientale dei sistemi di produzione di biodiesel dai fanghi e il confronto con le altre alternative di produzione.

Poiché quando si valutano le prestazioni ambientali dei sistemi di bioenergia il riscaldamento globale e gli indicatori energetici sono indicatori di fondamentale importanza, lo studio di Dufour & Iribarren (2012) si concentra sugli indicatori di impatto GWP (Global Warming Potential) e CED (Cumulative Energy Demand). Dalla figura 3.3 che riporta i contributi percentuali a GWP e CED dei processi dei differenti sistemi di produzione di biodiesel emerge che i consumi di energia termica ed elettrica siano le principali fonti di impatto. Pertanto, i miglioramenti ambientali dei sistemi di produzione di biodiesel dovrebbero essere incentrati sulla minimizzazione di questi requisiti energetici indipendentemente dalla materia prima lipidica considerata. Per quanto riguarda la produzione di biodiesel da fanghi di depurazione, il processo di produzione di metanolo rappresenta la principale fonte di impatto ambientale, con percentuali superiori al 50% per GWP e CED. Questo ruolo di primo piano del metanolo è legato alle quantità di metanolo necessarie per la transesterificazione dei fanghi di depurazione a causa dei bassi rendimenti di biodiesel e dell'elevato rapporto metanolo/fanghi per promuovere la reazione.

Figura 3.3: Contributi percentuali a GWP e CED dei processi dei differenti sistemi di produzione di biodiesel (1 t) (Dufour & Iribarren, 2012)



Secondo quanto emerge dalla figura 3.4, la produzione di biodiesel da matrici di scarto rappresenta una buona alternativa sia al diesel convenzionale che al biodiesel di prima generazione in quasi tutte le categorie di impatto ambientale, soprattutto se si guarda al fenomeno dell'effetto serra. Se si considera invece l'indicatore di domanda di energia cumulativa (CED), il profilo ambientale della produzione di biodiesel dai fanghi non è dei migliori, a causa del contributo del processo di produzione di metanolo.

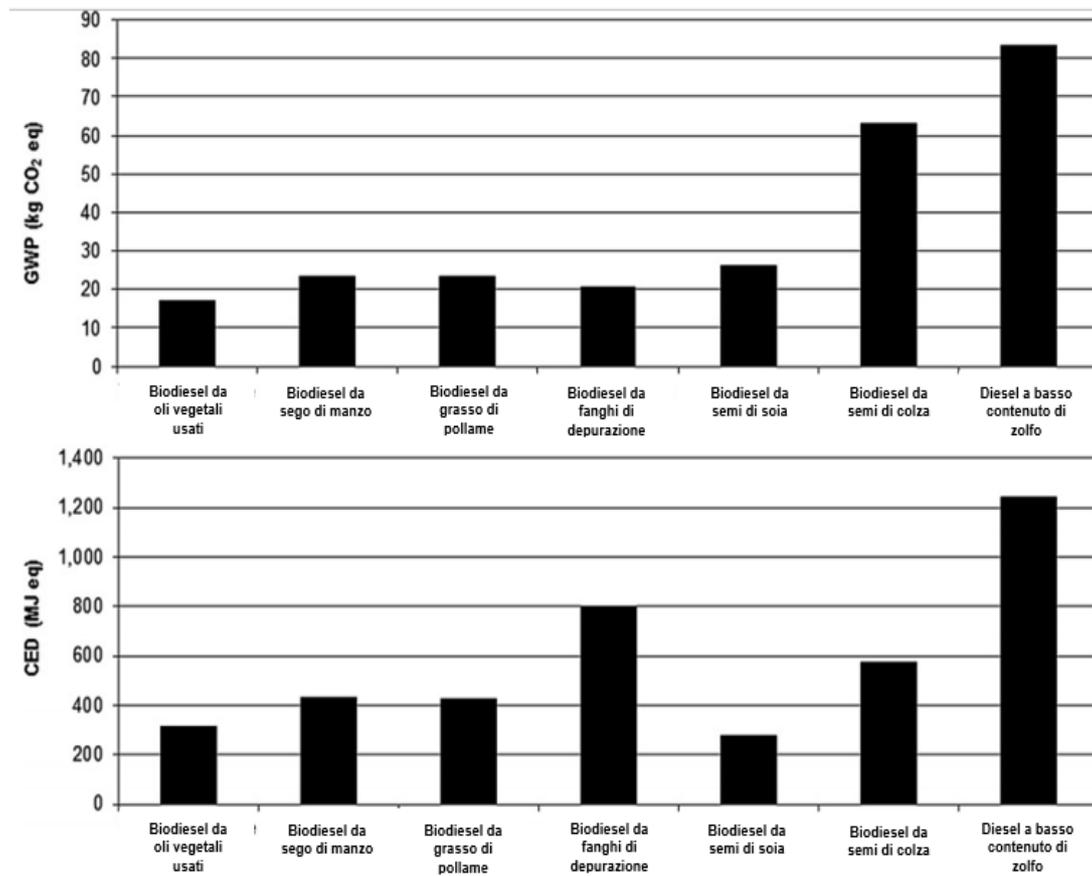


Figura 3.4: GWP e CED per il set di carburanti diesel (fornitura di 1 GJ di energia)

(Dufour & Iribarren, 2012)

4. Il presente lavoro di *review* degli studi di LCA applicata a sistemi di produzione di biodiesel da fanghi di depurazione ha messo in luce come lo strumento di LCA sia uno strumento prezioso per valutare le prestazioni ambientali di tali sistemi e confrontarle con sistemi alternativi di produzione al fine di comprendere la soluzione con i migliori benefici ambientali. In termini di potenziali impatti ambientali, i carburanti biodiesel di seconda generazione, ossia quelli prodotti a partire da materiali di scarto ricchi di acidi grassi liberi sono stati considerati una buona alternativa sia al diesel convenzionale che al biodiesel di prima generazione. Per supportare in concreto l'analisi del ciclo di vita di questi sistemi, la review della letteratura è stata utile per comprendere gli approcci metodologici dei vari autori nel condurre tali studi.

I dati di inventario individuati dalla letteratura per ciascun processo di produzione del biodiesel sono fondamentali per la relativa valutazione degli impatti ambientali. Il processo convenzionale oggi utilizzato per produrre biodiesel dai fanghi di depurazione è quello che utilizza acido solforico che risulta particolarmente impattante per il contributo della fase di produzione del metanolo alla categoria "Domanda di Energia Cumulativa". Il secondo processo responsabile dei principali impatti ambientali di tale

sistema è rappresentato dai consumi di energia, per il quale si rende necessaria la minimizzazione dei fabbisogni energetici.

Bibliografia:

Bligh, E.G., and Dyer, W.J. (1959) A Rapid Method of Total Lipid Extraction and Purification, *Can. J. Biochem. Physiol.* 37, 911–917.

Boocock, D. G., Konar, S. K., Leung, A., & Ly, L. D. (1992). Fuels and chemicals from sewage sludge: 1. The solvent extraction and composition of a lipid from a raw sewage sludge. *Fuel*, 71(11), 1283-1289.

Dufour, J., & Iribarren, D. (2012). Life cycle assessment of biodiesel production from free fatty acid-rich wastes. *Renewable Energy*, 38(1), 155-162.

Dufreche, S., Hernandez, R., French, T., Sparks, D., Zappi, M., & Alley, E. (2007). Extraction of lipids from municipal wastewater plant microorganisms for production of biodiesel. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(2), 181-187.

Kargbo, D. M. (2010). Biodiesel production from municipal sewage sludges. *Energy & Fuels*, 24(5), 2791-2794.

López DE, Mullins JC, Bruce DA (2010). Energy life cycle assessment for the production of biodiesel from rendered lipids in the United States. *Ind Eng Chem Res* 2010;49:2419e32.

Mondala, A., Liang, K., Toghiani, H., Hernandez, R., & French, T. (2009). Biodiesel production by in situ transesterification of municipal primary and secondary sludges. *Bioresource technology*, 100(3), 1203-1210.

Morais S, Mata TM, Martins AA, Pinto GA, Costa CAV (2010). Simulation and life cycle assessment of process design alternatives for biodiesel production from waste vegetable oils. *J Clean Prod* 2010; 18:1251e9.

OECD/FAO (2019). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028*, OECD Publishing, Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2019-en.

Pastore, C. (2018). Schemi processi OR3 per studio preliminare LCA (II parte), Water Research Institute (IRSA-CNR).

Siddiquee, M. N., & Rohani, S. (2011). Lipid extraction and biodiesel production from municipal sewage sludges: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1067-1072.

Yuan, H., Chen, Y., Zhang, H., Su, J., Zhou, Q., Gu, G., (2006). Improved bioproduction of short-chain fatty acids (SCFAs) from excess sludge under alkaline conditions. *Environ. Sci. Technol.* 40, 2025–2029.

You, Y., Shie, J., Chang, C., Huang, S., Pai, C., Yu, Y., Chang, C.H., (2008). Economic cost analysis of biodiesel production: case in soybean oil. *Energy Fuels* 22, 182–189.