

LA FILIERA DEI BIOLIQUIDI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA IN ITALIA



Autori: Tiziana Beltrani¹, Silvia Sbaffoni¹, Antonio Picarelli¹, Gabriella Fiorentino² e Amalia Zucaro²

Revisione critica interna: Giuliana Ansanelli²

¹ Dipartimento Sostenibilità, Divisione Uso efficiente delle risorse e chiusura dei cicli, Lab. Valorizzazione delle risorse nei sistemi produttivi e territoriali

² Dipartimento Sostenibilità, Divisione Uso efficiente delle risorse e chiusura dei cicli, Lab. Tecnologie per il Riuso, il Recupero e la valorizzazione di Rifiuti e Materiali

Data di redazione: gennaio 2023

Progetto Arcadia - approccio ciclo di vita nei contratti pubblici e banca dati italiana LCA per l'uso efficiente delle risorse

Linea di intervento 2: Realizzazione della Banca Dati Italiana LCA

Azione 5: Analisi e raccolta dati per la costruzione della Banca Dati

1 Sommario

1. Sintesi	9
2. Scopo del documento.....	11
3. I bioliquidi	11
4. La filiera dei bioliquidi	15
4.1. La filiera produttiva dei bioliquidi in Italia	16
4.2. Processi di produzione dei bioliquidi	20
4.3. Tipologie di impianti di produzione dei bioliquidi	24
4.4. Resa in produzione dei bioliquidi	30
4.5. Produzione di energia elettrica e termica da bioliquidi.....	32
4.6. Impatti socio-economici della filiera.....	36
4.7. Impatti ambientali e strumenti di sostenibilità della filiera	41
4.7.1. RSPO – Roundtable on Sustainable Palm Oil	44
4.7.2. Roundtable on Responsible Soy Association (RTRS).....	48
4.8. Certificazioni legate alla filiera	49
Gruppo di lavoro	50
5. Ambito di applicazione dello studio.....	51
5.1. Funzione del sistema, unità funzionale e flusso di riferimento.....	52
5.2. Confini del sistema	52
5.3. Assunzioni e giudizi di valore	53
5.4. Gestione della multifunzionalità	54
5.5. Revisione critica	55
5.6. Modellizzazione e metodologia di analisi degli impatti.....	55
5.7. Informazioni ambientali aggiuntive	55
6. Modellazione dei dataset della filiera	55
7. Analisi di inventario	57
7.1. Fonti per il processo di produzione di energia elettrica da bioliquidi	57
7.2. Assunzioni utilizzate nello studio	57
7.3. Descrizione e documentazione processi unitari	57
7.3.1. Calcolo della dimensione dell’impianto alimentato da bioliquidi sostenibili per la produzione di energia elettrica	58

7.3.2. Calcolo dei quantitativi di bioliquidi utilizzati	59
7.3.3. Trasporto	60
7.3.4. Emissioni dall’impianto di produzione elettrica alimentato da bioliquidi sostenibili.....	64
7.4. Sviluppo dei datasets	67
8. Valutazione degli impatti ambientali	68
8.1. Caratterizzazione.....	69
8.2. Normalizzazione	73
8.3. Pesatura	75
8.4. Analisi di sensibilità	76
9. Interpretazione dei risultati	80
9.1. Categorie di impatto rilevanti	80
9.2. Fasi del ciclo di vita e processi rilevanti	81
9.3. Flussi elementari rilevanti	82
10. Conclusioni	82
11. Bibliografia.....	85
Allegato I: Documentazione a supporto	87

Lista delle Figure

Figura 1. Luogo di produzione dei bioliquidi sostenibili consumati in Italia per tipologia di bioliquido nel 2020 (GSE, 2022)	17
Figura 2. Schema di filiera di produzione OVP. Elaborazione ENEA adattata da (Scrosta & Duca, 2010) e da (Berton, et al., 2007)	19
Figura 3. Fasi della filiera dei biocombustibili liquidi (Elaborazione ENEA)	21
Figura 4. Schema di filiera di produzione dei bioliquidi (Elaborazione ENEA)	21
Figura 5 - Schema di processo di estrazione industriale elaborazione da ENEA adattata da (Bordoni, et al., 2013).....	23
Figura 6. Particolare di una pressa per l'estrazione meccanica degli oli vegetali (Bordoni, et al., 2013)	25
Figura 7. Estrattore a percolazione: verticale (1) ed orizzontale (2) (Bordoni, et al., 2013)	27
Figura 8. Estrattore ad immersione (Bordoni, et al., 2013)	27
Figura 9. Schema di processo di degommazione (Bordoni, et al., 2013).....	28
Figura 10. Schema di processo di degommazione e neutralizzazione (Bordoni, et al., 2013).....	29
Figura 11. Distribuzione nazionale geografica percentuale della produzione di energia da bioliquidi (GSE, 2022).....	34
Figura 12 - Schema base di un impianto di produzione combinata di energia elettrica/termica (Bordoni, et al., 2013).....	36
Figura 13. Oli vegetali usati per produrre biodiesel ed elettricità, in Italia (www.oilworld.biz, 2020)	38
Figura 14. Trend nel quantitativo di olio di palma utilizzato per fini energetici ed alimentari, espressi in milioni di tonnellate (www.oilworld.biz, 2020)	39
Figura 15. Trend nel quantitativo di olio di palma utilizzato per fini energetici ed alimentari, espressi in milioni di tonnellate (www.oilworld.biz, 2020)	39
Figura 16. Trend nel quantitativo di olio di palma utilizzato per fini energetici ed alimentari, espressi in milioni di tonnellate (www.oilworld.biz, 2020)	40
Figura 17. Aree del mondo maggiormente interessate alla coltura di semi oleaginosi (Phalan, et al., 2013)	41
Figura 18. RoadMap della teoria del cambiamento (ToC) identificata dall'RSPO (RSPO, 2021)	46
Figura 19. Struttura grafica dell'RSPO P&C	46
Figura 20 - Confini del sistema per i bioliquidi dedicati dalla "culla al cancello"	53
Figura 21- Confini del sistema per gli oli esausti, dal "cancello al cancello" (approccio "zero burden")	53
Figura 22 - Distanza media Malesia-Italia in nave.....	61
Figura 23 – Distanza media Indonesia-Italia in nave.....	62
Figura 24 – Distanza media Extra EU-Italia in nave.....	62
Figura 25 – Distanza media EU-Italia in treno.....	63

Figura 26 - Contributo percentuale di ciascun flusso di input/output agli impatti (caratterizzati), associati alla produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia.	70
Figura 27 - Impatti normalizzati per la produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia.	73
Figura 28 - Impatti pesati per la produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia.	75
Figura 29 - Confronto scenario base e scenario con i proxy dei bioliquidi modificati.....	79

Lista delle Tabelle

Tabella 1. Caratteristiche di interesse dei combustibili.....	13
Tabella 2. Proprietà chimico-fisiche dei principali oli vegetali e del gasolio. Elaborazione ENEA adattata da (Bordoni, et al., 2013)	14
Tabella 3 - Principali Paesi di produzione dei bioliquidi sostenibili e di origine della materia prima. Elaborazione ENEA adattata da (GSE, 2022).....	17
Tabella 4. Caratteristiche agro-energetiche della colza (Bordoni, et al., 2013).....	30
Tabella 5. Caratteristiche agro-energetiche del girasole (Bordoni, et al., 2013).....	30
Tabella 6. Caratteristiche agro-energetiche della soia (Bordoni, et al., 2013).....	30
Tabella 7. Superficie, produzione raccolta e rese di girasole, soia e colza nelle regioni italiane con particolare focus alle regioni marchigiane nell'anno 2009 (Bordoni, et al., 2013).....	31
Tabella 8. Caratteristiche agro-energetiche della palma da olio (Bordoni, et al., 2013).....	32
Tabella 9. Caratteristiche agro-energetiche del jatropha.....	32
Tabella 10. Consumi (ton) annuali di oli prodotti dalle differenti materie prime (GSE, 2022).....	34
Tabella 11. Rendimenti dei gruppi elettrogeni per taglie di potenza (Bordoni, et al., 2013).....	36
Tabella 12 - Definizione dei parametri per il calcolo dei gas serra (All.V, punto C, RED-II)	44
Tabella 13 - Definizione dei parametri utilizzati per il calcolo delle riduzioni delle emissioni di gas serra (All.V, punto C, RED-II)	44
Tabella 14 - Obiettivo prosperità dell'RSPO P&C (2021).	47
Tabella 15. Obiettivo persone dell'RSPO P&C.	47
Tabella 16. Obiettivo pianeta dell'RSPO P&C.....	47
Tabella 17 - Unità funzionale e flusso di riferimento dello studio.....	52
Tabella 18 - Categorie di bioliquidi considerati per la costruzione del dataset e relativo peso percentuale nel mix di bioliquidi utilizzato per la produzione di elettricità.....	56
Tabella 19 - Dati e calcoli per l'impianto di produzione elettrica da bioliquidi sostenibili.....	58
Tabella 20 - Calcolo produzione impianto di produzione elettrica da bioliquidi sostenibili	58
Tabella 21 - Calcoli dei flussi dei processi di produzione di bioliquidi.....	60
Tabella 22 - Calcoli dei flussi dei trasporti per il processo individuato.....	63
Tabella 23 - Emissioni prodotte dall'impianto durante la conversione del bioliquido in elettricità.....	64
Tabella 24 - Inventario dei processi unitari.....	65
Tabella 25 - Elenco dei dataset sviluppati per l'analisi della produzione di 1 kWh di energia elettrica da biogas, in Italia.	67
Tabella 26 - Categorie d'impatto esaminate nel presente studio con le relative unità di misura e abbreviazioni	68
Tabella 27 - Impatti totali caratterizzati, calcolati per 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia (unità funzionale). Valori assoluti.	70

Tabella 28 - Impatti caratterizzati di ciascun processo relativo alla produzione di 1 kWh di energia da bioliquidi, in Italia. Valori assoluti.....	71
Tabella 29 - Impatti caratterizzati, valori totali e di ciascun processo della produzione di 1 kWh di energia elettrica da bioliquidi, in Italia. Valori percentuali.	71
Tabella 30 - Impatti normalizzati per la produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia - valori assoluti, totali e di ciascun processo/flusso.	73
Tabella 31 - Impatti normalizzati per la produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia - valori assoluti, totali e di ciascun processo/flusso.	74
Tabella 32 - Impatti pesati per la produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia: valori totali e per ciascun flusso considerato. Valori assoluti.....	75
Tabella 33 - Impatti pesati per la produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia: valori totali e per ciascun flusso considerato. Valori percentuali.....	76
Tabella 34 - Impatti caratterizzati, confronto tra il contributo totale alla produzione di 1 kWh di energia di bioliquidi in Italia considerando o meno l'input Oil Power Plant.	77
Tabella 35 - Confronto impatti totali caratterizzati per le uniche categorie di impatto che mostrano una variazione nella sostituzione del trasporto su gomma e via treno sul territorio UE	78
Tabella 36 - Analisi di sensibilità per i proxy dei bioliquidi	78
Tabella 37 - Impatti caratterizzati per l'analisi base e quella di sensibilità.	79
Tabella 38 - Processi rilevanti per le categorie più impattate	81
Tabella 39 - Categorie di impatto rilevanti per gli impatti normalizzati e peso percentuale dei trasporti	81

Lista degli Acronimi

Impact category	Unit	Abbreviation
Climate change	kg CO ₂ eq	CC
Ozone depletion	kg CFC11 eq	OD
Ionising radiation	kBq U-235 eq	IR
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	POD
Particulate matter	disease inc.	PM
Human toxicity, non-cancer	CTUh	HTnon-c
Human toxicity, cancer	CTUh	HTc
Acidification	mol H ⁺ eq	AC
Eutrophication, freshwater	kg P eq	EUf
Eutrophication, marine	kg N eq	EUm
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	EUt
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	ECT
Land use	Pt	LU
Water use	m ³ depriv.	WU
Resource use, fossils	MJ	RDf
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	RDm
Climate change - Fossil	kg CO ₂ eq	CCf
Climate change - Biogenic	kg CO ₂ eq	CCb
Climate change - Land use and LU change	kg CO ₂ eq	CClu
Human toxicity, non-cancer - organics	CTUh	HTnon-c-o
Human toxicity, non-cancer - inorganics	CTUh	HTnon-c-i
Human toxicity, non-cancer - metals	CTUh	HTnon-c-m
Human toxicity, cancer - organics	CTUh	HTc-o
Human toxicity, cancer - inorganics	CTUh	HTc-i
Human toxicity, cancer - metals	CTUh	HTc-m
Ecotoxicity, freshwater - organics	CTUe	ECT-o
Ecotoxicity, freshwater - inorganics	CTUe	ECT-i
Ecotoxicity, freshwater - metals	CTUe	ECT-m

1. Sintesi

Il presente documento è stato realizzato nell'ambito del progetto Arcadia - approccio ciclo di vita nei contratti pubblici e banca dati italiana LCA, finanziato dal PON Governance e Capacità Istituzionali 2014-2020, e descrive la costruzione del dataset relativo alla filiera di produzione di energia elettrica da bioliquidi, in Italia, da inserire nel dataset del mix elettrico italiano.

Lo studio parte dalla definizione di bioliquidi, dipanando alcuni dubbi e sovrapposizioni tra quelli che possono essere considerati prodotti energetici simili ma che spesso hanno definizioni, caratteristiche chimico-fisiche ed utilizzi differenti. Nella seconda parte si descrive in dettaglio la filiera produttiva dei bioliquidi in Italia, evidenziando le interazioni tra la produzione nazionale con materie prime coltivate sul territorio italiano e quella derivante dal trattamento di materie prime importate dall'estero in maggior parte dal Sud-Est asiatico. A valle della definizione dei passaggi chiave della filiera produttiva si approfondiscono i processi di produzione dei bioliquidi con il dettaglio dei vari step di processo per l'ottenimento del prodotto desiderato. Si delineano le tipologie di impianti di produzione e le rispettive rese in funzione anche della materia prima di partenza e si descrivono infine i processi di produzione di energia elettrica e termica da bioliquidi nello scenario energetico nazionale.

Nel 2020 le fonti rinnovabili di energia (FER) hanno confermato un ruolo da protagonista nel panorama energetico italiano. Tra queste, la fonte che garantisce il principale contributo alla produzione complessiva di energia elettrica da FER è quella idroelettrica (40,7% del totale) mentre l'utilizzo dei bioliquidi per fini di produzione elettrica ha visto un lieve decremento (-0,2%) rispetto a quelli del 2019. La potenza efficiente lorda installata da impianti alimentati da bioliquidi si attesta a 966 MW quota superiore alla sola fonte geotermica. La produzione lorda di energia elettrica da bioliquidi calcolata nel 2020 è pari a 4,7 TWh su un totale di 116,9 TWh da FER. Nel settore termico l'utilizzo dei bioliquidi è da registrare solo in impianti di cogenerazione (GSE, 2022).

In dettaglio, gli impianti di sola generazione elettrica da fonti rinnovabili, nel 2020, hanno prodotto 107,6 TWh, di cui solo il 2,68% (2,9 TWh) è stato ottenuto dai bioliquidi sostenibili.

L'utilizzo dei bioliquidi è da annoverare anche negli impianti di cogenerazione con 2,3 TWh su con 20,7 TWh (pari all'11 %).

Dal punto di vista del numero di impianti alimentati da bioliquidi, per la produzione elettrica, ne esistono 380, con una potenza installata pari a circa 835.000 kW nel 2019. Si registra un lieve decremento nel 2020; 371 impianti per una potenza di 826.000 kW (GSE, 2022).

La taglia degli impianti presenta perlopiù una concentrazione maggiore nella fascia da 200 kW ad 1 MW (circa 80%), con una piccola quota per potenze minori di 200 kW e maggiori di 50kW (circa 20%).

Dal punto di vista delle fonti da cui si producono tali combustibili, nel 2020 l'olio di palma si conferma come la tipologia di bioliquido maggiormente utilizzato, con 602.694 tonnellate consumate (60% sul totale), in diminuzione del 8,5% rispetto al 2019. A seguire, la seconda categoria di bioliquidi più consumati sono gli oli e grassi animali, il cui impiego (161.899 tonnellate) registra una crescita del 18% rispetto all'anno precedente. Inoltre, si rileva un aumento simile, rispetto al 2019 anche nei consumi di olio di soia (+8,1%) e di olio di mais, mentre si riduce il consumo di olio di colza.

I bioliquidi, oggetto di questo studio, sono solo quelli che rispettano i criteri di sostenibilità stabiliti dal D.Lgs. 31 Marzo 2011, n.55 (riportanti i medesimi criteri della Direttiva 2009/28/CE) (Decreto-Legge 31.03.11, 2011). Tali bioliquidi sono appunto definiti come sostenibili.

In tale documento non sono tralasciati gli aspetti degli impatti socio-economici ed ambientali della filiera. Il primo approfondimento è fatto superando i confini nazionali ed ampliando lo scenario al mercato globale. Quest'ultimo passaggio è reso necessario al fine di affrontare lo studio in maniera globale e tenendo presenti le realtà internazionali (RSPO – Roundtable on Sustainable Palm Oil e RTRS – Roundtable on Responsible Soy Association) che operano al fine di garantire la sostenibilità delle filiere produttive ed evitare che gli impatti socio-economici delle stesse aggravino condizioni di vita di zone del mondo dove la coltivazione di materie prime dal quale si producono i bioliquidi è maggioritaria. In ultimo gli impatti ambientali e gli strumenti di sostenibilità sono analizzati al fine di fornire un quadro completo dello scenario nazionale.

Introdotta lo scenario globale della filiera produttiva dei bioliquidi in Italia, si è definito l'ambito di applicazione dello studio identificando i bioliquidi utilizzati in Italia a fini energetici. Sono stati individuati i bioliquidi di seguito elencati:

- Olio di semi di palma;
- Olio di semi di girasole;
- Olio di semi di soia;
- Olio di semi di mais;
- Olio di semi di colza.
- Oli alimentari esausti (UCO);
- Derivati da oli vegetali;
- Oli e grassi animali.

Definita inoltre l'unità funzionale del lavoro (1 Kwh elettrico) sono stati delineati i confini del modello impostato, imposte le necessarie assunzioni, debitamente motivate, ed effettuata l'analisi di inventario.

In particolare, in quest'ultima sezione sono stati dettagliati i calcoli relativi a:

- dimensioni dell'impianto di produzione elettrica prescelto nel modello;
- quantitativi di bioliquidi utilizzati;
- trasporti;
- emissioni

Nella successiva sezione, sono state effettuate le valutazioni sugli impatti per ciascuna categoria sulla base dei risultati delle simulazioni effettuate sul modello identificato. Sono stati analizzati gli impatti caratterizzati, normalizzati e pesati.

È stata inoltre effettuata una opportuna analisi di sensibilità approfondendo alcune assunzioni fatte in termini di proxy dei flussi prescelti, scelta dell'impianto di produzione elettrica da bioliquidi ed assunzioni sui trasporti nel territorio europeo. Nell'ultima sezione del documento è invece effettuata una approfondita interpretazione dei risultati ottenuti in termini di categorie di impatto rilevanti, fasi del ciclo di vita e flussi elementari e dando le necessarie conclusioni sullo studio finalizzato.

2. Scopo del documento

Il presente documento è stato realizzato nell'ambito del progetto Arcadia - approccio ciclo di vita nei contratti pubblici e banca dati italiana LCA, finanziato dal PON Governance e Capacità Istituzionali 2014-2020, come output dell'Azione 5 "Analisi e raccolta dati per la costituzione della banca dati". Questo rapporto rientra nella sotto-azione A5.3 "Raccolta dati prodotto/servizio lungo il ciclo di vita ed elaborazione dei documenti" e rappresenta lo studio della filiera per la produzione di energia elettrica da bioliquidi in Italia.

3. I bioliquidi

Da alcuni anni appare ormai chiara ed evidente la necessità di intraprendere a livello globale scelte di politica energetica responsabili e volte all'utilizzo efficace e non lesivo delle risorse del pianeta. È conseguentemente cresciuta una sensibilità ambientale sia a livello generale che a livello politico, e una consapevolezza sempre più evidente delle tematiche ambientali, che hanno stimolato la Comunità europea a definire, nel 2009, la prima direttiva "Renewable Energy Directive" - RED (EU, 2009) che spingeva a focalizzare gli sforzi della comunità scientifica ed industriale in studi di base e ricerca applicata sui biocombustibili e bioliquidi per differenti applicazioni. Tale direttiva fissava un obiettivo di utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili (FER) al 20 % entro il 2025, al fine di ottenere il raggiungimento degli accordi di Parigi ed il decremento della produzione di CO₂. In seguito, i target sono stati aggiornati, a dicembre del 2018, con la pubblicazione di una seconda direttiva 2018/2001 (RED-II) (EU, 2018), che ha ulteriormente spinto in avanti la prospettiva di utilizzo delle FER al 32 % entro il 2030.

In un paese con un'importante presenza di foreste e di terreni agricoli come l'Italia, la biomassa di origine vegetale può potenzialmente rappresentare un'importante risorsa energetica rinnovabile, in grado di diminuire la dipendenza dalle importazioni di combustibili fossili e allo stesso tempo ridurre la produzione di CO₂.

Con il termine biomassa si intendono tutte le sostanze organiche di origine animale o vegetale, non fossili, che possono essere utilizzate per produrre energia. Dalla biomassa vegetale è

possibile ottenere molteplici prodotti energetici, diversificati in funzione delle caratteristiche (es. potere calorifico) e dell'impiego (produzione di energia elettrica o termica mediante combustione diretta o previa trasformazione in biocombustibili).

Nell'ambito dei prodotti ottenibili dalla biomassa vegetale e da quella derivante da origine animale, bioliquidi, biocarburanti e biocombustibili sono spesso utilizzati come sinonimi, mentre si tratta di prodotti con caratteristiche chimico-fisiche ed utilizzi molto differenti.

Biocombustibili e biocarburanti presentano numerosissime caratteristiche comuni, che giustificano la prassi di considerarli spesso come sinonimi; tuttavia, le differenze negli usi (i primi destinati ad applicazioni stazionarie e i secondi all'autotrazione), e le conseguenti differenti norme e prassi connesse al loro utilizzo, rendono necessaria la loro separazione.

Biodiesel e bioetanolo rappresentano la quasi totalità dello scenario che riguarda il settore dei trasporti e vengono quindi classificati come biocarburanti. Nella definizione adottata dal Ministero della Transizione Ecologica e nella direttiva EU 2018/2001 con biocarburanti si fa riferimento quindi a *"carburanti liquidi o gassosi per i trasporti ricavati dalla biomassa"*.

I biocombustibili, o bioliquidi, sono invece *"i combustibili liquidi per scopi energetici diversi dal trasporto, compresi l'elettricità, il riscaldamento ed il raffreddamento, prodotti a partire dalla biomassa"*. Si tratta, in definitiva, di combustibili liquidi che possono essere utilizzati per la produzione di energia elettrica in alternativa alle fonti fossili e vengono ricavati da biomasse di origine vegetale e animale.

I bioliquidi, oggetto di questo studio, sono solo quelli che rispettano i criteri di sostenibilità stabiliti dal D.Lgs. 31 Marzo 2011, n.55 (riportanti i medesimi criteri della Direttiva 2009/28/CE) (Decreto-Legge 31.03.11, 2011). Ciò in quanto la quota di produzione lorda effettiva di energia elettrica da bioliquidi sostenibili copre il 98% del totale ed è quindi sicuramente rappresentativa.

I criteri da rispettare per la sostenibilità sono i seguenti:

- La riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra grazie all'uso di biocarburanti e bioliquidi presi in considerazione è pari almeno al 35%;
- I biocarburanti e bioliquidi presi in considerazione non sono prodotti a partire da materie prime ottenute su terreni che presentano un elevato valore in termini di biodiversità;
- I biocarburanti ed i bioliquidi presi in considerazione non sono prodotti a partire da materie prime ottenute su terreni che presentano un elevato stock di carbonio;
- I biocarburanti ed i bioliquidi presi in considerazione non sono prodotti a partire da materie prime ottenute su terreni che erano torbiere;
- Le materie prime agricole coltivate ed utilizzate per la produzione di bioliquidi sono ottenute nel rispetto delle prescrizioni, disposizioni e norme di legge che stabiliscono criteri di sostegno diretto agli agricoltori;

I biocombustibili, o bioliquidi di origine vegetale, sono in maggioranza ottenuti dalla spremitura di semi e piante oleaginose, mediante processi di estrazione. Dal punto di vista chimico, gli oli vegetali sono una miscela di acidi grassi liberi, trigliceridi, glicerolo, composti fosforici e cere. La

presenza di acidi contenenti legami doppi, che possono causare problematiche all'interno dei motori, quali ad esempio la formazione di depositi in numerose parti interne, è fortemente influenzata dalle condizioni ambientali in cui si trova a crescere la pianta. Considerando le numerose specie vegetali da cui è possibile ottenere oli vegetali la composizione degli stessi è in aggiunta fortemente dipendente dalla fonte primaria. Di conseguenza, caratteristiche chimico fisiche differenti possono condizionare la modalità di utilizzo energetico. In Tabella 1 sono riportate le tipiche caratteristiche di maggior interesse per un combustibile.

Tabella 1. *Caratteristiche di interesse dei combustibili*

Proprietà		
Fisiche	Chimiche	Termiche
Viscosità	Acidità totale	Temperatura di distillazione
Densità	Numero di saponificazione	Residuo carbonioso
Punto di infiammabilità	Numero di iodio	Numero di cetano
Punto di fusione	Potere calorifico	
Punto di intorbidamento	Stabilità all'ossidazione	
Distillazione: punto di scorrimento	Contenuto in metalli	
Punto di intasamento a freddo del filtro	Contenuto in fosforo	
Punto di fumo	Contenuto in cere	
Intervallo di distillazione	Essiccatività	
Indice di rifrazione		

I bioliquidi hanno caratteristiche che spesso non si sposano completamente con i sistemi di combustione tradizionali utilizzati con i combustibili di natura fossile.

Un primo parametro è il numero di iodio, definito come la quantità di iodio molecolare necessario a saturare i doppi legami presenti nell'olio considerato. La sua misura indica il grado di saturazione o insaturazione dell'olio ed è caratterizzato da un limite superiore definito dalle specifiche del produttore. Altri parametri importanti sono il contenuto di fosforo ed il numero di cetano. Il primo risulta associato alla formazione di depositi e all'avvelenamento delle marmitte catalitiche, mentre il secondo è indice della tendenza di un combustibile all'ignizione. Questi è influenzato dal numero di doppi legami e dalla loro posizione all'interno della molecola. Il numero di cetano è quindi un importante parametro che caratterizza i combustibili alimentati in motori a combustione interna a compressione quali quelli Diesel. È quindi interessante confrontare le caratteristiche tipiche di un gasolio di natura fossile e degli oli vegetali ottenuti dalla spremitura di semi oleosi. In Tabella 2 è riportato tale confronto.

Tabella 2. Proprietà chimico-fisiche dei principali oli vegetali e del gasolio. Elaborazione ENEA adattata da (Bordoni, et al., 2013)

Olio	Viscosità cinematica	Densità	Punto di infiammabilità	Punto di solidificazione	Temperatura di distillazione	Residuo carbonioso	Numero di Cetano	Potere calorifico inferiore
	Mm ² /s (40 °C)	Kg/l (15°C)	°C	°C	°C	%		Mj/kg
Arachide	39,0	0,90	271	-6	271	0,24	41,8	37,5
Colza	35,3	0,91	246	-30	246	0,27	37,6	37,1
Palma	42,0	0,92	267	23	267	-	38,0	36,6
Soia	31,5	0,92	254	-12	254	0,23	37,9	36,8
Mais	34,3	0,91	277	-40	277	0,24	37,6	36,8
Jatropha	36,0	0,94	210	4	295	1,00	38,0	36,7
Girasole	34,0	0,92	267	-15	274	0,23	37,0	37,3
Gasolio	2,9	0,85	68	-20	-	0,17	47,0	41,0

Tra i dati di maggior spicco è da evidenziare il valore di un ordine di grandezza più elevato della viscosità cinematica di qualsiasi olio vegetale, se confrontato ad un tipico gasolio. In particolare, l'olio di palma presenta il valore più elevato e pari a 42 mm²/s mentre gli altri sono tutti simili e comunque maggiori di 30 mm²/s. La viscosità è un parametro essenziale nella definizione delle caratteristiche chimico-fisiche di un combustibile essendo direttamente correlata alla capacità dello stesso di essere atomizzabile ed influenzando difatti la progettazione dei sistemi di iniezione del combustibile nella camera di combustione. In aggiunta la mancata o non ottimale atomizzazione del combustibile implica una difficoltà nella vaporizzazione delle goccioline di liquido immesso in camera di combustione, con una conseguente bassa qualità del processo di combustione e formazione di inquinanti quali ad esempio composti incombusti (Bordoni, et al., 2013).

Tale dato, da solo, giustifica le problematiche connesse con l'utilizzo dei bioliquidi in sistemi di combustione non progettati per tali parametri di processo.

Non sono invece da evidenziare grandi differenze nella densità misurata a 15 °C, mentre un altro parametro di gran lunga maggiore per gli oli vegetali è il punto di infiammabilità. L'olio di mais ha infatti il valore più alto e pari a 277 °C con tutti gli altri oli vegetali che presentano valori maggiori di 200°C. Il gasolio, di contro, presenta un punto di infiammabilità pari a 68°C. Altro parametro d'interesse per l'alimentazione dei bioliquidi in sistemi di combustione tradizionali è il punto di solidificazione. Tale parametro può essere determinante nella capacità del combustibile di essere pompato nella camera di combustione. Una temperatura di solidificazione prossima alla temperatura ambiente può provocare fenomeni di *blocking* dei circuiti di alimentazione del combustibile al motore. Gli oli provenienti da colture proteoleaginose presentano temperature di solidificazione troppo prossime a quella ambiente e dovendo garantire una buona fluidità del combustibile, spesso sono necessari sistemi di riscaldamento dello stesso.

Il parametro però di maggior interesse è il potere calorifico del combustibile. Gli oli vegetali presentano valori inferiori al gasolio con differenze pari anche a 5 MJ/kg. Ciò comporta, a parità di lavoro prodotto, consumi per gli oli vegetali superiori.

I problemi relativi all'impiego di oli vegetali o miscele di oli-vegetali e gasolio in motori Diesel possono essere quindi di varia natura.

Di seguito un elenco non esaustivo:

- incompleta combustione;
- formazione di depositi;
- occlusione filtro o sistemi di alimentazione;
- occlusione pompa di alimento;
- usura sistema di alimentazione;
- contaminazione olio lubrificante.

4. La filiera dei bioliquidi

L'ampia Direttiva (UE) 2018/2001 (EU, 2018), anche nota come Direttiva RED II, dispone che gli Stati membri dovranno tendere, entro il 2030, a far sì che la quota di energia da fonti rinnovabili (FER) nel consumo lordo finale di energia dell'Unione sia almeno pari al 32 % (art. 1 ed art. 3, par.1) e che la quota di energia da fonti rinnovabili nei trasporti sia almeno pari al 14 % del consumo finale in tale settore (art.25, par.1). La direttiva fissa, inoltre, criteri di sostenibilità e di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra per i biocarburanti, i bioliquidi ed i combustibili da biomassa. (art.29 e 31).

La prima volta che gli Oli Vegetali Puri (OVP) sono entrati nella legislazione italiana è stata con il Decreto Legislativo 30 maggio 2005 n.128 (Decreto Legislativo 30.05.05, 2005) che recepiva la

Direttiva Europea 2003/30/CE relativa alla promozione dell'uso dei biocarburanti o di altri carburanti rinnovabili nei trasporti. In quell'occasione fu data l'effettiva definizione degli OVP come *“olio prodotto da piante oleaginose mediante pressione, estrazione, o processi analoghi, greggio, o raffinato ma chimicamente non modificato qualora compatibile con il tipo di motore usato e con i corrispondenti requisiti in materia di emissioni”*. Prima di tale data questo carburante era per la legislazione italiana completamente sconosciuto, nonostante le esperienze dei Paesi del Nord Europa. Il problema più grave per lo sviluppo nell'utilizzo degli OVP è stato quello relativo alle accise sulla fabbricazione e sul consumo. Maggiori dettagli in merito alle suddette accise sono riportati nel paragrafo relativo agli impatti sociali ed economici.

4.1. La filiera produttiva dei bioliquidi in Italia

Come già precedentemente delineato, tra le differenti fonti rinnovabili definite nella direttiva EU 2018/2001, i bioliquidi sono definiti come *“combustibili liquidi per usi energetici diversi dai trasporti, compresi elettricità, riscaldamento e raffreddamento, prodotti da biomassa”*. Lo sviluppo di una filiera produttiva di bioliquidi da semi oleaginosi deve rispettare i principi di sostenibilità economica ed ambientale introdotti con la Direttiva Europea 2009/28, oltre a non sottrarre terreni alle colture per la produzione alimentare. La filiera nazionale non si differenzia in maniera sostanziale da quella europea per quel che riguarda la materia prima. Gli OVP sono il risultato di processi di spremitura meccanica di semi di piante che possono includere un numero considerevole di fonti primarie:

- colza;
- girasole;
- soia;
- ricino;
- cartamo;
- lino;
- brassica caricata;
- camelina sativa;
- tabacco energetico;
- cardo;
- palma da olio;
- jatropha curcas.

Tra queste, le prime tre piante sono tipiche del mercato nazionale mentre le ultime due sono di importazione estera dalla fascia sub-tropicale. Le piante elencate che vanno dal ricino al cardo sono perlopiù in una fase di sperimentazione per il loro effettivo utilizzo.

Valutando il consumo nazionale del 2020, oltre il 55% dei bioliquidi impiegati in Italia viene lavorato nel Sud-est asiatico da materie prime locali. Il 35% dei bioliquidi viene lavorato all'interno dei confini nazionali, in crescita rispetto al 2019 (GSE, 2022) (

Tabella 3).

Tabella 3. *Principali Paesi di produzione dei bioliquidi sostenibili e di origine della materia prima. Elaborazione ENEA adattata da (GSE, 2022)*

	<i>Paese di produzione bioliquido</i>				<i>Paese di origine della materia prima</i>			
	<i>2017</i>	<i>2018</i>	<i>2019</i>	<i>2020</i>	<i>2017</i>	<i>2018</i>	<i>2019</i>	<i>2020</i>
<i>Italia</i>	<i>27%</i>	<i>32%</i>	<i>30%</i>	<i>35%</i>	<i>25%</i>	<i>30%</i>	<i>26%</i>	<i>31%</i>
<i>Malesia</i>	<i>11%</i>	<i>16%</i>	<i>26%</i>	<i>28%</i>	<i>11%</i>	<i>16%</i>	<i>27%</i>	<i>29%</i>
<i>Indonesia</i>	<i>52%</i>	<i>44%</i>	<i>37%</i>	<i>28%</i>	<i>53%</i>	<i>44%</i>	<i>37%</i>	<i>28%</i>
<i>Altri paesi UE</i>	<i>8%</i>	<i>8%</i>	<i>6%</i>	<i>5%</i>	<i>9%</i>	<i>9%</i>	<i>8%</i>	<i>7%</i>
<i>Altri paesi non UE/non noto</i>	<i>2%</i>	<i>0%</i>	<i>1%</i>	<i>4%</i>	<i>2%</i>	<i>2%</i>	<i>2%</i>	<i>4%</i>
<i>Consumo (%)</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>
<i>Consumo (ton)</i>	<i>965880</i>	<i>937763</i>	<i>1018682</i>	<i>998845</i>	<i>965880</i>	<i>937763</i>	<i>1018682</i>	<i>998845</i>

Analizzando invece l'evoluzione delle filiere di produzione dei bioliquidi sostenibili consumati negli ultimi quattro anni, si osserva un incremento rilevante della quota di bioliquidi lavorati in Italia (dal 27% al 35%); rimane comunque ampiamente maggioritaria la quota di bioliquidi prodotti nel sud est asiatico, anche se in diminuzione rispetto al passato (Figura 1).

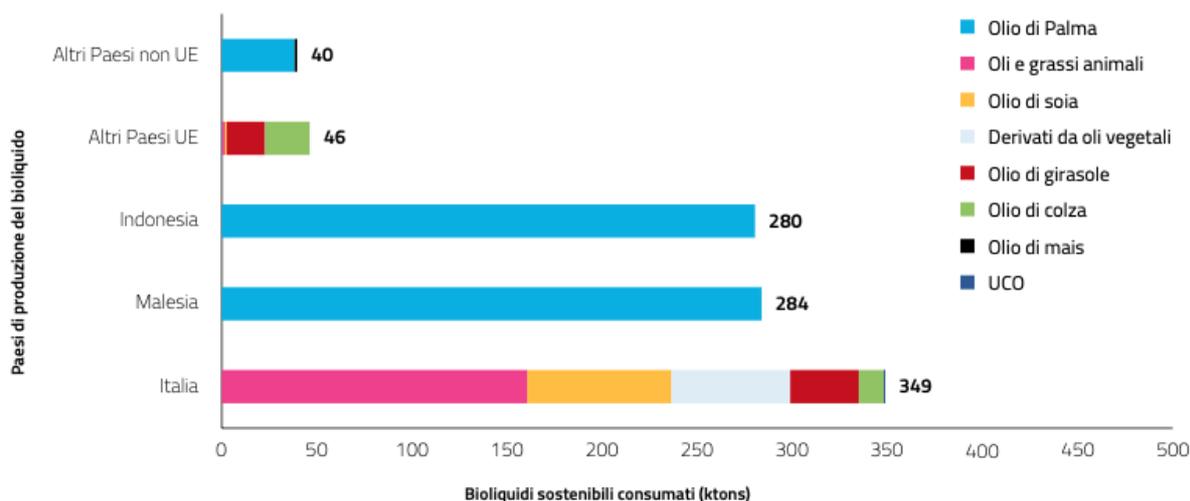


Figura 1. *Luogo di produzione dei bioliqidi sostenibili consumati in Italia per tipologia di bioliquido nel 2020 (GSE, 2022)*

Nel 2020, come negli anni precedenti, il luogo di origine delle materie prime coincide sostanzialmente con il luogo in cui vengono lavorate. Nel Sud-est asiatico viene prodotto e lavorato quasi esclusivamente olio di palma, mentre in Italia sono prodotti bioliqidi da materie prime residuali o oli vegetali di produzione nazionale.

È quindi evidente che una valutazione degli impatti sociali, economici ed ambientali sulla sostenibilità della filiera nazionale della produzione degli OVP non possa non tener conto del carattere globale di tale filiera.

A livello mondiale il peso maggiore è rivestito quindi, tra le arboree dalla palma d'olio, e tra le erbacee, da soia, colza e girasole. In genere l'olio è contenuto in percentuali che vanno dal 18 al 55% (Bordoni, et al., 2013).

Nonostante i bioliqidi siano potenzialmente ricavabili da un'ampia varietà di materie prime, ad oggi la filiera a cui si fa in assoluto maggiormente ricorso in ambito energetico è indubbiamente quella basata sull'impiego degli oli vegetali in motori a combustione interna per la produzione di energia elettrica. In alcune filiere corte, tali oli sono spesso utilizzati, anche impropriamente, come carburanti per macchine agricole (trattori, scavatrici ecc.). Pertanto, è possibile identificare due macro-filiere per la produzione dei bioliqidi; tali filiere si integrano all'occorrenza, ma possono essere anche sviluppate singolarmente. La prima è relativa ad una filiera puramente agricola, che parte dalle colture oleaginose e termina con la produzione di un olio utile per l'autoconsumo (in motori diesel e/o per l'alimentazione di macchine agricole). La seconda, di taglio maggiormente industriale, consente di spingere nelle rese e nelle caratteristiche chimiche del prodotto finale (CampusLab, 2022), (Berton, et al., 2007).

Entrambe le filiere hanno come fase iniziale quella della raccolta della materia prima di origine vegetale, quindi la fase di trasporto, estrazione con produzione dell'olio e stoccaggio finale. Una prima suddivisione grossolana tra filiere corte o tecnologicamente più avanzate può essere fatta

come di seguito. Filiere corte e di natura prettamente agricola prevedono la sola estrazione meccanica mentre filiere più avanzate tecnologicamente e di taglio industriale prevedono una estrazione fisica e chimica spingendo su rese di oli maggiori.

Le filiere strutturate su piccola scala hanno il vantaggio di utilizzare macchine molto semplici e di costo contenuto.

In Figura 2 si riporta uno schema della filiera in macro-blocchi, in cui si evidenziano:

- la fase di coltivazione;
- la fase di pretrattamento;
- la fase di trasformazione ed utilizzo.

Quest'ultima potrà essere a sua volta suddivisa in una filiera agricola ed industriale (evidenziato con due tonalità di verde in Figura 2). I monoblocchi in figura di colore grigio sono parte della filiera per la correzione della composizione chimica e fisica degli OVP per l'utilizzo quali biodiesel per auto-trazione, che non è oggetto di studio di questo documento.

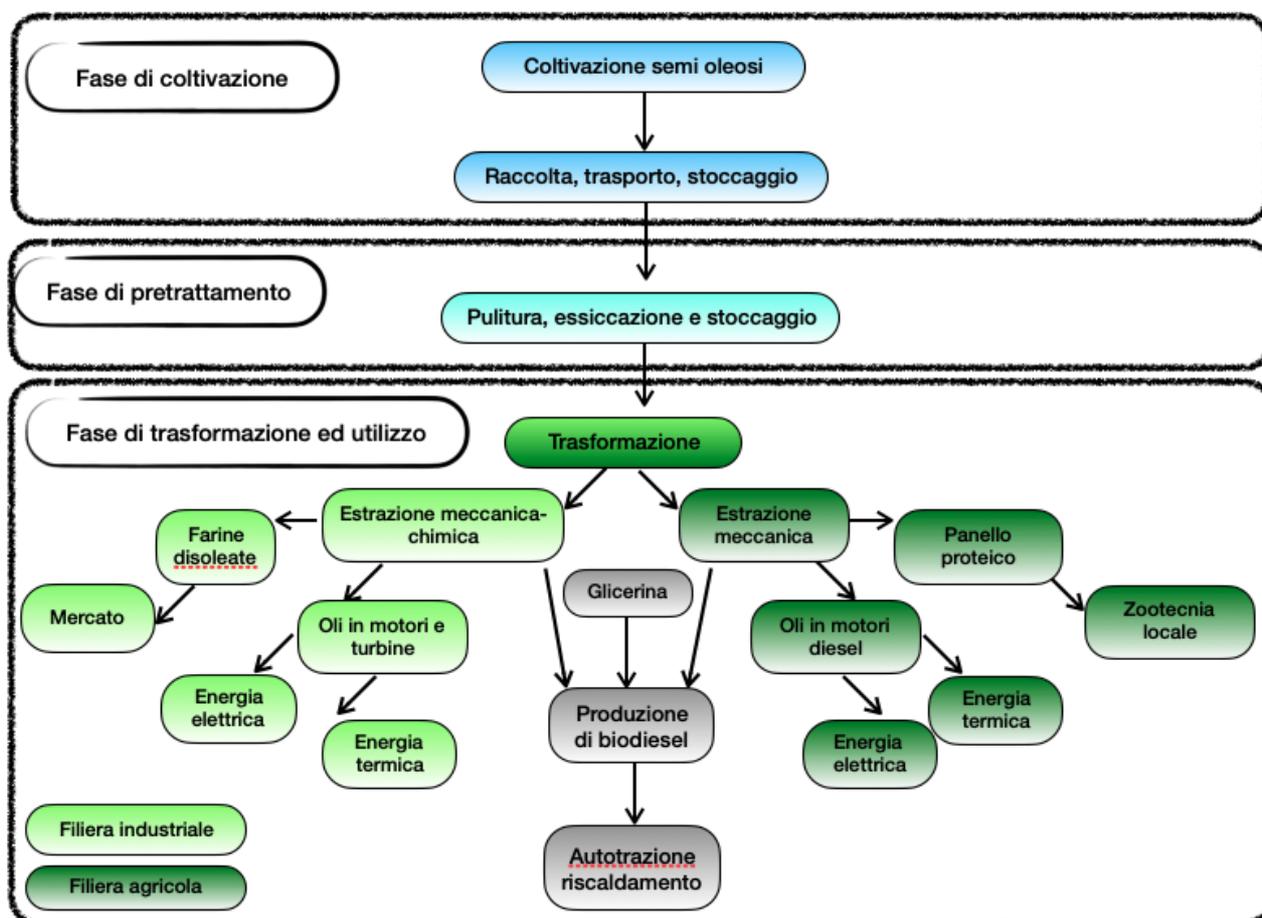


Figura 2. Schema di filiera di produzione OVP. Elaborazione ENEA adattata da (Scrosta & Duca, 2010) e da (Berton, et al., 2007)

La filiera degli oli vegetali puri ha diverse categorie di beneficio, quali la possibilità di vendere l'energia ad un prezzo vantaggioso valorizzando le colture protoleaginose. Da un punto di vista

energetico, si va ad incentivare una tecnologia di semplice fruibilità e che diversifica l'approvvigionamento di energia. Nello sviluppo delle filiere corte c'è inoltre il non trascurabile vantaggio sociale di avvicinare le comunità al tema della sostenibilità.

La filiera industriale prevede non di rado processi di trattamento chimico aggiuntivo (transesterificazione) degli OVP raffinati per avvicinare le caratteristiche chimico-fisiche di questi ultimi ai normali diesel in commercio.

In definitiva, quindi la potenziale organizzazione di una filiera può essere strutturata localmente in primis con aziende agricole singole o associate in consorzi/cooperative per la fase di campo (coltivazione e raccolta del seme). La fase successiva di trattamento del seme potrebbe essere affidata a consorzi/cooperative già esistenti in loco o create all'occorrenza, per poi destinare i prodotti ottenuti, OVP e pannello proteico ai diversi fini. Il primo per la produzione di energia elettrica/termica al fine di garantire il fabbisogno delle aziende stesse ed il secondo per la vendita ad aziende zootecniche per l'alimentazione degli allevamenti. I semi oleosi possono essere trasformati quindi per la produzione di OVP sia in frantoi industriali con capacità che arrivano fino a 4000 tonnellate al giorno di materia prima che in piccoli impianti decentrati con capacità di elaborazione tra 0,5 - 25 tonnellate al giorno (Loibnegger, et al., 2011).

Gli OVP, utilizzati come bioliquidi, presentano alcune importanti peculiarità:

- versatilità della fonte, utilizzabile per la produzione di energia elettrica e/o termica o anche per l'autotrazione, nel caso di veicoli - generalmente trattori o altre macchine agricole - specificamente adattati per il loro impiego;
- programmabilità della produzione: possibilità di realizzare centrali prevalentemente in zone coperte dalla rete e di modularne la produzione in base alle esigenze; indipendenza da ore di picco/stagionalità; indipendenza dalla disponibilità in loco della risorsa, per via della trasportabilità e facilità di stoccaggio del prodotto.

La classificazione degli oli è una materia complessa da trattare e risulta soggetta a continui aggiornamenti normativi.

4.2. Processi di produzione dei bioliquidi

La filiera di produzione dei bioliquidi, descritta nel paragrafo precedente, prevede come visto le seguenti fasi:

- Fase di coltivazione (coltivazione, raccolta, trasporto e stoccaggio);
- Fase di pretrattamento (pulitura, essiccazione, stoccaggio);
- Fase di trasformazione (estrazione meccanica e/o chimica, suddivisione dei prodotti ottenuti);
- Fase di utilizzo.

Nella Figura 3, che riporta schematicamente la filiera di produzione e impiego dei bioliquidi, sono indicate le principali materie prime utilizzate per la produzione dei bioliquidi di origine vegetale

(colza, soia, girasole, palma), sebbene anche altre piante oleaginose siano utilizzate, anche se in quantitativi minori. Il riquadro blu indica la fase di estrazione e raffinazione della materia prima e dalla quale si ottengono due macro-componenti:

- il pannello proteico;
- l'olio vegetale grezzo.

Il primo prodotto è utilizzato in aziende agricole come mangime, fertilizzante o biocombustibile solido (previa, in genere, operazione di pellettizzazione). Il secondo è utilizzato in impianti di combustione e/o di cogenerazione per la produzione di energia elettrica.

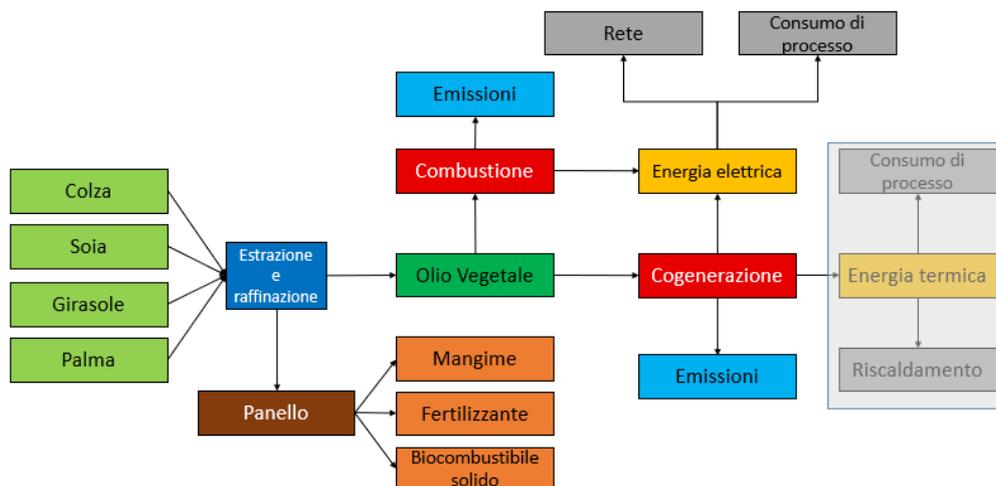


Figura 3. Fasi della filiera dei biocombustibili liquidi (Elaborazione ENEA)

Nella **Figura 4** si riporta con maggiore dettaglio lo schema di filiera per la produzione dei bioliquidi.

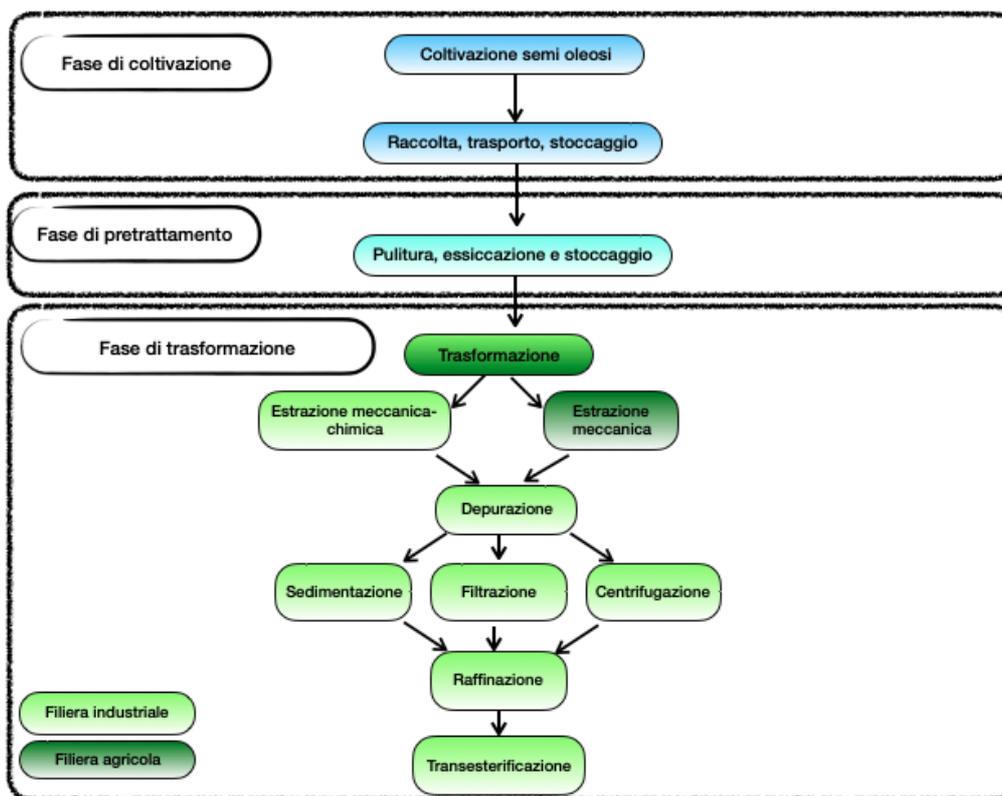


Figura 4. Schema di filiera di produzione dei bioliquidi (Elaborazione ENEA)

In genere, l'olio vegetale ottenuto al termine della filiera ed utilizzato come combustibile può essere ritenuto puro e prende anche il nominativo di OVP (Olio Vegetale Puro). La natura e la tipologia del processo di produzione adottato è differente a seconda della taglia della filiera, del prodotto finale che si desidera ottenere e dell'utilizzo pianificato. La fase di estrazione inizia con la fase di trasformazione, che è il vero cuore del processo produttivo dell'OVP ed è in genere preceduta da una fase cosiddetta di pre-estrazione (Calamai & Vai, 2020), che consente di ottenere un prodotto finale con migliori caratteristiche fisiche e chimiche, nonché di agevolare le successive fasi di estrazione. Le operazioni di pre-estrazione possono essere di differente natura e spaziare da lavorazioni meccaniche a fisico/chimiche. La pre-estrazione è definita spesso in funzione delle successive operazioni di estrazione a cui la materia sarà sottoposta. Il pretrattamento dei semi vegetali prevede lo svolgimento delle seguenti operazioni:

- pulitura;
- preliminare essiccazione;
- decorticazione;
- condizionamento o essiccazione;
- macinazione e laminazione.

Tali pretrattamenti hanno lo scopo di:

- migliorare il processo di estrazione;
- aumentare la resa;

- migliorare la qualità del prodotto;
- salvaguardare i macchinari da eccessiva usura.

Il primo stadio di pretrattamento è, come elencato, quello di pulitura della materia prima. Tale fase è necessaria per eliminare i residui della raccolta (ferro, pietrisco, terra etc.), che non dovrebbero prendere direttamente parte alle successive fasi di estrazione e che risultano quindi da indesiderati.

Alcune filiere prevedono uno stadio, non sempre presente, di preliminare essiccazione, utile per eliminare spore e muffe dai semi.

A valle delle operazioni di pulitura si passa alla fase di decorticazione; tale fase è spesso necessaria in quanto alcuni semi presentano un tegumento esterno lignocellulosico (pericarpo) che deve essere rimosso, in quanto aumenterebbe il volume del materiale da processare, oltre a non partecipare attivamente alle successive fasi di estrazione, in quanto a basso contenuto di oli e alto contenuto proteico.

Immediatamente dopo la fase di decorticazione, c'è quella di macinazione, seguita da una di laminazione a seconda della taglia della filiera. La presenza di questa ultima fase è funzione anche della natura del processo estrattivo effettuato a valle.

L'ultima fase di pretrattamento è quella di condizionamento o essiccazione, a temperature comprese tra i 110°C e 120°C per circa un'ora in apparecchiature dedicate (*cooker*). Tale operazione è necessaria per l'abbattimento di muffe, batteri o composti nocivi e comporta inoltre trasformazioni fisiche e chimiche che migliorano le caratteristiche della materia da trattare.

Per quanto riguarda la fase di estrazione vera e propria, a livello industriale si possono adottare processi di tipo meccanico, chimico o combinati (meccanico + chimico), a seconda della taglia della filiera.

I processi di tipo meccanico sono più economici, essendo realizzati in impianti facilmente gestibili anche da aziende di piccole dimensioni. I cicli di produzione possono essere operanti in continuo, preferiti nelle produzioni su larga scala, o in discontinuo, adottati per la produzione di oli più pregiati. Gli output di tale processo di estrazione sono l'olio che percola attraverso le pareti laterali della vite per essere inviato ai successivi stadi di purificazione ed il pannello proteico estruso dal cono di compressione.

L'estrazione, se effettuata per via chimica, ha rese molto più elevate di quella meccanica, a fronte però di un processo più oneroso dal punto di vista dei tempi e dei costi e di un maggiore impatto ambientale. Generalmente viene utilizzato un solvente, di natura chimica variabile, con tempi di contatto minimi di 30 minuti. Alcuni impianti, per spingere maggiormente sulle rese, prevedono l'estrazione chimica a valle di quella meccanica con un processo di estrazione in serie, come mostrato in Figura 5.

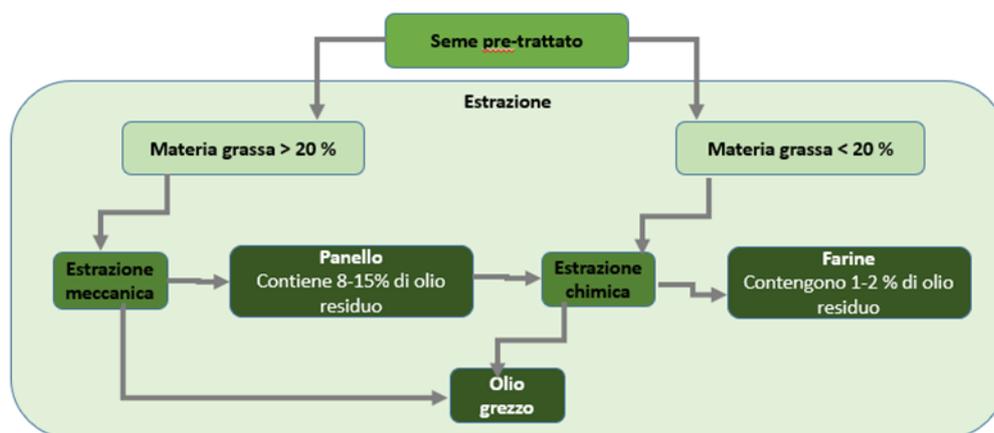


Figura 5 - Schema di processo di estrazione industriale elaborazione da ENEA adattata da (Bordoni, et al., 2013)

I trattamenti successivi a quelli di estrazione sono:

- depurazione;
- raffinazione;
- transesterificazione.

La raffinazione può essere a sua volta suddivisa in:

- degommazione;
- deacidificazione;
- decolorazione;
- deodorazione;
- demargarinizzazione.

Non tutti questi processi sono indispensabili: vengono selezionati quelli più opportuni in funzione dell'utilizzo finale dell'olio prodotto: per usi energetici e per la produzione di calore in caldaie il processo di depurazione e raffinazione sono indispensabili.

Il processo di transesterificazione è invece indispensabile per ottenere il biodiesel per l'utilizzo nei motori per autotrazione.

La fase di produzione si chiude con lo stoccaggio dell'OVP prodotto. Anche tale fase è particolarmente importante, in quanto occorre evitare che processi di ossidazione, idrolisi, polimerizzazione e degradazione enzimatica avvengano qualora gli OVP siano allo stato puro (Loibnegger, et al., 2011).

Pertanto, occorre che lo stoccaggio dell'OVP avvenga in condizioni tali da:

- mantenere bassi livelli di contaminazione;
- garantire basse temperature di stoccaggio;
- evitare condizioni di congelamento;
- evitare sbalzi di temperatura;
- evitare l'esposizione alla luce solare;

- evitare presenza di ossigeno ed acqua;
- evitare presenza di metalli non ferrosi;
- garantire alte condizioni di pulizia.

4.3. Tipologie di impianti di produzione dei bioliquidi

Gli impianti utilizzati attualmente per la produzione di bioliquidi dai semi oleosi possono essere sia frantoi industriali con capacità che arrivano fino a 4000 tonnellate al giorno di materia prima che piccoli impianti decentrati con capacità di elaborazione tra 0,5 - 25 tonnellate al giorno (Loibnegger, et al., 2011). La spremitura a freddo è economicamente più vantaggiosa quando si lavorano meno di 500 tonnellate di semi al giorno ed è utilizzata principalmente con presse decentralizzate di piccola scala, con capacità di produzione di diverse migliaia di tonnellate all'anno. Tuttavia, ci sono anche impianti su larga scala in cui viene utilizzata questa tecnica.

I sistemi di pretrattamento sono utili a garantire la preliminare pulizia dei semi raccolti, riducendo il materiale da trattare nelle successive fasi e rimuovendo parti indesiderate.

Sono utilizzati vibrovagli per separare eventuali residui di natura non metallica mentre separatori con elettromagneti per separare i prodotti metallici. La pulizia della materia prima consente inoltre di evitare e/o ridurre considerevolmente l'usura delle macchine direttamente a valle di questo primo step produttivo. L'esclusione di corpi estranei migliora inoltre la qualità dell'OVP prodotto, che conterrà un basso tasso di impurità.

A valle delle operazioni di pulitura si passa alla fase di decorticazione dell'output ottenuto da tale processo.

L'eliminazione preventiva degli strati tegumentali mediante azioni di abrasione e frizione condotte sul seme, può infatti consentire di semplificare notevolmente le fasi successive di pretrattamento.

L'eliminazione dei tegumenti esterni riduce inoltre la taglia degli impianti di processamento della materia prima, eliminando residui indesiderati, che spesso sono causa di blocchi produttivi. I decorticatori sono macchine ad uso agricolo e possono essere a disco o a cilindro. Seppur questa operazione sia particolarmente importante, non è mai totale ed in genere si deve raggiungere un compromesso tra eliminazione del pericarpo e perdita di sostanza grassa. A seconda del tipo di seme, questa operazione è più o meno praticata: è tipica per soia e colza e meno per il girasole.

I cicli di produzione possono essere operanti in continuo o in discontinuo. L'estrazione meccanica è effettuata attraverso una vite senza fine che spinge il materiale verso un cono di compressione.

Tale fase produttiva presenta in genere la necessità di alcuni silos di stoccaggio primario e secondario del seme e la disposizione di impianti di pressatura meccanica disposti in serie per

aumentare la quantità di materia prima trattata. Le criticità di tale modalità di pressatura sono quelli della necessità di avere una buona qualità del prodotto di partenza (quindi sottoposto ai pre-trattamenti suddetti), un'umidità contenuta della materia trattata, ampi locali per lo stoccaggio dei semi da trattare.

I fattori che influenzano invece la spremitura sono: l'effetto drenaggio (relativo alla presenza di parti solide rigide nel materiale sottoposto ad estrazione); il grado di dispersione dei costituenti colloidali (dovuto ai trattamenti di preparazione del seme); il contenuto in acqua (legato all'umidità del seme); la granulometria e la forma delle particelle; la durata e i cicli di compressione. In Figura 6 si riporta il particolare di una pressa per l'estrazione meccanica degli OVP.

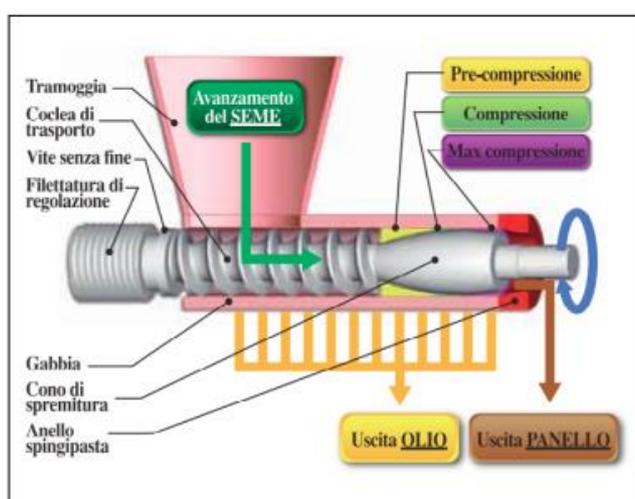


Figura 6. Particolare di una pressa per l'estrazione meccanica degli oli vegetali (Bordoni, et al., 2013)

Come esposto precedentemente, l'estrazione, se effettuata per via chimica, ha rese molto più elevate di quella meccanica prevedendo però un processo più oneroso dal punto di vista dei tempi (anche 24/48 h) e dei costi. In taluni casi è impiegata una estrazione combinata ed in serie che prevede quella meccanica a monte di quella chimica. L'estrazione chimica è effettuata attraverso l'utilizzo di solventi lipofili in quanto gli oli ed i grassi sono sostanze idrofobe. Il solvente prescelto ed ideale per l'estrazione deve essere in grado di consentire una buona resa di estrazione ed avere le seguenti caratteristiche:

- Garantire buone condizioni di sicurezza nell'utilizzo;
- non danneggiare o inquinare il materiale da trattare;
- essere facilmente recuperabile senza lasciare tracce;
- essere di facile reperibilità sul mercato;
- avere un costo contenuto;

Molti i fattori che possono influenzare la resa del processo di estrazione chimica. Tra questi, il primo è sicuramente la dimensione delle particelle trattate. La granulometria del materiale, per essere trattato chimicamente, deve consentire un ottimale contatto con il solvente.

Nell'estrazione degli oli vegetali il più utilizzato è l'esano ma può essere utilizzato anche il benzene o il tricloroetilene.

L'estrazione può avvenire per:

- percolazione;
- immersione.

La prima tecnica consiste nel far cadere il solvente sulla massa di materiale per gravità. Sono disponibili due tipologie di estrattori per percolazione: orizzontali o verticali.

La seconda tecnica consiste invece nell'immergere la massa da disoleare nel solvente. In entrambi i casi la suddetta massa deve essere stata preventivamente sminuzzata per consentire il contatto stretto del solvente con il materiale da trattare. L'estrazione chimica consta in genere di due fasi distinte in quanto a valle della prima estrazione se ne verifica una seconda per diffusione al fine di estrarre la restante parte dell'olio trattenuto nel materiale. L'olio estratto con tale tecnica deve essere necessariamente sottoposto a filtrazione e raffinazione in quanto è disciolto nel solvente stesso.

In Figura 7 e Figura 8 è riportato un disegno tecnico di due tipiche tipologie di estrattori.

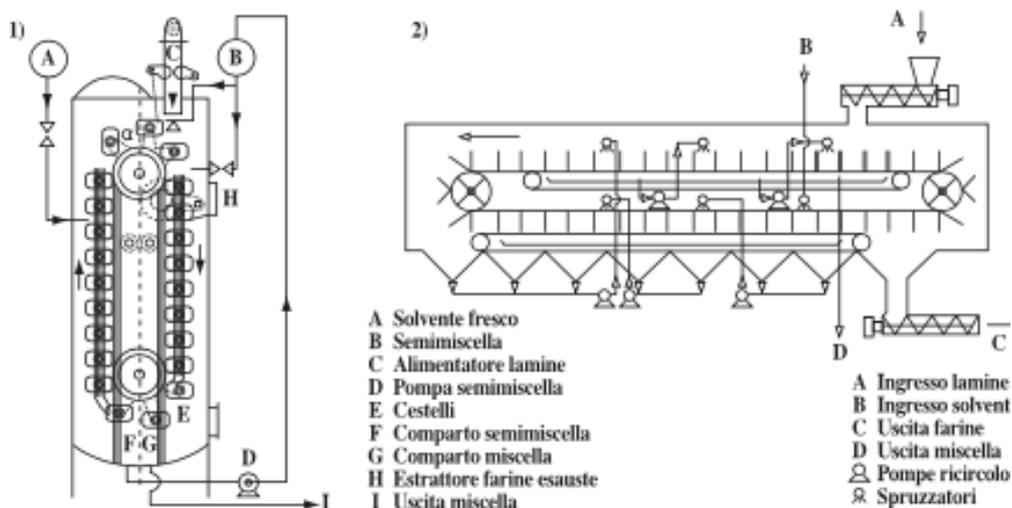


Figura 7. Estrattore a percolazione: verticale (1) ed orizzontale (2) (Bordoni, et al., 2013)

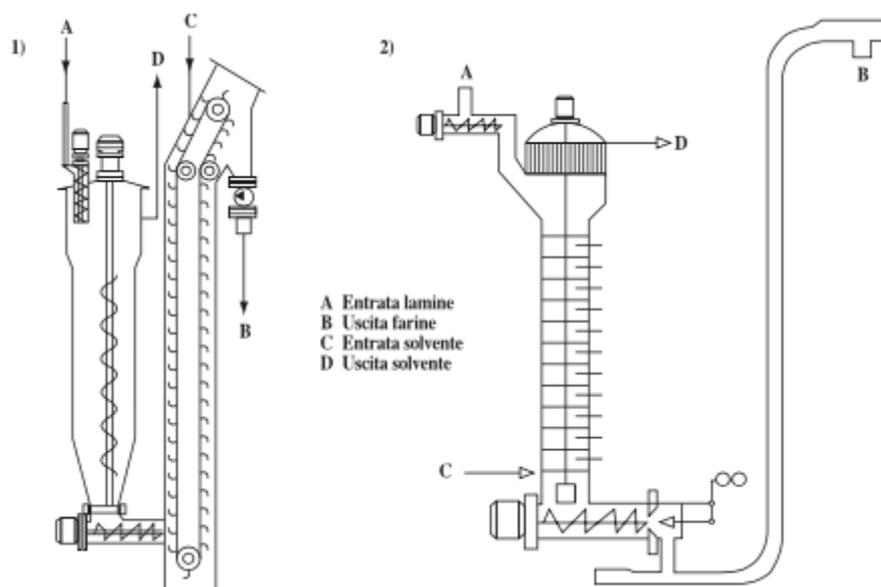


Figura 8. Estrattore ad immersione (Bordoni, et al., 2013)

Come esposto precedentemente, i trattamenti successivi a quelli di estrazione sono:

- depurazione;
- raffinazione;
- transesterificazione.

Il primo processo si può suddividere a sua volta in: sedimentazione, filtrazione e centrifugazione. Tali fasi possono essere svolte in modalità parallela o in serie e sono tutte necessarie al fine di poter utilizzare il bioliquido per la produzione di energia elettrica o per trasformarlo in biodiesel. In particolare, le operazioni di sedimentazione necessitano di impiantistiche con volumi molto elevati e tempi lunghi di esercizio. L'olio prodotto dalle fasi di estrazione viene fatto decantare lentamente, attendendo quindi che il solido contenuto nella fase liquida depositi sul fondo con operazioni che possono anche durare due/tre giorni. Tale processo è particolarmente indicato solo per volumi di produzione elevata. La filtrazione è invece necessaria per eliminare le particelle solide che hanno densità molto simile a quella dell'olio. Tra i diversi processi di depurazione, la filtrazione è la fase che ha bassi costi di esercizio e una resa molto elevata. L'unica criticità è data dalla necessità di prevedere delle operazioni di manutenzione e pulizia manuale dei filtri. La centrifugazione è l'ultimo stadio del processo di depurazione; se accoppiata ad un efficiente processo di filtrazione, può sostituire completamente la fase di sedimentazione, rendendola di fatto superflua.

Il processo di raffinazione può avvenire in diversi stadi, a seconda del numero di trattamenti presenti nel ciclo produttivo. Come precedentemente descritto, tra questi si annoverano i seguenti:

- degommazione;
- deacidificazione;
- decolorazione;
- deodorazione;

- demargarinizzazione

Nella fase di degommazione l'olio viene messo a contatto con una soluzione acida (acido fosforico, solforico o citrico) ad una temperatura di 60°/80°C, con lo scopo di abbattere, oltre ai lipidi polari, anche resine e gomme. In Figura 9 viene riportato il tipico schema di processo della degommazione.

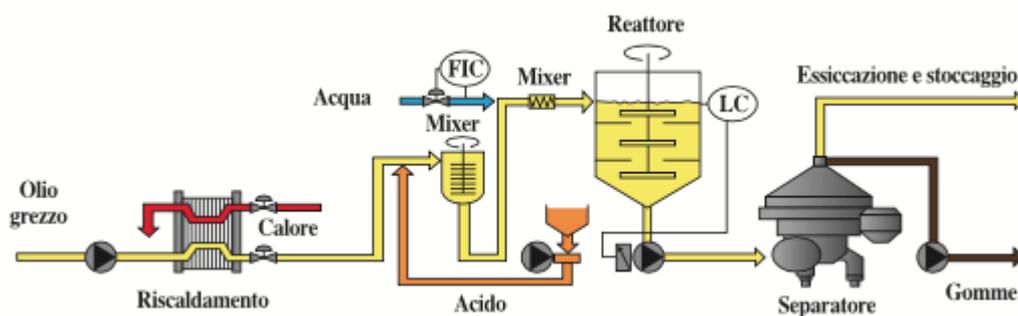


Figura 9. Schema di processo di degommazione (Bordoni, et al., 2013)

La fase successiva è la deacidificazione (o neutralizzazione), processo col quale si riduce l'acidità dell'olio. Questo trattamento è obbligatorio per ogni tipo di spremitura e, di conseguenza, è il più importante. Esso consiste nel trattare l'olio con soda caustica per la successiva separazione olio/acqua (Figura 10).

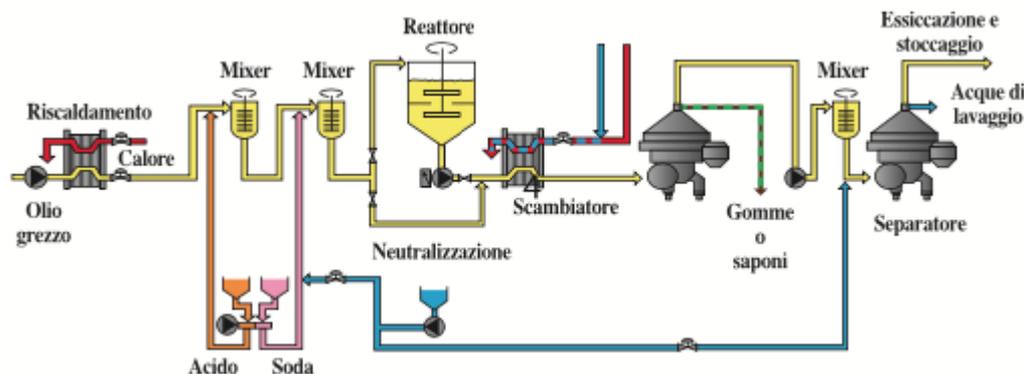


Figura 10. Schema di processo di degommazione e neutralizzazione (Bordoni, et al., 2013)

Decolorazione, deodorazione e demargarinizzazione sono tre operazioni che possono essere considerate come di prima raffinazione. La prima operazione consiste nella rimozione di pigmenti, come clorofille e carotenoidi, la seconda nella rimozione di acidi grassi tramite l'immissione nella sostanza di vapore deaerato a 200°C sottovuoto, mentre la terza è importante ai fini della destinazione energetica e viene applicata solo per alcune tipologie di oli. Ad esempio, il girasole e la colza non ne hanno bisogno mentre altri oli, quali l'olio di cocco, di palma e la jatropha curcas, che tendono a solidificare a temperature più basse, ne hanno necessità per renderli utilizzabili durante il periodo invernale.

La transesterificazione dell'olio vegetale non è un'operazione necessaria per l'utilizzo degli OVP come combustibili; tuttavia, attraverso questa trasformazione è possibile trasformarli in un prodotto molto simile al normale diesel (biodiesel).

La fase di produzione si chiude con lo stoccaggio dell'OVP prodotto. Anche tale fase è particolarmente importante, in quanto, quando conservato allo stato puro, si deve evitare il rischio che avvengano processi di ossidazione, idrolisi, polimerizzazione e degradazione enzimatica. A tal fine, è consigliabile che il prodotto sia conservato ad una temperatura controllata compresa tra i 5 e i 10°C in una cisterna che sia il più possibile isolata dall'esterno. Inoltre, la cisterna dovrà essere preferibilmente interrata, o comunque lontana da fonti luminose, acqua sotto forma di umidità e/o condensa. È quindi di particolare importanza evitare che l'OVP sia conservato a contatto con l'aria, il cui contenuto di umidità potrebbe condensare nella cisterna stessa. Come già evidenziato, anche i contaminanti sono da evitare per evitarne la sedimentazione sul fondo della cisterna ed eventuali reazioni enzimatiche che porterebbero ad una degradazione e alterazione degli oli. La cisterna contenitore è perlopiù costruita in acciaio inossidabile, evitando leghe, quali ad esempio quelle di rame, che potrebbe fungere da catalizzatore per indesiderate reazioni chimiche. Le condizioni di stoccaggio sono particolarmente importanti, in quanto un'ottimale conservazione può consentire di prolungare lo stoccaggio anche per tempi superiori ai 6 mesi, ma che non devono comunque mai eccedere l'anno (Loibnegger, et al., 2011).

4.4. Resa in produzione dei bioliquidi

La resa di produzione dei bioliquidi è fortemente dipendente dal seme utilizzato. Tra le coltivazioni erbacee, il girasole pianta originaria dell'America Nord Occidentale ed utilizzata per la prima volta per la produzione di olio nella metà dell'800 in Russia, ha una resa in semi che dipende ovviamente dal numero di piante per unità di superficie e dal numero dei fiori. Tali valori oscillano a livello nazionale tra le 2,5 t/ha (tonnellate/ettaro) a 4,5 t/ha in condizioni molto spinte di produzione. Considerando che il contenuto di olio nel seme è all'incirca pari al 45/55% in peso si possono quindi ottenere rese in olio variabili tra 1 t/ha e le 2,1 t/ha (Bordoni, et al., 2013).

La soia ha invece numeri considerevolmente differenti, avendo una percentuale più bassa di olio (18-21 %) con rese in semi variabili ed oscillanti tra le 2 t/ha e le 4 t/ha per le colture in Pianura Padana. Le rese in olio sono, come detto, più basse con valori che si attestano tra gli 0,4 e 0,8 t/ha (Bordoni, et al., 2013).

La colza ha numeri mediamente confrontabili con il girasole. La pianta originaria del bacino del mediterraneo ha produzioni medie a livello nazionale pari 2,6 t/ha con punte di oltre 3 t/ha nelle colture italiane e valori più elevati ad esempio, in Francia con valori che raggiungono le 4 t/ha.

Le percentuali di olio sono comprese tra il 35 ed il 45 % con rese di oli paragonabili a quelle della soia, 0,75-1,5 t/ha.

Di seguito sono riportate le tabelle riassuntive delle tre piante (colza, girasole, soia) maggiormente utilizzate per la produzione di OVP (Tabella 4, Tabella 5 e Tabella 6). In aggiunta, è riportata la produzione raccolta e la resa con dettaglio per ogni regione italiana (Tabella 7).

Tabella 4. Caratteristiche agro-energetiche della colza (Bordoni, et al., 2013)

Resa in semi	t/ha	2-4
Contenuto in olio	%	35-45
Resa in olio	t/ha	0,75-1,5
Potere calorifico inferiore olio	GJ/t	36,7-37,8
Contenuto in energia dell'olio	GJ/ha	28-55

Tabella 5. Caratteristiche agro-energetiche del girasole (Bordoni, et al., 2013)

Resa in semi	t/ha	2-4,5
Contenuto in olio	%	45-55
Resa in olio	t/ha	1-2,1
Potere calorifico inferiore olio	GJ/t	36,0-39,9
Contenuto in energia dell'olio	GJ/ha	38-76

Tabella 6. Caratteristiche agro-energetiche della soia (Bordoni, et al., 2013)

Resa in semi	t/ha	2-4
Contenuto in olio	%	18-21
Resa in olio	t/ha	0,4-0,8
Potere calorifico inferiore olio	GJ/t	36,4-37,2
Contenuto in energia dell'olio	GJ/ha	15-30

Tabella 7. Superficie, produzione raccolta e rese di girasole, soia e colza nelle regioni italiane con particolare focus alle regioni marchigiane nell'anno 2009 (Bordoni, et al., 2013)

Regioni	Girasole			Soia			Colza		
	Superfici e (ha)	Produzione e raccolta (t)	Resa (t/ha)	Superfici e (ha)	Produzione e raccolta (t)	Resa (t/ha)	Superfici e (ha)	Produzione e raccolta (t)	Resa (t/ha)
Piemonte	7006	19460,7	2,78	6421	14942,5	2,33	1260	2056,1	1,63
Valle d'Aosta	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lombardia	1335	5226,8	3,92	21105	82657,8	3,92	4596	12925,5	2,81
Trentino Alto Adige	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Veneto	1980	5658,6	2,86	67519	251493,1	3,72	1928	6276,9	3,26
Friuli Venezia Giulia	470	1010	2,15	23750	73199	3,08	6284	8792,8	1,4
Liguria	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Emilia-Romagna	5442	14871,5	2,73	19442	61300,8	3,15	2353	7359,5	3,13
Toscana	24396	41606,3	1,71	187	401,4	2,15	982	1347,4	1,37
Umbria	39336	16667	0,42	50	130	2,6	100	282	2,82
Marche	25167	66615	2,21	426	1061	2,49	171	319,8	1,87
Lazio	5291	9163,1	1,73	190	428,7	2,26	4202	3279,5	0,78
Abruzzo	4550	8345	1,83	98	300,5	3,07	3	3	1
Molise	5100	7650	1,5	-	-	-	-	-	-
Campania	340	798	2,35	-	-	-	-	-	-
Puglia	1625	4001	2,46	15	27,6	1,84	100	250	2,5
Basilicata	56	95,7	1,71	-	-	-	327	329,1	1,01
Calabria	48	173,2	3,61	46	430	9,35	272	662,6	2,44
Sicilia	22	83	3,77	-	-	-	5	9,5	1,9
Sardegna	1502	34	0,02	-	-	-	13	11	0,85
ITALIA	123696	190459,5	1,54	139249	486372,4	3,49	22596	43904,7	1,94

Le colture arboree, come la palma e la jatropha, hanno valori della resa in materia prima (frutti o semi in questo caso) ed in olio non confrontabili con quella delle erbacee. La palma d'olio è una delle più importanti dal punto di vista economico. Originaria della zona africana, è ampiamente coltivata nel Sud-Est asiatico ed in America.

I tre paesi dove si concentra l'80% della produzione sono Malesia, Indonesia e Nigeria con rese di frutti estremamente differenti. In Asia, infatti, i numeri si aggirano a valori 7 volte superiori a quelli nigeriani. La resa in frutti mondiale è quindi variabile in un ampio range che va da 2 a 25 t/ha con un contenuto medio di olio pari circa al 20/25% ed una resa in olio che oscilla tra 1 e 7 t/ha.

In Tabella 8 le caratteristiche agro-energetiche della palma da olio.

Tabella 8. *Caratteristiche agro-energetiche della palma da olio (Bordoni, et al., 2013)*

Resa in frutti	t/ha	2-24,7
Contenuto in olio nel frutto	%	20-25
Resa in olio	t/ha	1-7
Potere calorifico inferiore olio	GJ/t	36,2-37,4
Contenuto in energia dell'olio	GJ/ha	40-250

La Jatropha è invece una pianta tropicale i cui frutti non sono direttamente commestibili per uomini o animali. Opportunamente trattati lo diventano con rese di frutti ampiamente variabili tra 0,1 e 12 t/ha, contenuti di olio nei semi pari a 28-38 t/ha e rese in olio comprese tra 0,04 e 3,5 t/ha. In Tabella 9 le caratteristiche agro-energetiche della jatropha.

Tabella 9. *Caratteristiche agro-energetiche del jatropha*

Resa in semi	t/ha	0,1-12
Contenuto in olio nel seme	%	28-38
Resa in olio	t/ha	0,04-3,5
Potere calorifico inferiore olio	GJ/t	36,4-39,9
Contenuto in energia dell'olio	GJ/ha	1,5-130

4.5. Produzione di energia elettrica e termica da bioliquidi

Gli OVP sono interessanti fonti energetiche utilizzabili come alternative alle classiche fonti fossili per la produzione di energia termica ed elettrica. Il processo di produzione avviene utilizzando sistemi a combustione interna, come motori diesel o caldaie (Bordoni, et al., 2013). Nel 2020 le fonti rinnovabili di energia (FER) hanno confermato un ruolo da protagonista nel panorama energetico italiano, sia per la produzione di energia elettrica (settore elettrico), sia per il riscaldamento e il raffreddamento (settore termico) e nei trasporti. Per quel che riguarda il primo settore, quello elettrico, a fine 2020 la potenza efficiente lorda dei circa 949.000 impianti a fonti rinnovabili installati in Italia è stata pari a 56,6 GW; l'incremento rispetto al 2019 (+2,0%) è legato principalmente alle nuove installazioni di impianti fotovoltaici (+785 MW) ed eolici (+192 MW).

Nel 2020 la fonte energetica rinnovabile che garantisce il principale contributo alla produzione complessiva di energia elettrica da FER è quella idroelettrica (40,7% del totale); seguono solare (21,3%), bioenergie (16,8%), eolica (16,0%) e geotermica (5,2%) (GSE, 2022)

Il settore termico ha visto invece nel 2020 poco meno di un quinto (19,9%) dei consumi energetici provenire da fonti rinnovabili. I consumi complessivi di energia termica da FER sono pari a 120,9 TWh di questi, 109,3 TWh sono consumi diretti delle fonti (attraverso caldaie individuali, stufe, camini, pannelli solari, pompe di calore, impianti di sfruttamento del calore geotermico) mentre 11,6 TWh è costituito da consumi di calore derivato (ad esempio attraverso sistemi di teleriscaldamento alimentati da biomasse) (GSE, 2022).

L'utilizzo dei bioliquidi per fini di produzione elettrica ha visto un lieve decremento (-0,2%) rispetto a quelli del 2019. La potenza efficiente lorda installata da impianti alimentati da bioliquidi si attesta a 966 MW quota superiore alla sola fonte geotermica. La produzione lorda di energia elettrica da bioliquidi calcolata nel 2020 è pari a 4,7 TWh su un totale di 116,9 TWh da FER. Nel settore termico l'utilizzo dei bioliquidi è da registrare solo in impianti di cogenerazione. (GSE, 2022).

Per quel che riguarda i consumi finali lordi di energia da fonti rinnovabili, tutte le bioenergie (biomasse solide, frazione biodegradabile dei rifiuti, biogas e bioliquidi sostenibili) coprono un consumo pari a 19,3 TWh nel settore elettrico e 87,6 TWh nel settore termico. Quest'ultimo dato, seppur possa sembrare particolarmente elevato, è falsato dalla presenza, nella quota delle

bioenergie, delle biomasse solide utilizzate soprattutto nel settore domestico, in forma di legna da ardere e pellet.

Il consumo finale di energia da fonti rinnovabili totale nel 2020 è stato pari a 254,7 TWh con una larga percentuale per la produzione di energia elettrica e calore destinato alla vendita nel settore della trasformazione. Tale settore comprende la produzione di energia elettrica e calore destinato alla vendita attraverso impianti di: cogenerazione, sola produzione elettrica e sola produzione termica.

In dettaglio, gli impianti di sola generazione elettrica da fonti rinnovabili, nel 2020, hanno prodotto 107,6 TWh, di cui solo il 2,68% (2,9 TWh) è stato ottenuto dai bioliquidi sostenibili. L'utilizzo dei bioliquidi sostenibili è da annoverare anche negli impianti di cogenerazione con 2,3 TWh su con 20,7 TWh (pari all'11%). Gli impianti invece di sola produzione termica non vedono l'utilizzo di bioliquidi.

Per quanto riguarda gli impianti di produzione elettrica alimentati da bioliquidi, ne esistono 380, con una potenza installata pari a circa 835.000 kW nel 2019. Si registra un lieve decremento nel 2020; 371 impianti per una potenza di 826.000 kW. Su tale dato pesa fortemente la presenza del fotovoltaico che copre il 98,6% del totale del numero degli impianti.

La taglia degli impianti alimentati da bioliquidi presenta perlopiù una concentrazione maggiore nella fascia da 200 kW ad 1 MW (circa 80%), con una piccola quota per potenze minori di 200 kW e maggiori di 50kW (circa 20%). La produzione da fonti rinnovabili vede, come già riportato precedentemente, un totale di 4667 GWh nel 2020 da bioliquidi, con una disomogenea distribuzione nazionale regionale (Figura 11). La Puglia e la Campania mostrano percentuali più elevate che oscillano tra il 15 ed il 20% con l'Emilia-Romagna che si attesta a circa il 14%. La disomogeneità si verifica già dal confronto tra regione del sud Italia, la Calabria e la Sicilia si caratterizzano infatti per percentuali prossime allo 0%. Nel 2020 si rileva un minor impiego di bioliquidi sostenibili rispetto all'anno precedente: da circa 1.019.000 tonnellate a 999.000 tonnellate (-1,9%).

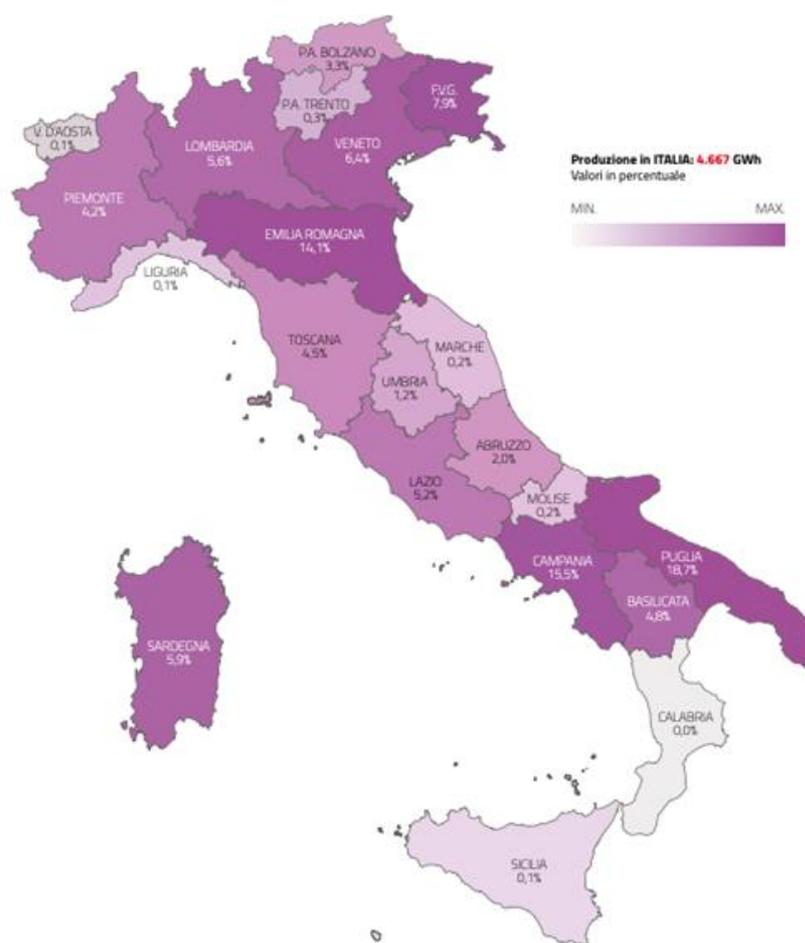


Figura 11. Distribuzione nazionale geografica percentuale della produzione di energia da bioliquidi (GSE, 2022)

Come riportato in Tabella 10, nel 2020 l'olio di palma si conferma come la tipologia di bioliquido maggiormente utilizzato, con 602.694 tonnellate consumate (60% sul totale), in diminuzione del 8,5% rispetto al 2019. A seguire, la seconda categoria di bioliquidi più consumati sono gli oli e grassi animali, il cui impiego (161.899 tonnellate) registra una crescita del 18% rispetto all'anno precedente. Inoltre, si rileva un aumento simile, rispetto al 2019 anche nei consumi di olio di soia (+8,1%) e di olio di mais, mentre si riduce il consumo di olio di colza (Tabella 10)

Tabella 10. Consumi (ton) annuali di oli prodotti dalle differenti materie prime (GSE, 2022)

	2016		2017		2018		2019		2020	
	Consumo (ton)	%								
Olio di palma	674783	66	630383	65	564416	60	658388	65	602694	60

Oli e grassi animali	95034	9	110984	11	141482	15	136873	13	161899	16
Olio di soia	62240	6	65528	7	64829	7	71016	7	76775	8
Derivati da oli vegetali	86318	8	61872	6	64604	7	63695	6	62548	6
Olio di girasole	16616	2	35671	4	40667	4	47706	5	56262	6
Olio di colza	81480	8	61421	6	61239	7	40286	4	37034	4
Olio di mais	-	-	-	-	-	-	128	0	1385	0
UCO	381	0	22	0	525	0	589	0	248	0
Totale	1016852	100	965880	100	937763	100	1018682	100	998845	100

L'utilizzo dei bioliquidi per la produzione di energia nei sistemi di combustione tradizionali passa attraverso una serie di considerazioni sulla natura chimica e fisica della fonte energetica, come già riportato precedentemente.

Nonostante quanto esposto, la produzione di energia elettrica da bioliquidi è sicuramente una strada praticabile. Nella fascia nord-europea case costruttrici sono presenti sul mercato per commercializzare gruppi elettrogeni per la produzione di energia elettrica da OVP. L'utilizzo di tali gruppi è ovviamente da preferire quando si vuole chiudere il cerchio in maniera virtuosa in contesti agro-industriali. Le taglie dei gruppi elettrogeni possono variare dai pochi kW ai MW con rendimenti che possono discostarsi anche di molto.

Come riportato in Tabella 11 il rendimento cresce leggermente al variare della taglia del gruppo. Assestandosi due taglie piccole (0,20-0,35 MW) si aggira tra il 35-38% mentre raggiunge punte del 50% per gruppi di taglie maggiori di 10 MW (Bordoni, et al., 2013).

Tabella 11. Rendimenti dei gruppi elettrogeni per taglie di potenza (Bordoni, et al., 2013)

Potenza	Rendimento	Consumo di olio vegetale
MW elettrici	%	Kg/kWh elettrico
0,2-0,35	35-38	0,25-0,28

1-2	45-47	0,2-0,22
>10	47-50	0,19-0,2

In Figura 12 viene riportato uno schema base di un impianto di produzione combinata di energia elettrica/termica.

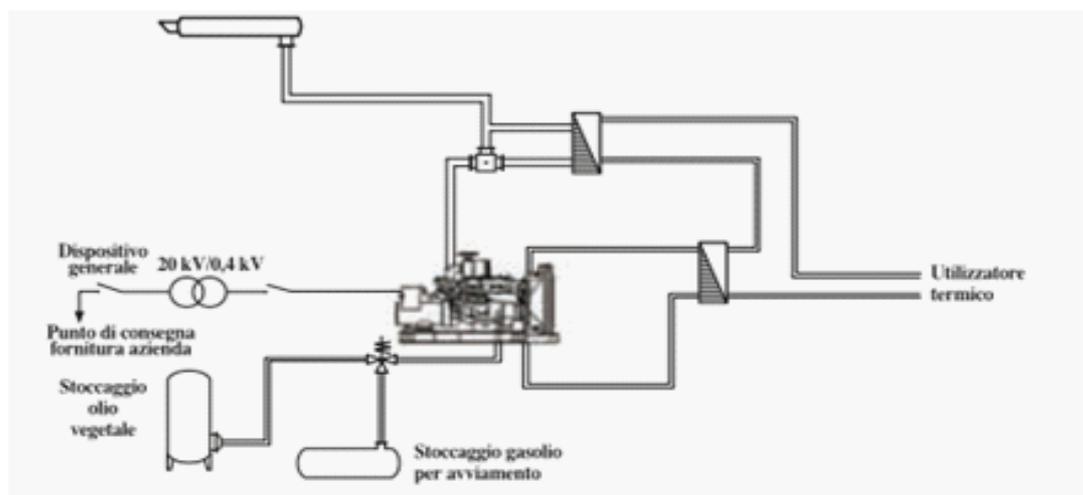


Figura 12. Schema base di un impianto di produzione combinata di energia elettrica/termica (Bordoni, et al., 2013)

La filiera degli oli vegetali è quindi particolarmente flessibile per gli sbocchi di mercato che offre. In tal senso l'utilizzo degli oli vegetali puri per la produzione, in assetto cogenerativo, può essere virtuoso in un'ottica di economia circolare ed in particolare quando:

- sono impiegati risorse di provenienza locale;
- si realizzano impianti in piccola scala;
- si lavora in assetto cogenerativo.

4.6. Impatti socio-economici della filiera

Gli aspetti socio-economici della filiera di produzione dei bioliquidi possono essere affrontati su differenti scale, partendo da quella locale e fino a quella globale.

La materia prima da cui sono prodotti gli OVP, i semi oleaginosi, hanno un duplice mercato, alimentare e per la produzione energetica, sia essa connessa alla produzione elettrica e/o ai trasporti (miscelazione con biodiesel). Tali mercati si sovrappongono, rendendo difficoltoso delineare su larga scala quale quota parte della produzione mondiale sia finalizzata al mercato alimentare e quale a quello energetico. Di sicuro le evidenze mostrano un importante impatto ambientale e sociale per la massiva produzione di semi oleaginosi che ha indotto valutazioni su larga scala, soprattutto nelle zone del mondo maggiormente interessate a tali coltivazioni. Tra le colture maggiormente impattanti dal punto di vista sociale c'è, senza dubbio, la palma da olio.

Uno degli aspetti sicuramente di interesse è la questione relativa alle accise.

Tali combustibili, infatti, venivano assoggettati ad applicazione di accisa piena pari a circa il 60-70% del prezzo alla pompa. La legge finanziaria D.Lgs 26/2007 (Decreto Legislativo 02.02.07, 2007) introdusse importanti novità che recepirono le richieste provenienti da più parti, esentando dall'accisa gli oli vegetali non modificati chimicamente, utilizzati nella produzione, diretta o indiretta, di energia elettrica, per esempio, nei macchinari impiegati per i lavori agricoli. Merita di essere inoltre citato l'art. 26 comma 4 bis, della legge 29 del 2007 che prevede che *“gli imprenditori che autoproducono gli oli vegetali per autoconsumo quale carburante nel parco macchine aziendale fino a 5 tonnellate non sono soggetti a deposito fiscale”*.

Il meccanismo dell'incentivazione della produzione elettrica da OVP nasce con il D. Lgs. 77/99 (Decreto Bersani) con il quale si sanciva che anche l'energia generata da motori alimentati ad OVP può beneficiare dei Certificati Verdi (CV).

Sulla base dell'Art. 26 comma 4-bis della Legge 222 l'olio vegetale puro può beneficiare delle nuove tariffe per i certificati verdi “agricoli” a patto che vengano da intese di filiera o contratti quadro o da filiere corte (raggio 70 km). La legge 99 del 2009 sanciva quindi:

- Impianti inferiori ad 1 MW;
- 0,28 €/kWh prodotto da impianti alimentati da OVP tracciabili;
- 0,22 €/kWh prodotto da impianti alimentati da OVP non tracciati (entrati in funzione dal 01.01.2008 al 15.08.2009);
- 0,18 €/kWh prodotto da impianti alimentati da OVP non tracciati;
- Impianti superiori a 1MW;
- coefficiente moltiplicativo di 1,8 sul valore dei CV.

Subentra in questo scenario l'importanza quindi della tracciabilità attuata al fine di certificare la provenienza delle materie da prodotti agricoli di origine comunitaria per la corretta erogazione degli incentivi. Tale tracciabilità è stata sancita con circolare del MIPAAF (Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali) ed attribuisce all'AGEA (Agenzia per le erogazioni in agricoltura) la competenza in materia di applicazione del Sistema Integrato di Gestione e Controllo ai sensi del Reg. CE 73/2009 assicurando difatti la certificazione dell'intero ciclo produttivo delle materie prime agricole utilizzate ai fini della tracciabilità degli oli puri vegetali di provenienza nazionale e comunitaria. I servizi informatici e di controllo sono assicurati utilizzando l'infrastruttura applicativa del Sistema Informativo Agricolo Nazionale (SIAN), sulla base dei requisiti di tracciabilità dettati dal Gestore di Servizi Energetici (GSE).

Il grafico in Figura 13 mostra il peso percentuale degli oli vegetali usati per produrre biodiesel ed elettricità in Italia dal 2009 al 2019. L'evidenza è un graduale abbandono di utilizzo negli anni dell'olio di colza. Nel 2009, infatti, la colza (in blu in Figura 13) era utilizzata per la produzione di oli vegetali per biodiesel ed energia elettrica quasi alla pari dell'olio di palma (in rosa in Figura 13). Sorte simile per l'olio di soia, che ha visto un decremento dal 2009 al 2013, portandosi quasi a zero, per poi subire un nuovo incremento con un tasso di crescita inferiore fino al 2019. Il grafico in Figura 14 mostra invece come l'utilizzo massivo dell'olio vegetale prodotto da palma

d'olio abbia subito un aumento esponenziale dal 2009 al 2015 per poi subire un lieve decremento fino al 2019 assestandosi comunque a valori maggioritari se confrontati agli altri oli.

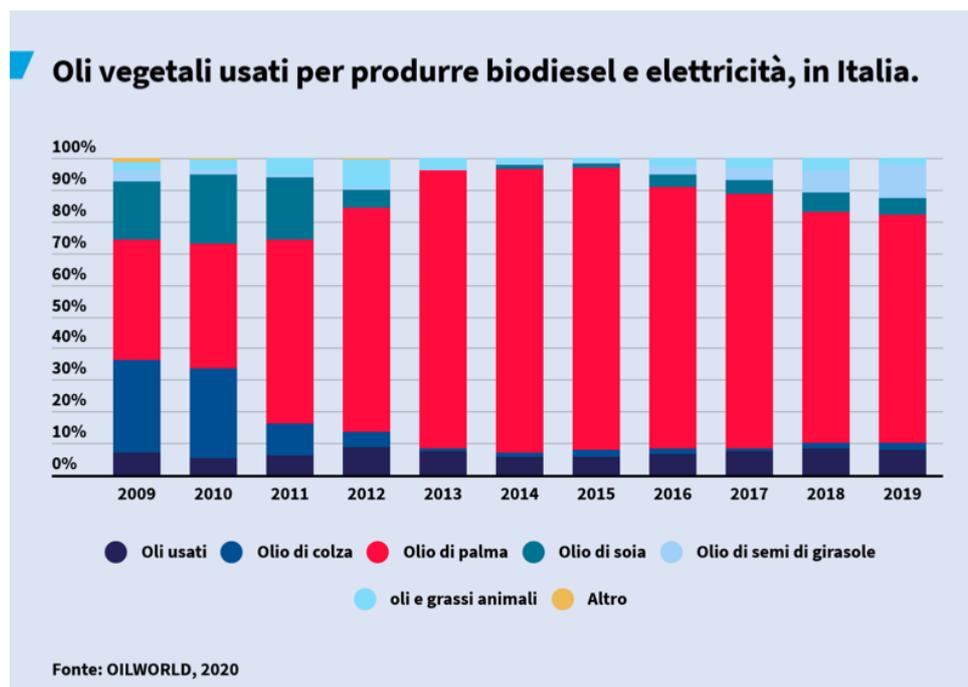


Figura 13. Oli vegetali usati per produrre biodiesel ed elettricità, in Italia (www.oilworld.biz, 2020)

I numeri mostrano quindi che, nelle valutazioni sociali e di impatto della filiera dei bioliquidi, la produzione di olio vegetale da olio di palma riveste un ruolo prioritario. In questo senso gli incentivi e le politiche di sostegno possono essere viatico per una spinta errata verso l'utilizzo di fonti a forte impatto sociale, soprattutto se le operazioni di tracciamento delle stesse non sono sempre praticabili. In questo senso, un importante report di Legambiente del luglio del 2020 evidenziava operazioni di *greenwashing* nel mercato dei biocarburanti a danno dei consumatori e con gravi impatti sociali a livello mondiale. Il focus del report riporta come gli utilizzi degli oli vegetali per usi alimentari sia diminuito negli ultimi anni a vantaggio degli utilizzi per il trasporto e la produzione energetica. Il peso dei consumi totali di oli vegetali si aggirava intorno a 5,7 milioni di tonnellate (www.oilworld.biz, 2020) con i connessi impatti sociali che ne scaturiscono. Di seguito la Figura 15 e la Figura 16 mostrano questa inversione di tendenza tra usi alimentari ed usi energetici. Nel 2010, 2 milioni di tonnellate sono state utilizzate per fini energetici, mentre 3,7 tonnellate per usi alimentari. Tra il 2013 ed il 2014 si è evidenziata una inversione di tendenza, con consumi per fini energetici assestati intorno alle 3,8 tonnellate contro le 3,3 per usi alimentari. Tale differenza si è fatta via via più marcata portandosi nel 2019 ad una differenza notevole, 5,7 tonnellate per usi energetici 2,8 per usi alimentari.

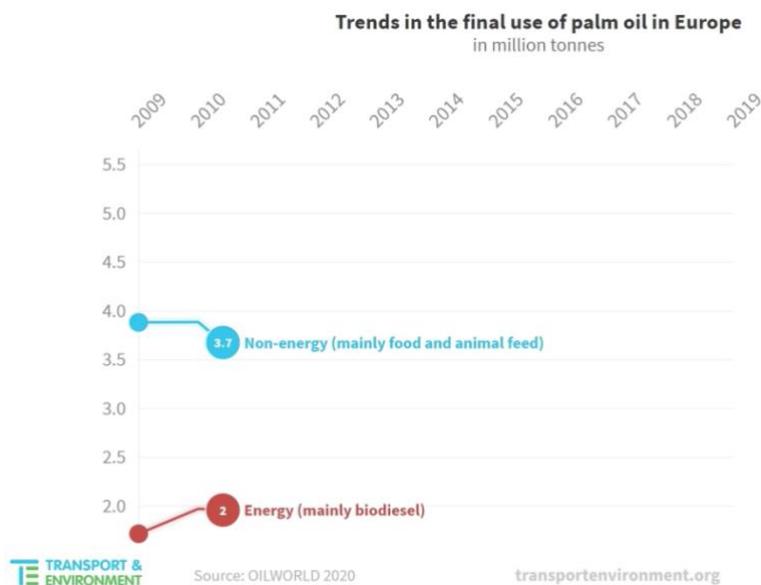


Figura 14. Trend nel quantitativo di olio di palma utilizzato per fini energetici ed alimentari, espressi in milioni di tonnellate (www.oilworld.biz, 2020)

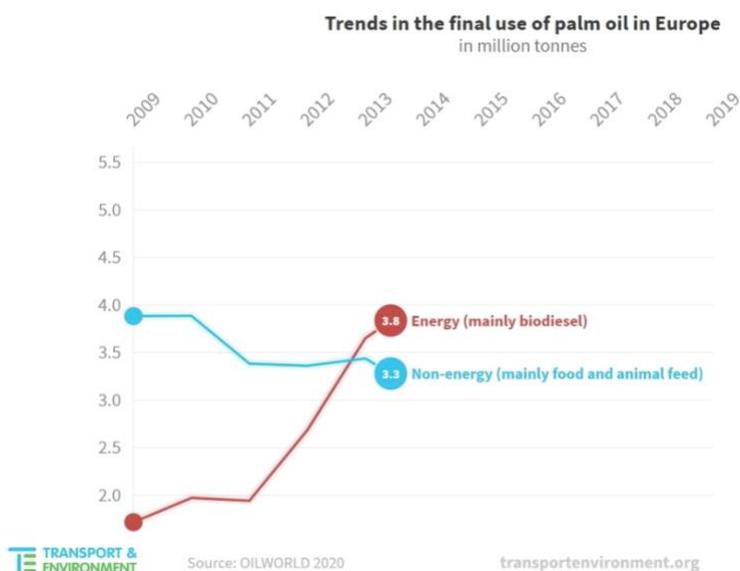


Figura 15. Tendenza nel quantitativo di olio di palma utilizzato per fini energetici ed alimentari, espressi in milioni di tonnellate (www.oilworld.biz, 2020)

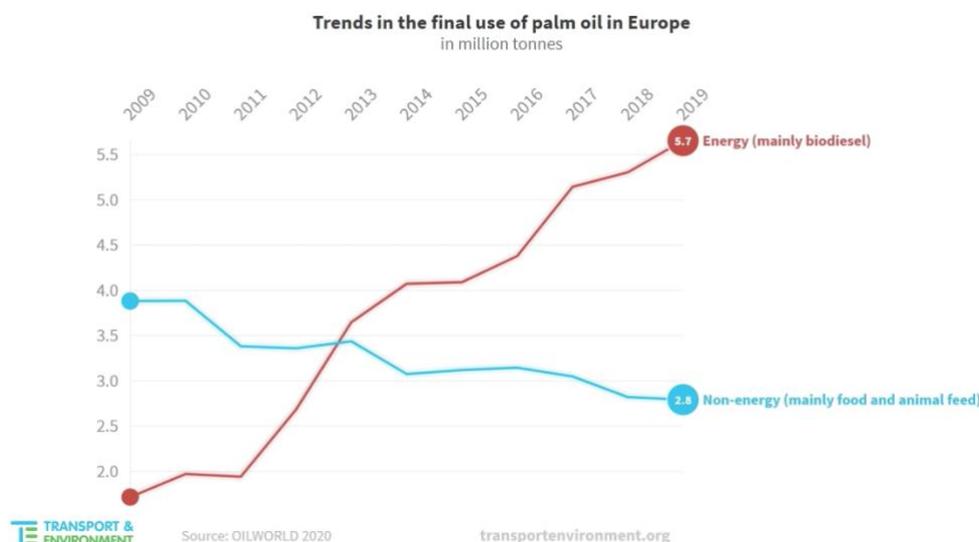


Figura 16. *Tendenza nel quantitativo di olio di palma utilizzato per fini energetici ed alimentari, espressi in milioni di tonnellate (www.oilworld.biz, 2020)*

Lo scenario emerso dal lavoro di Legambiente consegna una rappresentazione chiara di come l'utilizzo massivo dell'olio di palma quale combustibile per la produzione energetica possa avere un impatto sociale importante, soprattutto se la tracciabilità decade. I maggiori produttori di olio di palma sono perlopiù asiatici, con l'Indonesia che è tra le maggiori interessate a questo mercato. La forte spinta all'utilizzo di oli vegetali per la produzione energetica esaspera quindi la produzione dei semi oleaginosi da utilizzare come materia prima, avendo ricadute a livello globale socioeconomico ed ambientali, che verranno discusse nel seguito. In risposta al report di Legambiente in Italia è stato definito che da gennaio 2023 l'olio di palma e di soia saranno esclusi dalla produzione di biocarburanti e di elettricità (Phalan, et al., 2013).

Di seguito, la Figura 17 ci mostra le zone del mondo dove la coltura di semi oleaginosi è maggiormente praticabile e dove, conseguentemente, gli impatti sociali della coltura massiva dei semi oleaginosi sono di maggior rilievo.

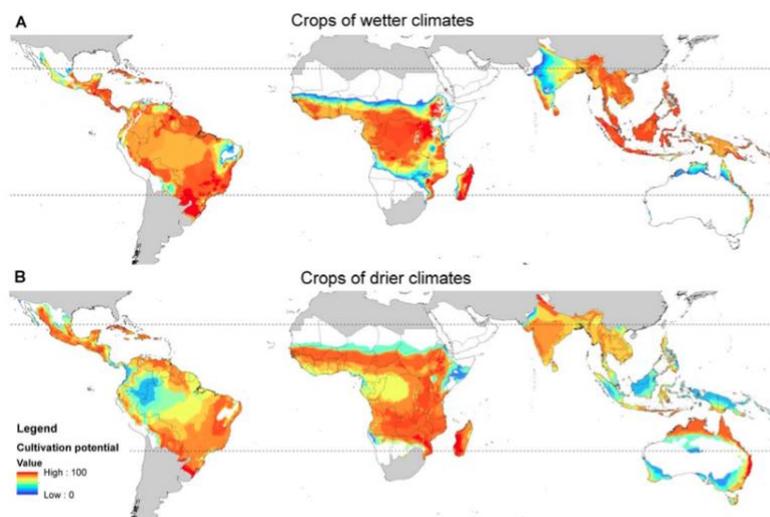


Figura 17. Aree del mondo maggiormente interessate alla coltura di semi oleaginosi (Phalan, et al., 2013)

4.7. Impatti ambientali e strumenti di sostenibilità della filiera

La valutazione della sostenibilità ambientale di filiere agro-energetiche può comportare l'analisi di numerosi impatti e altrettanti indicatori.

Come si evince dal report di Legambiente del luglio del 2020 e come già riportato nel par. 4.6, la forte spinta all'utilizzo di oli vegetali per la produzione energetica esaspera la produzione dei semi oleaginosi da utilizzare come materia prima, avendo ricadute a livello globale sulla deforestazione, la perdita di biodiversità e l'incremento delle emissioni di gas serra.

La valutazione di sostenibilità per essere considerata un'analisi completa dovrebbe includere la valutazione:

- delle principali emissioni in aria, acqua e terreno;
- della produzione di rifiuti;
- del consumo di risorse;
- delle implicazioni associate all'eventuale cambio d'uso del suolo.

Non è sempre possibile correlare univocamente cause e conseguenze, cioè impatti ed effetti ambientali, in quanto ogni impatto è sempre associato a più effetti. In definitiva, quindi, è possibile ottenere dati numerici sugli impatti, ma è invece possibile solamente una stima degli effetti ambientali sulla base di ipotesi e convenzioni.

Appare evidente che per valutare l'inquinamento ambientale, bisogna considerare tre fattori: l'emanazione di sostanze nocive (emissione), la diffusione e trasformazione di sostanze introdotte nell'ambiente (trasmissione) e la concentrazione o deposizione di inquinanti nel luogo d'azione (immissione).

È possibile affermare che, la sostenibilità ambientale delle filiere agro-energetiche è stimata attraverso l'utilizzo di specifici indicatori che possano fornire informazioni quantitative circa il

conseguimento di obiettivi di miglioramento ambientale. Fra questi indicatori risultano particolarmente significativi la CO₂ equivalente, l'Energy Use, il consumo di acqua e il Land Use Change.

La CO₂ equivalente è un indicatore che permette di correlare le emissioni di determinati composti presenti in atmosfera all'effetto serra.

I principali gas serra sono:

- Anidride carbonica;
- Metano;
- Protossido di Azoto;
- Alocarbururi;

L'indicatore *Energy Use* (CER, *Cumulated Energy Requirement*) è utilizzato per valutare il consumo energetico complessivo di fonti fossili durante la produzione di un determinato prodotto.

Il consumo complessivo di acqua è identificato come uno degli indicatori di importanza maggiore a livello internazionale. Nel caso delle filiere agro-energetiche, questo indicatore è introdotto per verificare quanto le colture possano incidere su una risorsa critica soprattutto in quelle regioni classificate povere di acqua.

Il *Land Use Change* (LUC) è ritenuto un aspetto importante per poter valutare come un eventuale cambio d'uso del suolo possa produrre effetti sull'ambiente (MIPAAF)

La metodologia più utilizzata per valutare la sostenibilità ambientale delle filiere in generale e valida anche per quelle agro-energetiche è la LCA (Life Cycle Assessment).

A conferma dell'importanza delle valutazioni di impatto ambientale dei bioliquidi è da citare un interessante studio di LCA effettuato nel 2015 (Schmidt, 2015). Lo scopo del lavoro è stato quello di valutare ed ottenere informazioni ambientali sui cinque differenti oli vegetali prodotti su larga scala (Olio di palma, olio di soia, olio di girasole, olio di colza, olio di arachidi). In aggiunta, gli autori si sono focalizzati sul valutare la risposta del mercato e le conseguenze ambientali dalla rimozione di uno dei cinque oli dal mercato sostituendolo con una miscela degli altri quattro. L'unità funzionale utilizzata è stata una tonnellata di olio prodotto.

Alla luce della normativa comunitaria si definisce una metodologia applicata per i biocombustibili liquidi che siano prodotti all'interno o all'esterno dell'UE. I criteri di sostenibilità da verificare per il rispetto degli obiettivi nazionali sono fissati dalle diverse direttive e dagli obblighi in materia di energie rinnovabili. Ciò per determinare se il loro consumo possa beneficiare di sostegno finanziario pubblico.

La prima direttiva "Renewable Energy Directive" – RED (EU, 2009) oltre a illustrare gli sforzi della comunità scientifica ed industriale in studi di base e di ricerca applicata sui biocombustibili e bioliquidi per differenti applicazioni, definisce i criteri di sostenibilità (Art.17). A dicembre del 2018, i target sono stati aggiornati con la pubblicazione di una seconda direttiva (Decreto-Legge 31.03.11, 2011) che ha spinto in avanti la prospettiva di utilizzo delle RES al 32 % entro il 2030. I

criteri di sostenibilità della RED imponevano che i biocarburanti e gli altri bioliquidi rispettassero una serie di indicazioni di tipo ambientale, sociale ed economico.

In merito ai criteri di sostenibilità ambientale, nella RED è stata sviluppata una vera e propria metodologia sulla base di metodologie di valutazione standardizzate e riconosciute a livello internazionale.

All'art.17 della RED si impone che i biocarburanti e gli altri bioliquidi non devono essere prodotti a partire da materie prime ottenute su terreni che presentano un elevato valore in termini di biodiversità (come, ad esempio, le aree naturali e/o protette) o che presentano un elevato stock di carbonio (come le zone umide o le zone boschive continue o le zone che erano torbiere nel gennaio 2008).

Le differenze tra la normativa RED e quella RED-II non sono sostanziali e impongono che i biocombustibili non devono contribuire ad incoraggiare la distruzione di terreni ricchi di biodiversità, ma al contrario devono promuovere l'utilizzo di terreni degradati.

Nello specifico i biocombustibili non potranno essere prodotti: *“a partire da materie prime ottenute su terreni che presentano un elevato valore in termini di biodiversità, ossia terreni che nel gennaio 2008 o dopo possedevano uno degli status seguenti, indipendentemente dal fatto che abbiano o no conservato detto status”*:

- foreste primarie e altri terreni boschivi, ossia foreste primarie e altri terreni boschivi di specie native, ove non vi siano segni chiaramente visibili di attività umane e i processi ecologici non siano perturbati in modo significativo;
- foreste a elevata biodiversità e altri terreni boschivi ricchi di specie e non degradati o la cui elevata biodiversità sia stata riconosciuta dall'autorità competente, a meno che non sia dimostrato che la produzione delle già menzionate materie prime non ha interferito con quelle finalità di protezione della natura;
- aree designate:
 - ai sensi di legge o dall'autorità competente per finalità di protezione della natura;
 - per la protezione di ecosistemi o specie rari, minacciati o in pericolo di estinzione riconosciuti da accordi internazionali o inclusi in elenchi compilati da organizzazioni intergovernative o dall'Unione internazionale per la conservazione della natura, previo il loro riconoscimento secondo la procedura di cui all'articolo 30, paragrafo 4, primo comma;

a meno che non sia dimostrato che la produzione delle predette materie prime non ha interferito con la finalità di protezione della natura;

- terreni erbosi naturali ad elevata biodiversità aventi un'estensione superiore a un ettaro, ossia:
 - terreni erbosi che rimarrebbero tali in assenza di interventi umani e che mantengono la composizione naturale delle specie nonché le caratteristiche e i processi ecologici;
 - terreni erbosi non naturali, ossia terreni erbosi che cesserebbero di essere tali in

assenza di interventi umani e che sono ricchi di specie e non degradati e la cui elevata biodiversità è stata riconosciuta dall'autorità competente, a meno che non sia dimostrato che il raccolto delle materie prime è necessario per preservarne lo status di terreni erbosi ad elevata biodiversità.

I criteri di sostenibilità di cui all'Allegato V del RED-II riprendono quelli del RED e definiscono la metodologia di calcolo dei gas ad effetto serra da utilizzarsi per verificare le riduzioni (GHG savings). In Tabella 12 si riportano i parametri utilizzati nella formula seguente per il calcolo delle emissioni di gas serra di cui all'allegato V.

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr}$$

Tabella 12. Definizione dei parametri per il calcolo dei gas serra (All.V, punto C, RED-II)

Parametro	Definizione
E	Totale delle emissioni derivanti dall'uso del carburante
e_{ec}	Emissioni derivanti dall'estrazione o dalla coltivazione delle materie prime
e_l	Emissioni annualizzate risultanti da modifiche delle scorte di carbonio a seguito del cambiamento della destinazione d'uso dei terreni
e_p	Emissioni derivanti dalla lavorazione
e_{td}	Emissioni derivanti al trasporto e alla distribuzione
e_u	Emissioni derivanti dal carburante al momento dell'uso
e_{sca}	Riduzioni delle emissioni grazie all'accumulo di carbonio nel suolo mediante una migliore gestione agricola
e_{ccs}	Riduzioni delle emissioni grazie alla cattura e al sequestro di CO ₂
e_{ccr}	Riduzione delle emissioni grazie alla cattura e alla sostituzione di CO ₂

La formula invece per il calcolo delle riduzioni delle emissioni di gas serra di cui all'Allegato V punto C della RED-II è la seguente, mentre le definizioni dei parametri utilizzati sono riportate in

Tabella 13.

$$Riduzione = (EC_{B(h\&c,el)} - EC_{B(h\&c,el)}) / EC_{F(h\&c,el)}$$

Tabella 13. Definizione dei parametri utilizzati per il calcolo delle riduzioni delle emissioni di gas serra (All.V, punto C, RED-II)

Parametro	Definizione
$EC_{B(h\&c,el)}$	Totale delle emissioni derivanti dal calore o energia elettrica
$EC_{F(h\&c,el)}$	Totale delle emissioni derivanti dal combustibile fossile di riferimento per il calore utile o l'energia elettrica

4.7.1. RSPO – Roundtable on Sustainable Palm Oil

La RSPO è un'organizzazione non governativa multi-stakeholder fondata nel 2004 con l'obiettivo di favorire un processo di minimizzazione degli impatti ambientali e sociali derivanti dalla coltivazione di olio di palma, attraverso l'introduzione di uno standard di sostenibilità composto da diversi parametri sociali, economici e ambientali. La certificazione RSPO è il principale standard di sostenibilità a livello internazionale. Ad oggi milioni di tonnellate di olio di palma (il 20% del totale della produzione mondiale) sono prodotti in maniera sostenibile, coprendo circa 3,5 milioni di ettari di piantagioni. Punto di forza della certificazione RSPO è il ricorso a organismi di certificazione indipendenti, che assicurano la certificazione del prodotto lungo l'intera filiera.

Lo standard e la certificazione RSPO si propongono di tutelare il mercato, l'industria e la catena di approvvigionamento dalla diffusione indiscriminata dell'olio di palma, la cui produzione incontrollata sta mettendo a rischio importanti zone di foresta pluviale o aree prima adibite a produzione alimentare, che vengono convertite alla coltivazione della palma da olio.

La sostenibilità produttiva dell'olio da palma impone quindi delle considerazioni economiche, ambientali e sociali importanti che sono istituite da un set di principi e criteri (*Principles and Criteria, P&C*) che ne delineano indicatori e linee guida. La prima lista di P&C fu emanata nel 2007, messa in prova tra il novembre del 2005 ed il medesimo mese del 2007 in una lista di paesi ben definita. La prima revisione fu emessa nel 2013 a cui ha fatto seguito quella nel 2018. Dal punto di vista sociale, la RSPO ed i suoi membri riconoscono e supportano la Dichiarazione dei diritti umani delle Nazioni Unite (UN, 1948). La RSPO P&C è quindi applicabile per garantire che la filiera della produzione di olio di palma sia sostenibile a livello mondiale. Tale lista di criteri e principi copre impatti ambientali e sociali relativi alle sementi, ai prodotti chimici e all'acqua e impatti sociali legati al lavoro nelle fattorie e alle relazioni con la comunità. La RSPO ha inoltre emesso una roadmap per la teoria del cambiamento (*Theory of change, ToC*), che dimostra come la stessa associazione creda di poter raggiungere una sostenibilità del sistema produttivo dell'olio di palma attraverso una visione di insieme dello stesso che non trascuri nessuna delle differenti categorie di impatto e tenda a minimizzarle ed equilibrarle, per quanto possibile. In figura 18, una rappresentazione grafica del piano di lavoro rilasciato dal RSPO.

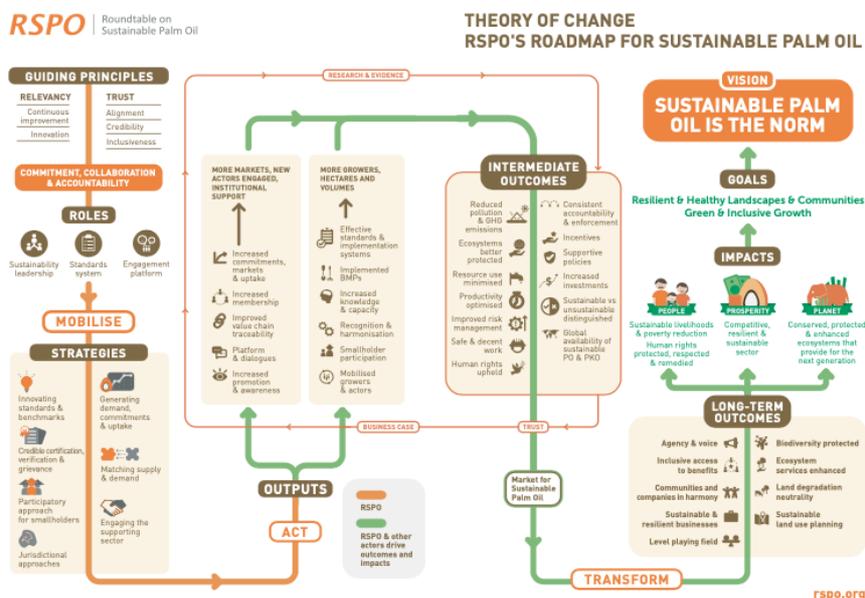


Figura 18. RoadMap della teoria del cambiamento (ToC) identificata dall'RSPO (RSPO, 2021)

I principi e i criteri dell'RSPO sono organizzati in tre specifiche categorie di impatto in accordo con la ToC. In figura 19 Sono esemplificati gli obiettivi dei diversi impatti (prosperità, persone e pianeta) basati su 7 diversi principi.



Figura 19. Struttura grafica dell'RSPO P&C.

Inoltre, nelle Tabella 14, Tabella 15 e Tabella 16, sono riportati gli obiettivi dell'RSPO e relativi principi.

Tabella 14. Obiettivo prosperità dell'RSPO P&C (2021).

<p>Obiettivo: Prosperità</p> <p><i>Settore competitivo, resiliente e sostenibile</i></p>	<p>Un settore dell'olio di palma sostenibile, competitivo e resiliente garantisce la redditività a lungo termine dell'intera catena di approvvigionamento e vantaggi condivisi sia per il settore privato che per i mezzi di sussistenza delle comunità in cui viene coltivata la palma da olio.</p> <p>Un efficace sistema di pianificazione e gestione affronta la fattibilità economica, la conformità ambientale e sociale e il rischio, stabilisce procedure e sistemi per garantire la conformità alla RSPO P&C e supporta il miglioramento continuo verso l'olio di palma sostenibile</p>
<p>Principio 1</p>	<p>Comportarsi in modo etico e trasparente</p>
<p>Principio 2</p>	<p>Operare legalmente e rispettare i diritti</p>
<p>Principio 3</p>	<p>Ottimizza produttività, efficienza, impatti positivi e resilienza</p>

Tabella 15. Obiettivo persone dell'RSPO P&C.

<p>Obiettivo: Persone</p> <p><i>Mezzi sostenibili di sussistenza e riduzione della povertà</i></p>	<p>Diritti umani tutelati, rispettati e sanati. Il settore dell'olio di palma contribuisce a ridurre la povertà e la produzione di olio di palma è una fonte di sostentamento sostenibile.</p> <p>I diritti umani sono rispettati. Le persone partecipano ai processi che le riguardano con accesso e vantaggi condivisi.</p> <p>Tutti coloro che sono impegnati nella produzione di olio di palma hanno pari opportunità di realizzare il proprio potenziale nel lavoro e nella comunità con dignità ed uguaglianza e in un ambiente di lavoro e di vita sano</p>
<p>Principio 4</p>	<p>Rispetta la comunità ed i diritti umani ed offri vantaggi</p>
<p>Principio 5</p>	<p>Sostenere l'inclusione dei piccoli proprietari</p>
<p>Principio 6</p>	<p>Rispetta i diritti e le condizioni dei lavoratori</p>

Tabella 16. Obiettivo pianeta dell'RSPO P&C.

<p>Obiettivo: Pianeta</p> <p>Conservare, proteggere e potenziare gli ecosistemi in modo da prevedere la prossima generazione</p>	<p>Gli ecosistemi e i loro servizi sono protetti, ripristinati e resilienti, supportati da consumo e produzione sostenibili e da una gestione sostenibile delle risorse naturali (in linea con l'SDG 15 – gestire in modo sostenibile le foreste, combattere la desertificazione, fermare e invertire il degrado del suolo, fermare la perdita di biodiversità).</p> <p>Il cambiamento climatico viene affrontato attraverso continue riduzioni di gas serra; l'inquinamento dell'aria e dell'acqua è controllato. C'è una maggiore resilienza nella nostra produzione di cibo e fibre. L'acqua e l'aria sono più pulite e il carbonio viene estratto dall'aria per rigenerare i suoli per le generazioni attuali e future.</p> <p>Gli input diminuiscono mentre i rendimenti vengono mantenuti o addirittura migliorati</p>
<p>Principio 7</p>	<p><i>Proteggere, conservare e valorizzare gli ecosistemi e l'ambiente</i></p>

4.7.2. Roundtable on Responsible Soy Association (RTRS)

La RTRS è stata fondata nel 2006 a Zurigo ed è un'organizzazione senza scopo di lucro che promuove la crescita della produzione, del commercio e dell'uso responsabile della soia. Funziona attraverso la cooperazione con coloro che sono collegati alla filiera della soia, dalla produzione al consumo. Le attività sono portate avanti attraverso una piattaforma globale per il dialogo multi-stakeholder sulla soia responsabile e lo sviluppo, l'implementazione e la verifica di uno standard di certificazione globale.

La missione della RTRS è promuovere la crescita della produzione, del commercio e dell'uso responsabile della soia attraverso la cooperazione con gli attori della filiera della soia dalla produzione al consumo in un dialogo aperto con le parti interessate. Sono quindi inclusi in questo dialogo tra le parti produttori, fornitori, rivenditori, istituzioni finanziarie, organizzazioni della società civile e altri attori rilevanti.

La RTRS funge quindi da facilitatore in un dialogo globale sulla soia responsabile, lavorando attraverso:

- un forum internazionale per discutere e sviluppare soluzioni, con l'obiettivo di raggiungere un consenso sui principali impatti economici, sociali e ambientali della soia tra i vari stakeholder.;
- la promozione di una fitta comunicazione delle questioni relative alla produzione responsabile, alla lavorazione, al commercio e all'uso di prodotti commerciali e al consumo di soia tra i vari stakeholder interessati;
- lo sviluppo e la promozione di definizioni per la produzione, la lavorazione, il commercio e il consumo responsabili della soia;
- il monitoraggio dello stato di produzione, trasformazione, commercio e consumo di soia responsabile, con criteri che tengono conto di aspetti economici, sociali e ambientali, incorporati negli standard RTRS attraverso i suoi principi, criteri, indicatori e sistema di verifica e accreditamento;
- l'organizzazione di tavole rotonde e workshop tecnici.

Nel 2009 sono stati emanati i primi principi di produzione e criteri per la creazione di una filiera sostenibile della soia. Nel 2010 c'è stata l'approvazione della prima versione dello standard RTRS per la produzione responsabile di soia. RTRS aderisce a ISEAL Alliance (l'organizzazione globale per standard di sostenibilità credibili) con l'obiettivo di rafforzare la credibilità e la trasparenza della sua gestione. Nel 2011 fu emessa la prima certificazione al mondo di soia prodotta in maniera responsabile con il commercio delle prime 85.000 tonnellate. Nello stesso anno ci fu l'approvazione del Modulo D per la certificazione della soia RTRS non OGM. Nel 2012 fu siglato l'accordo di doppia certificazione tra Feed Materials Assurance Scheme (FEMAS) e RTRS. Lo schema FEMAS copre tutti gli ingredienti dei mangimi destinati all'alimentazione diretta degli animali e si basa sui principi HACCP, un sistema originariamente sperimentato dall'agenzia spaziale NASA, ma che ora costituisce la base della legislazione alimentare e dei mangimi del

Regno Unito e dell'UE. Tra il 2012 ed il 2015 ci fu l'ampliamento degli standard a paesi quali il Canada e la Cina e la prima task force in Europa. Nel 2016 l'approvazione della versione 3.0 dello standard RTRS per la produzione responsabile di soia che comprendeva i dettami di zero deforestazione/zero conversioni. Nel 2017 furono creati nuovi indicatori sull'uso del Paraquat (un fitofarmaco diserbante complice di intossicazioni alimentari) e l'impegno del suo divieto a partire da gennaio 2021. Nel 2018 furono emanati nuovi modelli di filiera e produzione RTRS. Crediti RTRS non OGM, crediti RTRS non Paraquat, bilancio materiale del paese (Country Material Balance) e crediti regionali RTRS. Nel 2019 c'è stato l'inizio dello sviluppo del nuovo standard RTRS per la produzione responsabile di mais. Infine nel 2020 è stato lanciato il nuovo sistema di fattori di conversione (RTRS Conversion Factor System) della soia RTRS e il calcolatore dell'impronta di soia (Soy Footprint Calculator) mentre nel 2021 lo standard RTRS per la produzione responsabile di soia è riconosciuto come pienamente conforme alle linee guida per l'approvvigionamento di soia FEFAC (The European Compound Feed Manufacturers' Federation) 2021. Inoltre c'è stato nello stesso anno il lancio dello standard RTRS per la produzione responsabile di soia V.4.0 e dello standard RTRS per la produzione responsabile di mais.

Il *Soy Footprint Calculator* dell'RTRS è uno strumento trasparente e pubblico. Consente agli operatori del settore della soia, alle organizzazioni e ai consumatori in generale, di calcolare quanta soia è contenuta in determinati prodotti. Che si tratti di alimenti, mangimi, prodotti a base di soia (olio di soia, farina di soia, pellet di scafo, ecc.) o semi di soia. La RTRS pubblica un rapporto annuale sulla gestione (RTRS Management Report), contenente le informazioni più rilevanti sull'esecuzione e sull'evoluzione delle sue iniziative e attività. Inoltre, ogni anno, RTRS pubblica lo stato finanziario dell'associazione (Annual Financial Report) secondo la legge svizzera.

4.8. Certificazioni legate alla filiera

L'uso di biocarburanti e bioliquidi in sostituzione di quelli di origine fossile è uno degli elementi chiave su cui l'Unione Europea ha puntato in un'ottica di lotta ai cambiamenti climatici.

Gli Stati membri stanno implementando politiche di incentivi a favore di quelle imprese che rispondono a certi criteri di sostenibilità della biomassa prodotta.

Con la Direttiva 2009/28/EC l'Unione Europea richiede infatti ai produttori di biomasse e biocombustibili di rispettare criteri che prevedono:

- La riduzione delle emissioni di gas a effetto serra di almeno il 60% dal 2018;
- La protezione dei territori con elevata biodiversità (foreste primarie, aree protette, etc);
- La salvaguardia dei territori con importanti giacimenti di carbone fossile (foreste, torbiere...);
- attività di protezione di suolo, acqua e aria e il rispetto degli accordi internazionali a livello ambientale e sociale.

Il Decreto Ministeriale 14/11/2019 "*Istituzione del Sistema nazionale di certificazione della sostenibilità dei biocarburanti e dei bioliquidi*", pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del 28 novembre

2019, predispone uno schema di certificazione dei biocarburanti e bioliquidi. La verifica di tale schema, frutto della collaborazione tra il Ministero dell’Ambiente e Accredia, può essere effettuata da organismi accreditati secondo la norma tecnica UNI CEI EN ISO/IEC 17065 dal titolo: “*Valutazione della conformità - Requisiti per Organismi che certificano prodotti, processi e servizi*” e altri documenti obbligatori applicabili.

L’adesione al Sistema Nazionale di Certificazione permette di garantire che su tutta la filiera produttiva, dalla coltivazione o produzione del residuo alla trasformazione in prodotti intermedi, fino alla produzione in biocarburanti (incluso il biometano) o bioliquidi, venga rispettata la sostenibilità con riferimento ai criteri della Direttiva RED – Energie Rinnovabili.

Gli operatori devono dunque dimostrare, tramite una verifica di Parte Terza, che i suddetti criteri vengano soddisfatti lungo l'intera catena di fornitura delle biomasse.

Lo schema certificativo oltre al decreto ministeriale 14/11/2019 è costituito dalle seguenti specifiche tecniche UNI:

- UNI/TS 11429:2020: " Linee guida per la qualificazione degli operatori economici (organizzazioni) della filiera di produzione di biocarburanti e bioliquidi ai fini della rintracciabilità e del sistema di equilibrio di massa";
- UNI/TS 11567:2020" Linee guida per la qualificazione degli operatori economici (organizzazioni) della filiera di produzione del biometano ai fini della rintracciabilità e del sistema di equilibrio di massa"

In aggiunta, rispetto al Servizio Nazionale di Certificazione del Decreto del 14 Novembre 2019 vi sono gli schemi volontari:

- ISCC EU (<https://www.iscc-system.org/>), di iniziativa tedesca e gestito dall’International Sustainability and Carbon Certification;
- 2BSvs (<https://www.2bsvs.org/>), di iniziativa francese e gestito dal consorzio 2BS.

I certificati di conformità, rilasciati secondo lo Schema Nazionale e secondo 2BSvs, hanno validità di 5 anni e il loro mantenimento è subordinato ad audit periodici, mentre i certificati di conformità rilasciati secondo ISCC EU hanno validità annuale.

Gruppo di lavoro

Nome	Ente/im presa	Tipologia	Sito web	Contatti
Giuliana Ansanelli (revisore)	ENEA	Centro di Ricerca	www.enea.it	giuliana.ansanelli@enea.it
Tiziana Beltrani	ENEA	Centro di Ricerca	www.enea.it	tiziana.beltrani@enea.it
Gabriella Fiorentino	ENEA	Centro di Ricerca	www.enea.it	gabriella.fiorentino@enea.it

Antonio Picarelli	ENEA	Centro di ricerca	www.enea.it	antonio.picarelli@enea.it
Silvia Sbaffoni	ENEA	Centro di ricerca	www.enea.it	silvia.sbaffoni@enea.it
Amalia Zucaro	ENEA	Centro di Ricerca	www.enea.it	amalia.zucaro@enea.it

5. Ambito di applicazione dello studio

Il progetto Arcadia si prefigge di costruire dei dataset contenenti dati riferiti al contesto italiano, per le filiere più significative a livello nazionale. Fra queste, la filiera di produzione del mix elettrico nazionale è stata individuata come una di quelle di maggiore interesse per il progetto. Alla produzione del mix elettrico nazionale, le fonti rinnovabili contribuiscono per oltre il 40%. Pertanto, al fine di costruire un dataset del mix elettrico italiano, sono stati raccolti dati relativi a selezionate filiere energetiche da fonti rinnovabili. Tra queste, la filiera energetica da biomasse copre il 30% del totale delle energie rinnovabili e presenta specificità nazionali ossia ha caratteristiche tipiche del contesto italiano.

L'energia da biomasse può essere suddivisa in tre sottocategorie:

- da biomasse solide;
- da biogas;
- da bioliquidi.

Per quanto riguarda l'uso dei bioliquidi per la produzione di energia elettrica, oggetto del presente lavoro, sono stati considerati i bioliquidi prodotti da colture oleaginose qui di seguito indicate:

- palma;
- girasole;
- soia;
- mais;
- colza.

In aggiunta, come fonte di bioliquidi, sono stati considerati, gli oli esausti. Tale sottogruppo è comprensivo dei seguenti contributi:

- Oli alimentari esausti (UCO);
- Derivati da oli vegetali;
- Oli e grassi animali.

I dati relativi al consumo di bioliquidi utilizzati per la produzione elettrica nel 2020 sono stati estratti dal report statistico del GSE (GSE, 2022). I bioliquidi considerati sono solo quelli che rispettano i criteri di sostenibilità stabiliti dal D.Lgs. 31 Marzo 2011, n.55 (riportanti i medesimi criteri della Direttiva 2009/28/CE). Ciò in quanto la quota di produzione lorda effettiva di energia elettrica da

bioliquidi sostenibili copre il 98% del totale ed è quindi sicuramente rappresentativa.

5.1. Funzione del sistema, unità funzionale e flusso di riferimento

L'unità funzionale (UF) scelta è la produzione di 1 kWh di energia elettrica da bioliquidi in Italia. Si specifica che la UF scelta è funzionale ad integrare il presente studio nella più ampia valutazione del mix energetico nazionale.

Tabella 17. Unità funzionale e flusso di riferimento dello studio

Unità Funzionale	Produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi, in Italia
Flusso di riferimento	1 kWh elettrico da bioliquidi, in Italia

5.2. Confini del sistema

In Figura 20 e Figura 21 sono rappresentati i confini dei sistemi investigati.

L'analisi LCA ha tenuto conto della fase:

- agricola di produzione della materia prima (semi oleaginosi);
- di raccolta della materia prima ed invio alla sede di produzione/raffinazione del bioliquido;
- di produzione e raffinazione dei bioliquidi;
- di trasporto del bioliquido dalla sede produttiva agli impianti di conversione per la produzione di energia.

Il processo di produzione elettrica si assume autosufficiente dal punto di vista energetico.

Le sottocategorie di bioliquidi utilizzate sono state trattate seguendo un duplice approccio. Per i bioliquidi provenienti da colture oleaginose è stato adottato un approccio *Cradle to Gate* ("dalla culla al cancello"): sono stati considerati tutti i flussi, dalla produzione delle materie prime fino alla vendita dell'energia alla rete nazionale.

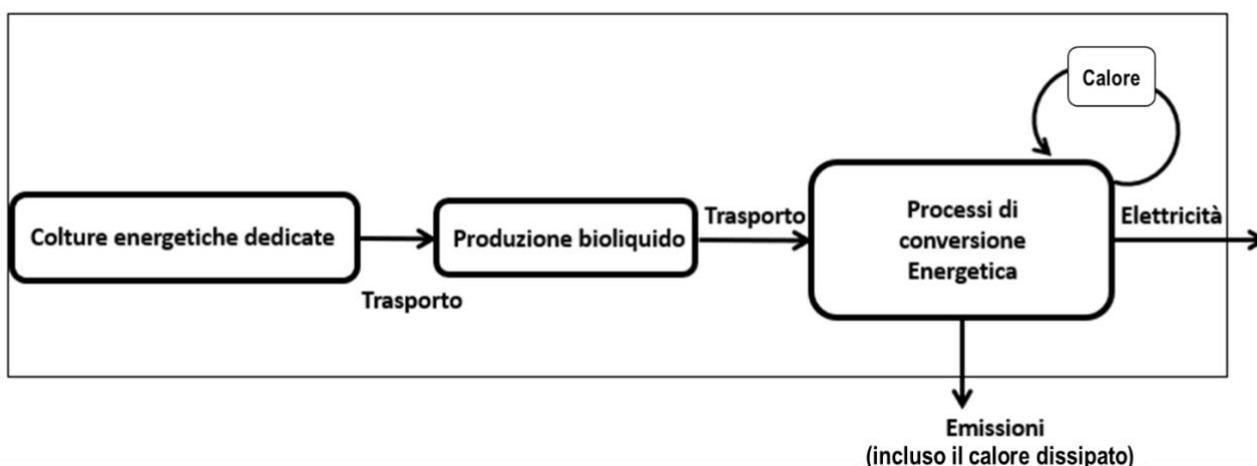


Figura 20. Confini del sistema per i bioliquidi dedicati dalla “culla al cancello”

Nel caso di oli esausti è stato applicato l’approccio “zero burden”: non è stato considerato il carico ambientale del processo che genera lo scarto, in accordo con la letteratura di settore (Ekvall, 2007) Di conseguenza, il confine del sistema (Figura 21), secondo un approccio Gate to Gate (dal Cancellino al Cancellino), include il trasporto degli oli esausti presso gli impianti di produzione di energia elettrica e il processo di conversione energetica.

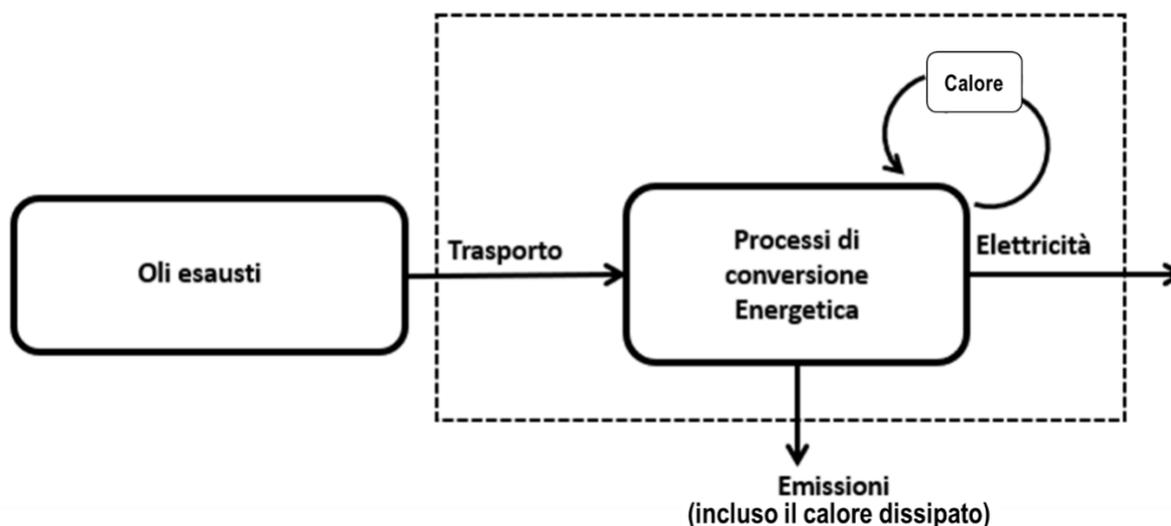


Figura 21. Confini del sistema per gli oli esausti, dal “cancellino al cancellino” (approccio “zero burden”)

5.3. Assunzioni e giudizi di valore

Le assunzioni relative al presente studio sono elencate di seguito. Le stesse sono state effettuate in mancanza di dati primari o secondari disponibili ed ognuna di esse è stata ipotizzata sulla base di evidenze di letteratura.

In particolare:

- L’olio di soia è stato considerato come proxy per l’olio di mais;
- L’olio di colza è stato considerato come proxy per l’olio di girasole (Bernas, et al., 2021).
- La filiera produttiva dell’olio di colza è stata considerata simile a quella dell’olio di soia (Buratti, et al., 2010).
- La quota parte dei bioliquidi inclusi nella categoria “oli esausti” sono stati considerati con un approccio “zero burden”. Non è stato considerato quindi il carico ambientale del processo che crea lo scarto, ma sono stati valutati gli impianti relativi a: trasporto e produzione elettrica.
- Si assume che l’unico prodotto utile ottenuto dalla lavorazione della materia prima è il bioliquido. Le farine disoleate e/o il pannello proteico, generati durante il processo di conversione energetica, sono considerati come sottoprodotti. In aggiunta, per tali scarti è già considerata una allocazione economica all’interno dei singoli processi di produzione dei bioliquidi.

- L'impianto di produzione elettrica, considerato nell'analisi LCA, è un impianto alimentato da fonti fossili di potenza nominale 500 kW e vita media 30 anni, considerando un'efficienza di produzione del 38% ed un impegno annuo pari al 65% come da processo Ecoinvent "Oil power plant, 500MW {GLO}| market for | Cut-off, U". Tale scelta è motivata dall'impossibilità di reperire un altro impianto di produzione elettrica disponibile nel database di Ecoinvent.
- La quota parte di energia termica prodotta dall'impianto considerato si assume che sia, in parte, utilizzata per autoconsumo e, in parte, dissipata. Tale assunzione è giustificata dalla classe di potenza (< 1 MW) degli impianti che utilizzano bioliquidi e dalla quota parte di energia termica prodotta (circa 27%). Si suppone quindi che per impianti di piccola taglia la parte di energia termica prodotta sia autoconsumata. (GSE, 2022);
- Le emissioni totali prodotte dall'impianto di cogenerazione sono uguali a quelle riportate nel foglio di lavoro "EF combustion 2019" di ISPRA (ISPRA, 2019);
- I trasporti dei bioliquidi dal sito produttivo all'impianto di produzione elettrica sono stati calcolati come distanze medie dalle rispettive nazioni di provenienza e nello specifico:
 - Indonesia;
 - Malesia;
 - Extra EU;
 - EU;
 - Italia;

Le assunzioni in termini di distanza in nave dalle singole zone di provenienza e per il rispettivo trasporto sono state considerate identificando i siti di maggior importanza in termini di porti con più elevata movimentazione annuale di tonnellate di merci del 2021 (Worldshipping, 2022), (Assoport, 2022).

Nello specifico sono stati quindi scelti i seguenti siti di riferimento per il calcolo delle distanze medie dall'Italia:

- Trieste (Italia);
- Port Kelang (Malesia);
- Tanjung Priok (Indonesia);
- Jebel Ali, Dubai (Emirati Arabi – Extra EU);
- Danimarca (EU)

La distanza media in treno Italia-Italia per la frazione di bioliquido prodotta in Italia è stata assunta pari a 350 km (ISTAT, 2022);

La distanza media su gomma Italia-Italia è stata considerata pari a 50 km (ISTAT, 2022)

5.4. Gestione della multifunzionalità

Non è stato necessario effettuare un'allocazione exergetica, in quanto l'unico prodotto considerato è l'energia elettrica. In particolare, per quel che concerne i sottoprodotti delle fasi produttive dei bioliquidi (farine disoleate e/o pannello proteico) questi possono essere considerati come sottoprodotti di processo. Come già descritto nel paragrafo 5.3, nei processi considerati per tali

scarti è inoltre già contemplata una allocazione economica. La quota parte di energia termica prodotta è invece dissipata o riutilizzata per autoconsumo.

5.5. Revisione critica

Le procedure del progetto Arcadia prevedono una revisione critica degli studi LCA di filiera e dei relativi dataset, che assicura la conformità alle norme ISO 14040-44, la consistenza, l'affidabilità e la tracciabilità dei dati e delle informazioni utilizzate nello studio, nonché la correttezza dei calcoli eseguiti. La revisione critica è stata condotta da personale interno ENEA indipendente non coinvolto nello studio.

5.6. Modellizzazione e metodologia di analisi degli impatti

I dati raccolti sono stati analizzati mediante l'impiego del software SimaPro v.9.3.0.3 (Pré-Consultants). Inoltre, è stato selezionato il database EcoInvent (v.3.7.1) ed i dataset cut-off, per i dati di background relativi ai processi agricoli e agli impianti di conversione. Per la valutazione degli impatti è stato adottato il metodo EF 3.0 (Zampori & Pant, 2019); tale metodo, indicato dalla Commissione Europea per il calcolo dell'Environmental Footprint, comprende la caratterizzazione, la normalizzazione e ponderazione degli impatti.

5.7. Informazioni ambientali aggiuntive

Nessuna

6. Modellazione dei dataset della filiera

La modellazione del sistema analizzato è stata eseguita facendo ricorso a dati secondari disponibili dal report del GSE (GSE, 2022) e/o dati di letteratura per giustificare le assunzioni fatte.

In dettaglio, le informazioni relative alle tipologie di bioliquidi impiegati e al loro peso percentuale nel mix dei bioliquidi impiegati per la produzione di elettricità, a livello nazionale, nel 2020 (Tabella 18), sono state tratte dal Rapporto Statistico del GSE (GSE, 2022).

I dati di inventario relativi alle quantità fisiche di materiali impiegati nei diversi processi sono da ritenersi ragionevolmente rappresentativi della filiera oggetto di studio, in quanto a tutti gli effetti considerabili come dati relativi al consumo di bioliquidi sul territorio nazionale per la produzione di energia elettrica nel 2020.

È stato quindi creato un solo dataset, relativo alla produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia. Le materie prime dalle quali è possibile produrre bioliquidi sono differenti, data l'eterogeneità delle fonti primarie.

Tabella 18. *Categorie di bioliquidi considerati per la costruzione del dataset e relativo peso percentuale nel mix di bioliquidi utilizzato per la produzione di elettricità*

Categoria di biomassa	Contributo percentuale alla produzione di energia elettrica da bioliquidi in Italia
Olio di Palma	60,3%
Olio di Soia	7,7%
Olio di Girasole	5,6%
Olio di Colza	3,7%
Olio di Mais	0,1%
Oli esausti (Oli e grassi animali, derivati da oli vegetali, UCO)	22,6%

Ai fini del presente studio si è assunto che l'impianto per la produzione di energia elettrica utilizza il mix di bioliquidi descritto in Tabella 18.

La modellazione dei processi di trasporto è stata eseguita sulla base delle quantità fisiche (peso trasportato) e delle distanze medie dalle rispettive nazioni di provenienza dei bioliquidi.

Nel complesso, con riferimento alle indicazioni contenute nel report interno di progetto "Metodologia per gli studi di filiera della Banca Dati italiana LCA" (versione di novembre 2021), la qualità dei dati utilizzati nello studio è ritenuta buona e, in particolare, si ritiene:

- buona l'affidabilità dei dati;
- accettabile la rappresentatività temporale dei dati (nessun dato si riferisce a un periodo antecedente di 5 anni lo studio di filiera);
- buona la rappresentatività geografica dei dati;
- molto scarsa la rappresentatività tecnologica dei dati (il processo è un proxy che presenta differenze tecnologiche molto rilevanti).

I parametri del modello che sono caratterizzati da maggiore incertezza riguardano:

- i proxy per la produzione degli oli di mais e di girasole;
- la nazione di riferimento per il calcolo della distanza media di trasporto dei bioliquidi, a livello europeo;
- l'impianto di produzione elettrica.

Pertanto, al fine di verificare la robustezza dello studio LCA, tutti i suddetti parametri sono stati sottoposti ad un'analisi di sensitività.

7. Analisi di inventario

I dati di inventario raccolti sono relativi alla produzione di 1 kWh di elettricità da bioliquidi (corrispondente all'unità funzionale), in Italia.

Ai fini dell'analisi del mix energetico nazionale condotta in questo studio, per la produzione di energia elettrica da bioliquidi, è stato considerato un impianto di produzione di energia elettrica da fonti fossili con potenza nominale di 500 MW. L'impianto considerato in questo studio ha una vita media di 30 anni, un impegno annuo del 65% ed efficienza di produzione del 38%, come da processo Ecoinvent *"Oil power plant, 500MW {GLO}| market for | Cut-off, U"*.

I dati secondari relativi ai quantitativi di bioliquidi utilizzati per la produzione di energia elettrica in Italia sono relativi all'anno 2020 e sono stati estratti dall'ultimo report del GSE (GSE, 2022).

7.1. Fonti per il processo di produzione di energia elettrica da bioliquidi

Per la costruzione degli inventari dei processi che generano bioliquidi, a partire da colture oleaginose sono stati utilizzati i dati riportati nel Rapporto Statistico del GSE – FER 2020; (GSE, 2022) si tratta, dei dati relativi alla tipologia, ai quantitativi ed alla provenienza dei bioliquidi impiegati per produrre elettricità in Italia nel 2020. In particolare, i dati relativi ai consumi di bioliquidi sostenibili in Italia sono relativi a differenti materie prime, di seguito indicate:

- Olio di palma;
- Olio di soia;
- Olio di girasole;
- Olio di colza;
- Olio di mais;
- Oli e grassi animali;
- Derivati da oli vegetali;
- UCO (oli alimentari usati).

7.2. Assunzioni utilizzate nello studio

Si veda paragrafo 6.3

7.3. Descrizione e documentazione processi unitari

In questo studio è stato definito un solo processo unitario, relativo alla produzione di elettricità da bioliquidi.

Per il calcolo dei flussi dei processi di produzione dei bioliquidi, sono stati utilizzati i dati nazionali del 2020 (GSE, 2022), relativi all'energia elettrica totale (4,6E+9 kWh) prodotta da bioliquidi

sostenibili ed ai consumi di tali bioliquidi (Tab. 19).

7.3.1. Calcolo della dimensione dell'impianto alimentato da bioliquidi sostenibili per la produzione di energia elettrica

In Tabella 19 e Tabella 20, sono riportati i calcoli relativi al dimensionamento di un impianto di produzione elettrica da bioliquidi sostenibili tenendo conto delle modalità descritte nel processo di Ecoinvent: "Oil power plant, 500MW {GLO}| market for | Cut-off, U".

Tabella 19. Dati e calcoli per l'impianto di produzione elettrica da bioliquidi sostenibili

Impianto	Processo	Calcoli
Impianto di produzione elettrica	Oil power plant, 500MW {GLO} market for Cut-off, U	1/ 1,08E+09 = 9,24E-10 p

Un primo dato riportato nel processo Ecoinvent è l'impiego annuale (α) dell'impianto che pari al 65%. Sono stati quindi calcolati i giorni di reale utilizzo ($G_{utilizzo}$) dello stesso utilizzando la formula:

$$G_{utilizzo} = G_{anno} \cdot \alpha$$

Dove G_{anno} sono i giorni di un anno solare pari a 365.

Ipotizzando un funzionamento giornaliero in continuo di tale impianto (h_{giorno}) sulle 24 ore, le ore annuali di utilizzo ($h_{utilizzo}$) effettivo sono state calcolate con la formula seguente:

$$h_{utilizzo} = h_{giorno} \cdot G_{utilizzo}$$

L'impianto di potenza nominale 500MW produrrà quindi in funzione di $G_{utilizzo}$ un quantitativo di energia elettrica potenziale ($E_{potenziale}$), espresso in kWh, dato dalla seguente formula:

$$E_{potenziale} = h_{utilizzo} \cdot P_{impianto}(MW) \cdot 10^3$$

Il secondo dato rappresentativo del funzionamento dell'impianto è l'efficienza di produzione pari al 38% (β). È quindi possibile calcolare energia elettrica netta prodotta ($E_{effettiva}$), attraverso la seguente formula:

$$E_{effettiva} = E_{potenziale} \cdot \beta$$

In **Tabella 20** sono riportati i calcoli dettagliati:

Tabella 20. Calcolo produzione impianto di produzione elettrica da bioliquidi sostenibili

Parametro	Calcoli
-----------	---------

α	0,65
β	0,38
G_{utilizzo}	$0,65 * 365 = 237,25 \text{ g}$
h_{utilizzo}	$237,25 * 24 = 5694 \text{ h}$
$E_{\text{potenziale}}$	$5694 * 500 * 1000 = 2,85E+09 \text{ kWh}$
$E_{\text{effettiva}}$	$0,38 * 2,85E+09 = 1,08E+09 \text{ kWh}$

7.3.2. Calcolo dei quantitativi di bioliquidi utilizzati

I quantitativi dei bioliquidi utilizzati per la produzione di 4,6E+9 kWh elettrici, nel 2020, sono i seguenti:

- Olio di palma: 602694 ton;
- Olio di soia: 76775 ton;
- Olio di girasole: 56262 ton;
- Olio di colza: 37034 ton;
- Olio da grassi animali: 161899 ton;
- Derivati da oli vegetali: 62548 ton;
- UCO: 248 ton;
- Olio di mais: 1385 ton

In Tabella 21, sono descritti i calcoli effettuati per determinare i flussi di bioliquidi e di oli esausti, relativi alla generazione di 1 kWh di energia elettrica (unità funzionale) ed il rispettivo processo di Ecoinvent utilizzato per la modellizzazione nel software Simapro.

Gli oli esausti sono stati considerati con un approccio “zero burden” come somma dei contributi dei:

- Derivati degli oli vegetali;
- Oli e grassi animali;
- UCO (oli alimentari usati).

Il processo di produzione dell’olio di soia (*Soybean oil, refined {GLO} | market for | Cut-off, U*) è stato utilizzato come proxy di quello di produzione dell’olio di mais, non presente in Ecoinvent (le quantità dei due oli sono stata quindi sommate come flussi in input).

Il processo di produzione dell’olio di colza è stato usato come proxy del processo di produzione dell’olio di girasole, in quanto anch’esso non presente in Ecoinvent.

In aggiunta, non essendo ugualmente disponibile, nel database di Ecoinvent, l’olio di colza raffinato “market for” è stato utilizzato come proxy il processo di raffinazione dell’olio di soia, ipotizzando la medesima resa di raffinazione per i due oli (soia e colza) e sostituendo quindi nel processo al “*Soybean oil crude*” il “*Rape oil crude*”. È stato a tal fine creato il processo (*ARCADIA_Soybean oil, refined {RoW} | soybean oil refinery operation | Cut-off, U*) sommando in input i quantitativi di olio di colza e girasole.

Tabella 21. Calcoli dei flussi dei processi di produzione di bioliquidi.

Bioliquido	Processo	Calcoli
Olio di Palma	Palm oil, refined {GLO} market for Cut-off, U	$602694/4,6E+09 = 1,31E-04$ ton
Olio di soia + Olio di mais	Soybean oil, refined {GLO} market for Cut-off, U	$(76775+1385)/4,6E+09 = 1,7E-5$ ton
Olio di colza + Olio di girasole	ARCADIA Soybean oil, refined {RoW} soybean oil refinery operation Cut-off, U	$(56262+37034)/4,6E+09 = 2,03 E-5$ ton
Oli esausti (Grassi animali+oli vegetali+UCO)	Exhausted oil (Questo processo ha seguito l'approccio "zero burden")	$(161899+62548+248)/4,6E+09 = 4,88E-5$ ton

7.3.3. Trasporto

La "dimensione" (ton * km o tkm) del trasporto è stata definita in funzione della quantità di bioliquido trasportato, della provenienza dello stesso e della distanza percorsa.

I quantitativi di bioliquidi trasportati sono catalogati per nazione/sito di produzione del bioliquido stesso (GSE, 2022).

Di seguito i riferimenti nazionali o di zona di provenienza:

- Italia;
- Indonesia;
- Malesia;
- Altri paesi UE;
- Altri paesi non UE;

Come già riportato, per ognuna delle categorie di bioliquidi, sono state considerate le fasi di coltivazione, produzione e raffinazione del bioliquido, pronto per il mercato ("market for"). È da sottolineare come, tale scelta, non comporta un duplice conteggio dei trasporti. Nei processi selezionati, sono infatti conteggiati trasporti locali e di piccola entità se confrontati con quelli inclusi

nel modello oggetto di tale studio.

Relativamente ai trasporti su distanze significative, sono stati utilizzati i differenti processi di Ecoinvent di seguito elencati:

- *“Transport, freight, sea, tanker for petroleum {GLO} | market for transport, freight, sea, tanker for petroleum | Cut-off, U”* per il trasporto via nave;
- *“Transport, freight train {Europe without Switzerland} | market for | Cut-off, U”* per il trasporto in treno;
- *“Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro 6 {RER} | market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 | Cut-off, U”* per il trasporto su gomma.

Nello specifico sono stati quindi scelti i seguenti siti di riferimento (principali porti commerciali) per il calcolo delle distanze medie (via mare) dall'Italia:

- Trieste (Italia);
- Port Kelang (Malesia);
- Tanjung Priok (Indonesia);
- Jebel Ali, Dubai (Emirati Arabi – Extra EU).

Le distanze medie sono state estratte utilizzando fonti dedicate (Searates, 2022). In particolare, la distanza media per il trasporto in nave Malesia-Italia è stata assunta pari a 11270 km, vedi Figura 22.

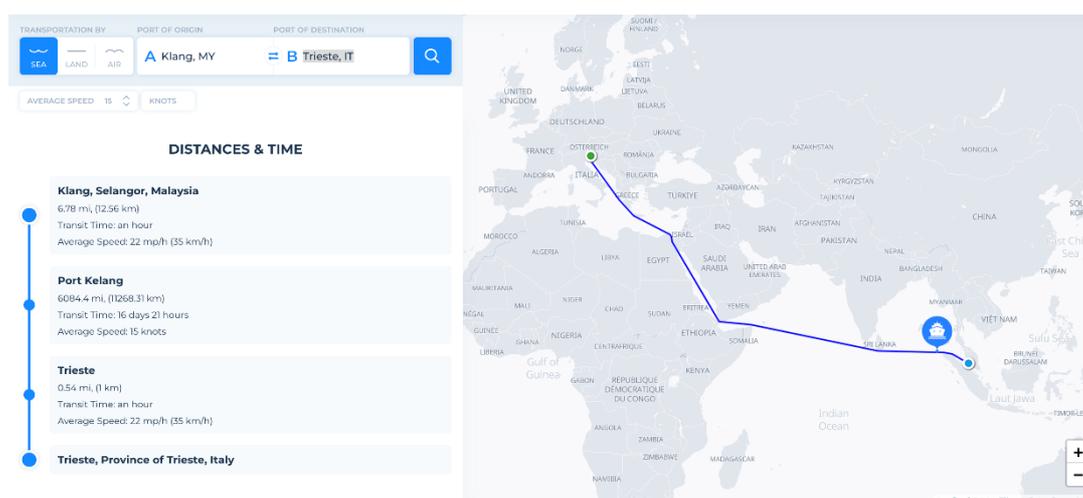


Figura 22. Distanza media Malesia-Italia in nave

La distanza media in nave Indonesia-Italia è stata assunta pari a 13000 km (Figura 23).

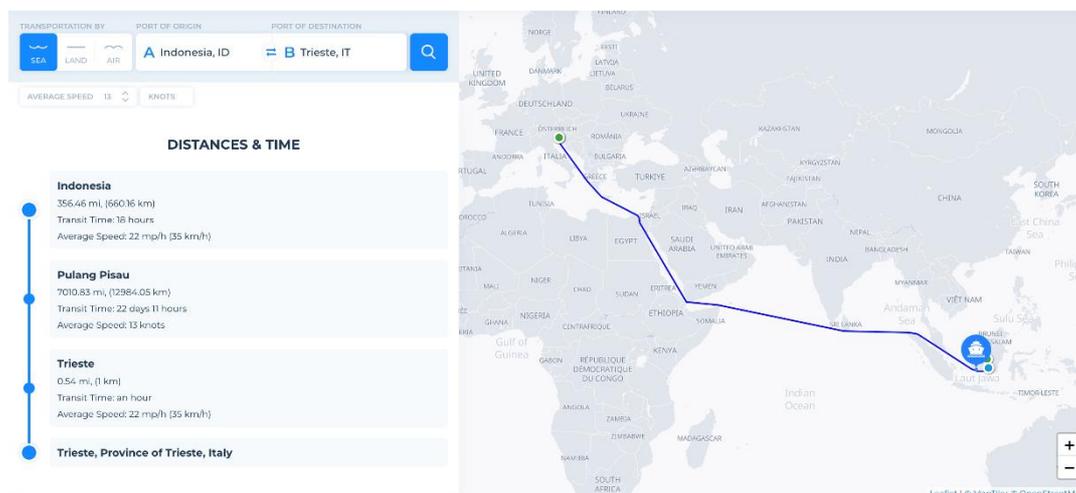


Figura 23. Distanza media Indonesia-Italia in nave

La distanza media in nave Extra EU-Italia è stata assunta pari a 7700 km (Figura 24).

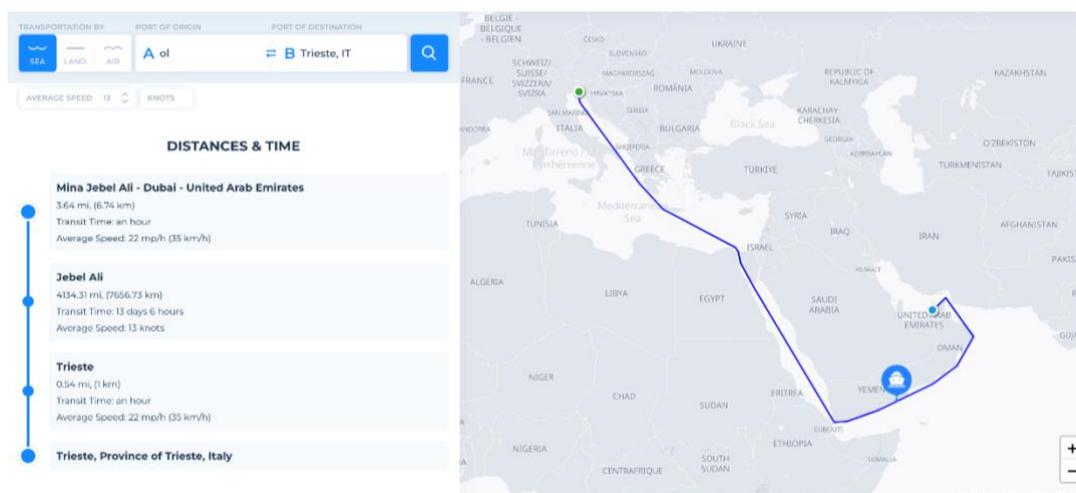


Figura 24. Distanza media Extra EU-Italia in nave

La distanza media in treno EU-Italia è stata assunta pari a 1000 km e si è preso come riferimento la Danimarca (Figura 25). L'assunzione sull'utilizzo del treno quale mezzo di trasporto nel territorio dell'UE e la scelta della nazione di riferimento è stata fatta in considerazione del basso impatto dei trasporti sul totale e sull'assenza di dati di dettaglio sulla suddivisione specifica di provenienza dei bioliquidi dal territorio EU. Al fine della creazione del modello una distanza media (pari a 1000 km) ed una nazione di riferimento è stata scelta quale rappresentativa. Con l'intento quindi di valutare quanto il peso di questa assunzione potesse caratterizzare i risultati è stato effettuato un approfondimento sostituendo il mezzo di trasporto. Si è sostituito il trasporto via treno con quello via gomma sicuramente più impattante. Si rimanda ai capitoli successivi per un dettaglio sui risultati.

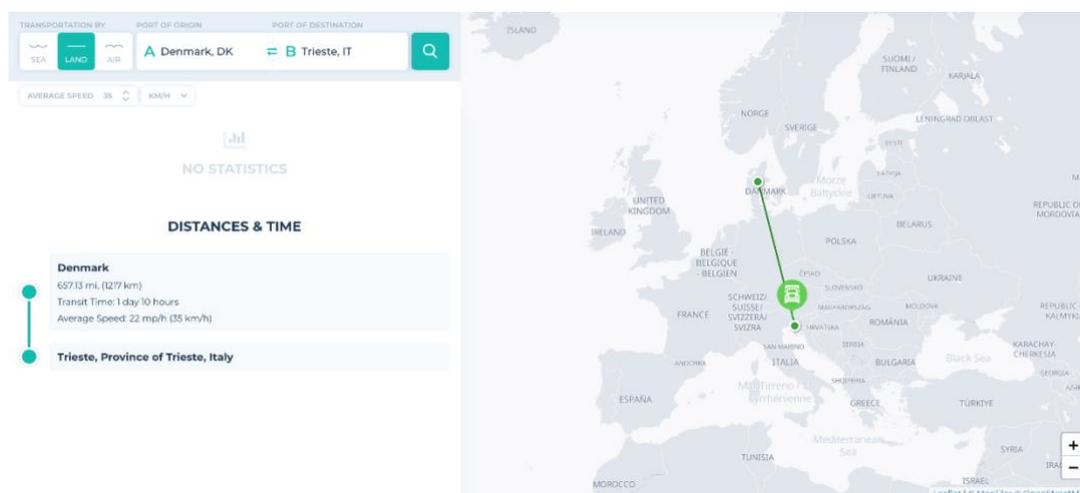


Figura 25. Distanza media EU-Italia in treno

La distanza media in treno Italia-Italia per la frazione di bioliquido prodotta in Italia è stata assunta pari a 350 km (ISTAT, 2022).

La distanza media su gomma Italia-Italia è stata considerata pari a 50 km (ISTAT, 2022)

In definitiva i flussi totali di bioliquido per paese di produzione e provenienza sono stati moltiplicati per le specifiche distanze percorse (Tabella 22).

In particolare, per il trasporto su gomma:

- 348794 ton di bioliquido proveniente dall'Italia;
- 283266 ton proveniente dalla Malesia;
- 283266 ton provenienti dall'Indonesia;
- 45972 ton proveniente da altri paesi EU;
- 37547 ton provenienti da paesi extra EU

sono trasportati per una distanza di 50 km.

Per il trasporto via nave:

- 283266 ton provenienti dalle Indonesia sono trasportati per 13000 km.
- 283266 ton provenienti dalla Malesia sono trasportati per 15700 km;
- 37547 ton, provenienti da altri Paesi non EU, sono trasportati per una distanza di 7700 km.

Per il trasporto via treno:

- 348794 ton, prodotte in Italia, sono trasportati per una distanza di 350 km;
- 45972 ton, prodotte in altri Paesi UE, sono trasportati per 1000 km.

Tabella 22. Calcoli dei flussi dei trasporti per il processo individuato.

Bioliquido	Processo	Calcoli
Trasporto su gomma	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry	$4,99E+07/4,6E+09=0,0109 \text{ t*km}$

	>32 metric ton, EURO6 / Cut-off, U	
Trasporto in nave	Transport, freight, sea, tanker for petroleum {GLO} market for transport, freight, sea, tanker for petroleum / Cut-off, U	$(3,7E+09+4,4E+09+2,9E+08)/4,6E+09=1,83 \text{ t*km}$
Trasporto in treno	Transport, freight train {Europe without Switzerland} market for / Cut-off, U	$(4,6E+07+1,2E+08)/4,6E+09=0,0365 \text{ t*km}$

7.3.4. Emissioni dall'impianto di produzione elettrica alimentato da bioliquidi sostenibili

Le emissioni dall'impianto di produzione di energia elettrica alimentato da bioliquidi sostenibili sono state ricavate dal documento "EF combustion 2019" di ISPRA (ISPRA, 2019, foglio di lavoro "Public power", voce "Other fuel oils". I valori, nel documento originale, sono riportati in kg/GJ per la CO₂, in g/GJ per SO_x, CH₄, N₂O, NO_x, CO, NMVOC, N₂O, NH₃, PM10, PM2,5, Black Carbon-BC, PAH, PCB, HCB, e in mg/GJ per As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn. Tutti i valori sono stati rapportati a 1 kWh, basandosi sull'equivalenza 1 GJ = 277,78 kWh.

In Tabella 23, sono riportate le emissioni dall'impianto di produzione elettrica da bioliquidi espresse in kWh.

Tabella 23. Emissioni prodotte dall'impianto durante la conversione del bioliquido in elettricità.

U.M.	SO _x	NO _x	NMVOC	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	
g/GJ	13,2	30,3	3	3	15	95200	2	0	
g/kWh	4,7E-2	1,1 E-1	1,1E-2	1,1E-2	5,4E-2	342,7	7,2E-3	0	
U.M.	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
mg/GJ	0,8	0,1	4,8	4,8	0,8	28,7	2,5	1	3,5
mg/kWh	2,78E-3	5,2E-4	1,71E-2	1,72E-2	2,78E-3	1,04E-1	9,08E-3	3,71E-3	1,25E-2
U.M.	PM10	PM2.5	BC-Black Carbon (PM 2.5)	DIOX (microg/GJ)	PAH	PCB	HCB		
g/GJ	1	0,77	0,04	0,0244	0,00089	0	0		

g/kWh	3,6E-3	2,75E-3	1,54E-4	8,77E-5	3,2E-6	0	0	
-------	--------	---------	---------	---------	--------	---	---	--

Tabella 24. Inventario dei processi unitari.

Flussi/processi in input	Valore	Unità di misura	Dataset di riferimento
INPUT			
<i>Palm oil, refined {GLO} market for Cut-off, U</i>	1,31E-04	ton	<p><u>Processo di produzione:</u> EcolInvent v. 3.7.1 (dato secondario).</p> <p><u>Quantità di bioliquido: dati</u> GSE (GSE, 2022) (dato secondario)</p>
<i>Soybean oil, refined {GLO} market for Cut-off, U</i>	1,7E-5	ton	<p><u>Processo di produzione:</u> EcolInvent v. 3.7.1 (dato secondario)</p> <p><u>Quantità di bioliquido: dati</u> GSE (GSE, 2022) (dato secondario)</p>
<i>ARCADIA_Soybean oil, refined {RoW} soybean oil refinery operation Cut-off, U</i>	2,03E-5	ton	<p><u>Processo di produzione:</u> EcolInvent v. 3.7.1 (dato secondario)</p> <p><u>Quantità di bioliquido: dati</u> GSE (GSE, 2022) (dato secondario)</p>
<i>Exhausted oil</i>	4,88E-5	ton	<u>Quantità di bioliquido: dati</u> GSE (GSE, 2022) (dato secondario)
<i>Oil power plant, 500MW {GLO} market for Cut-off, U</i>	9,24E-10	p	<u>Processo: EcolInvent v. 3.7.1 (dato secondario)</u>
<i>Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 Cut-off, U</i>	1,09E-02	tkm	<p><u>Processo di trasporto:</u> EcolInvent v. 3.7.1 (dato secondario)</p> <p><u>Quantità di biomassa trasportata: GSE (GSE, 2022) (dato secondario)</u></p>

<i>Transport, freight, sea, tanker for petroleum {GLO} market for transport, freight, sea, tanker for petroleum Cut-off, U</i>	<u>1,83</u>	<u>tkm</u>	<p><u>Processo di trasporto: EcoInvent v. 3.7.1 (dato secondario)</u></p> <p><u>Quantità di biomassa trasportata: GSE (GSE, 2022) (dato secondario)</u></p>
<i>Transport, freight train {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U</i>	3,65E-02	tkm	<p><u>Processo di trasporto: EcoInvent v. 3.7.1 (dato secondario)</u></p> <p><u>Quantità di biomassa trasportata: GSE (GSE, 2022) (dato secondario)</u></p>
Output			
Output verso la tecnosfera: prodotti e co-prodotti			
<i>Elettricità da bioliquidi</i>	<u>1</u>	<u>kWh</u>	
Emissioni in aria			
<i>Sulfur dioxide</i>	4,74E-02	<u>g</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
<i>Nitrogen oxides, IT</i>	1,09E-0	<u>g</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
<i>NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin</i>	1,08E-02	<u>g</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
<i>Methane, biogenic</i>	1,08E-02	<u>g</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
<i>Carbon monoxide, biogenic</i>	5,40E-02	<u>g</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
<i>Carbon dioxide, biogenic</i>	3,43E-01	<u>kg</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
<i>Dinitrogen monoxide</i>	7,20E-03	<u>g</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
<i>Arsenic</i>	2,79E-03	<u>mg</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
<i>Cadmium</i>	5,16E-04	<u>mg</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
<i>Chromium</i>	1,71E-02	<u>mg</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)

Copper	1,72E-02	<u>mg</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
Mercury	2,79E-03	<u>mg</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
Nickel	1,03E-01	<u>mg</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
Lead	9,08E-03	<u>mg</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
Selenium	3,71E-03	<u>mg</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
Zinc	1,25E-02	<u>mg</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
Particulates < 10micron	3,60E-03	<u>g</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
Particulates < 2,5micron	2,76E-03	<u>g</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
BC (Particulates <2,5 micron)	1,54E-04	<u>g</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	0,00008774	<u>microg</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	0,0000032	<u>g</u>	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato secondario)

7.4. Sviluppo dei datasets

L'analisi della filiera energetica dei bioliquidi ha visto lo sviluppo di un solo dataset di seguito indicato:

- Produzione di energia da bioliquidi sostenibili, prodotti da differenti materie prime (colture oleaginose, oli e grassi animali, oli alimentari usati e derivati degli oli vegetali), mediante un impianto di potenza nominale 500 MW- nome dataset nella BDILCA (banca Dati Italiana LCA) "Electricity from biooil_500 MW".

Tabella 25. Elenco dei dataset sviluppati per l'analisi della produzione di 1 kWh di energia elettrica da biogas, in Italia.

Dataset	Contributo percentuale alla produzione di energia
---------	---

	elettrica da bioliquidi, in Italia (%)
Produzione di energia da bioliquidi sostenibili, prodotti da differenti materie prime (colture oleaginose, oli e grassi animali, oli alimentari usati e derivati degli oli vegetali), mediante un impianto di potenza nominale 500 MW- nome dataset nella BDILCA (banca Dati Italiana LCA) “Electricity from biooil_500 MW”	100

In dettaglio, il dataset rappresenta il processo unitario relativo alla produzione di 1 kWh di energia elettrica da bioliquido, in Italia.

Il dataset è riportato nel paragrafo di inventario e ulteriormente dettagliato (metadati, impatti e qualità dei dati) negli allegati I, II .

8. Valutazione degli impatti ambientali

Il presente studio intende fornire una valutazione, in accordo con le norme ISO 14040-44/2006, degli impatti ambientali potenziali della filiera di produzione di energia elettrica da bioliquidi in Italia. L’analisi si è basata sull’identificazione e la quantificazione di tutti i flussi in input e output associati alla fase di produzione ed approvvigionamento dei bioliquidi e la fase di conversione dei bioliquidi in energia elettrica. Le emissioni locali sono state stimate a partire dal database EF_combustion_2019 reso disponibile da ISPRA (ISPRA, 2019). I dati raccolti sono stati analizzati mediante l’impiego del software SimaPro 9.3.0.3 sulla base del metodo EF 3.0 (Zampori e Pant, 2019). Nella Tabella 26 sono riportate le abbreviazioni usate per ciascuna categoria d’impatto con le relative unità di misura.

Tabella 26. *Categorie d’impatto esaminate nel presente studio con le relative unità di misura e abbreviazioni*

Impact category	Unit	Abbreviation
Climate change	kg CO ₂ eq	CC
Ozone depletion	kg CFC11 eq	OD
Ionising radiation	kBq U-235 eq	IR
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	POD
Particulate matter	disease inc.	PM
Human toxicity, non-cancer	CTUh	HTnon-c
Human toxicity, cancer	CTUh	HTc
Acidification	mol H ⁺ eq	AC
Eutrophication, freshwater	kg P eq	EUf
Eutrophication, marine	kg N eq	EUm
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	EUt
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	ECT
Land use	Pt	LU

Water use	m ³ depriv.	WU
Resource use, fossils	MJ	RDF
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	RDm
Climate change - Fossil	kg CO ₂ eq	CCf
Climate change - Biogenic	kg CO ₂ eq	CCb
Climate change - Land use and LU change	kg CO ₂ eq	CCLu
Human toxicity, non-cancer - organics	CTUh	HTnon-c-o
Human toxicity, non-cancer - inorganics	CTUh	HTnon-c-i
Human toxicity, non-cancer - metals	CTUh	HTnon-c-m
Human toxicity, cancer - organics	CTUh	HTc-o
Human toxicity, cancer - inorganics	CTUh	HTc-i
Human toxicity, cancer - metals	CTUh	HTc-m
Ecotoxicity, freshwater - organics	CTUe	ECT-o
Ecotoxicity, freshwater - inorganics	CTUe	ECT-i
Ecotoxicity, freshwater - metals	CTUe	ECT-m

8.1. Caratterizzazione

Gli impatti relativi alla produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia sono riportati in Figura 26 e nelle Tabella 27, Tabella 28, Tabella 29.

In dettaglio, in Tabella 27, si osserva che la produzione dell'olio di palma (Palm Oil, in verde) ha quasi per tutte le categorie la percentuale di impatto più elevata. Mediamente, su tutte le categorie di impatto, tale input pesa per il 50,24%. Il massimo impatto si registra in Exotoxicity, freshwater – organics (ECT-o), con un contributo percentuale pari a 80,17 %, seguito dall'impatto in Water use (WU), uguale a 76,99 %. Gli impatti minori, associati alla produzione dell'olio di palma sono comunque maggiori del 20 % e si registrano nelle categorie Human toxicity, cancer – metals (HTc-m), (22,18%) e Resource use, minerals and metals (RDm) (23,26 %). Il secondo input/processo mediamente più impattante è quello dell'impianto di generazione di energia elettrica da bioliquidi (Oil Power Plant), con un impatto medio pari al 21,16 %. Il terzo input in ordine decrescente di impatto è il processo di produzione dell'olio di colza (Rapeseed Oil, in azzurro in figura) con una percentuale media pari al 12,60 % su tutte le categorie investigate, mentre il processo di produzione dell'olio di soia (Soybean Oil, in blu in figura) ha un valore medio pari al 9,99 %. È quindi evidente come la produzione dei bioliquidi e l'impianto di produzione elettrica siano tra i processi che maggiormente contribuiscono all'impatto complessivo del processo di produzione di elettricità da bioliquidi, in Italia.

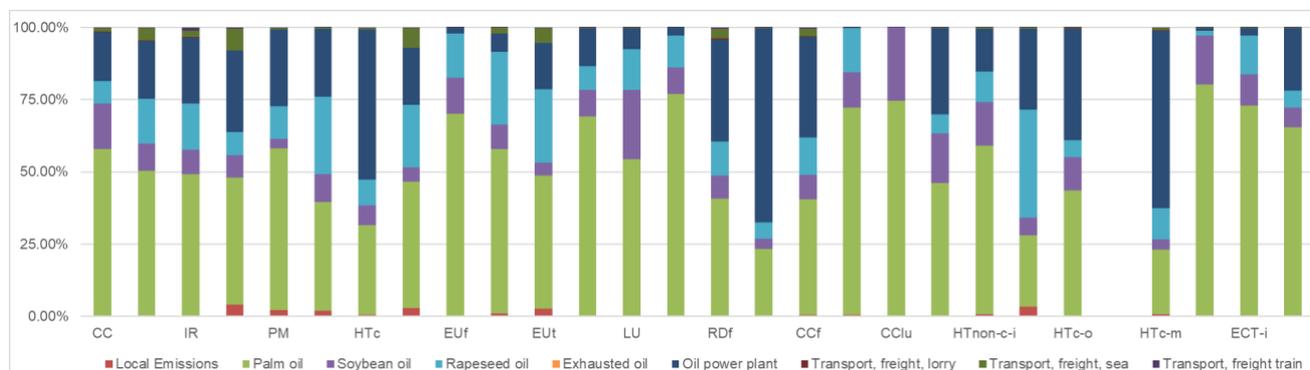


Figura 26. Contributo percentuale di ciascun flusso di input/output agli impatti (caratterizzati), associati alla produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia.

Tabella 27. Impatti totali caratterizzati, calcolati per 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia (unità funzionale). Valori assoluti.

Categoria d'impatto	Unità	Totale
CC	kg CO ₂ eq	8,46E-01
OD	kg CFC11 eq	5,52E-08
IR	kBq U-235 eq	3,02E-02
POD	kg NMVOC eq	2,99E-03
PM	disease inc.	6,44E-08
HTnon-c	CTUh	1,94E-08
HTc	CTUh	1,37E-09
AC	mol H ⁺ eq	4,84E-03
EUF	kg P eq	3,62E-03
EUm	kg N eq	3,96E-03
EUt	mol N eq	1,68E-02
ECT	CTUe	4,72E+01
LU	Pt	2,23E+01
WU	m ³ depriv.	1,30E+00
RDf	MJ	4,30E+00
RDm	kg Sb eq	1,53E-05
CCf	kg CO ₂ eq	4,11E-01
CCb	kg CO ₂ eq	7,70E-02
CClu	kg CO ₂ eq	3,58E-01
HTnon-c-o	CTUh	1,01E-09
HTnon-c-i	CTUh	6,68E-09
HTnon-c-m	CTUh	1,18E-08
HTc-o	CTUh	5,73E-10
HTc-i	CTUh	0,00E+00
HTc-m	CTUh	7,94E-10
ECT-o	CTUe	4,51E+00
ECT-i	CTUe	1,56E+01
ECT-m	CTUe	2,71E+01

In Tabella 28 sono riportati gli impatti caratterizzati di ciascun processo associato alla produzione di

1 kWh di energia elettrica da bioliquidi, in Italia. Da notare che l'impatto degli Exhausted Oil, essendo trattato come "Zero burden", è pari a zero in tutte le categorie di impatto.

Tabella 28 .Impatti caratterizzati di ciascun processo relativo alla produzione di 1 kWh di energia da bioliquidi, in Italia. Valori assoluti.

Categoria d'impatto	Unità	Local Emissions	Palm oil	Soybean oil	Rapeseed oil	Exhausted oil	Oil power plant	Transport, freight, lorry	Transport, freight, sea	Transport, freight train
CC	kg CO ₂ eq	2,5E-03	4,9E-01	1,3E-01	6,5E-02	0,0E+00	1,4E-01	9,4E-04	1,1E-02	1,7E-03
OD	kg CFC11 eq	0,0E+00	2,8E-08	5,3E-09	8,5E-09	0,0E+00	1,1E-08	2,3E-10	2,2E-09	2,1E-10
IR	kBq U-235 eq	0,0E+00	1,5E-02	2,6E-03	4,8E-03	0,0E+00	6,9E-03	7,9E-05	6,5E-04	3,3E-04
POD	kg NMVOC eq	1,2E-04	1,3E-03	2,3E-04	2,4E-04	0,0E+00	8,4E-04	2,9E-06	2,3E-04	1,4E-05
PM	disease inc,	1,4E-09	3,6E-08	2,1E-09	7,3E-09	0,0E+00	1,7E-08	8,2E-11	3,3E-10	1,2E-10
HTnon-c	CTUh	3,8E-10	7,3E-09	1,9E-09	5,2E-09	0,0E+00	4,6E-09	1,2E-11	5,4E-11	1,9E-11
HTc	CTUh	6,6E-12	4,3E-10	9,3E-11	1,2E-10	0,0E+00	7,1E-10	3,6E-13	8,2E-12	2,3E-12
AC	mol H+ eq	1,4E-04	2,1E-03	2,5E-04	1,0E-03	0,0E+00	9,5E-04	3,0E-06	3,3E-04	1,4E-05
Euf	kg P eq	0,0E+00	2,5E-03	4,5E-04	5,6E-04	0,0E+00	7,4E-05	6,4E-08	3,9E-07	6,7E-07
EUm	kg N eq	4,2E-05	2,3E-03	3,4E-04	1,0E-03	0,0E+00	2,5E-04	6,8E-07	7,7E-05	5,0E-06
EUt	mol N eq	4,7E-04	7,7E-03	7,5E-04	4,3E-03	0,0E+00	2,7E-03	7,4E-06	8,6E-04	5,3E-05
ECT	CTUe	1,9E-03	3,3E+01	4,3E+00	3,8E+00	0,0E+00	6,3E+00	1,2E-02	8,7E-02	2,4E-02
LU	Pt	0,0E+00	1,2E+01	5,3E+00	3,1E+00	0,0E+00	1,6E+00	1,8E-02	2,0E-02	1,7E-02
WU	m3 depriv,	0,0E+00	1,0E+00	1,2E-01	1,4E-01	0,0E+00	3,7E-02	5,1E-05	2,5E-04	2,3E-04
Rdf	MJ	0,0E+00	1,8E+00	3,4E-01	5,1E-01	0,0E+00	1,5E+00	1,5E-02	1,4E-01	2,5E-02
RDm	kg Sb eq	0,0E+00	3,6E-06	5,7E-07	8,5E-07	0,0E+00	1,0E-05	2,3E-09	1,7E-08	7,8E-09
CCf	kg CO ₂ eq	2,1E-03	1,6E-01	3,4E-02	5,4E-02	0,0E+00	1,4E-01	9,4E-04	1,1E-02	1,7E-03
CCb	kg CO ₂ eq	3,7E-04	5,5E-02	9,3E-03	1,2E-02	0,0E+00	1,4E-04	3,3E-07	2,8E-06	3,3E-06
CClu	kg CO ₂ eq	0,0E+00	2,7E-01	9,1E-02	4,4E-05	0,0E+00	7,3E-05	2,7E-07	8,9E-06	1,9E-06
HTnon-c-o	CTUh	1,3E-12	4,6E-10	1,7E-10	6,5E-11	0,0E+00	3,0E-10	4,1E-13	1,7E-12	5,5E-13
HTnon-c-i	CTUh	5,8E-11	3,9E-09	1,0E-09	7,1E-10	0,0E+00	9,9E-10	2,1E-12	1,9E-11	6,3E-12
HTnon-c-m	CTUh	3,8E-10	2,9E-09	7,0E-10	4,4E-09	0,0E+00	3,3E-09	9,6E-12	3,3E-11	1,2E-11
HTc-o	CTUh	0,0E+00	2,5E-10	6,5E-11	3,5E-11	0,0E+00	2,2E-10	1,4E-13	1,5E-12	6,0E-13
HTc-i	CTUh	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
HTc-m	CTUh	6,6E-12	1,8E-10	2,8E-11	8,6E-11	0,0E+00	4,9E-10	2,2E-13	6,7E-12	1,7E-12
ECT-o	CTUe	1,0E-04	3,6E+00	7,6E-01	7,6E-02	0,0E+00	4,3E-02	9,1E-04	9,0E-03	7,4E-04
ECT-i	CTUe	1,2E-06	1,1E+01	1,7E+00	2,1E+00	0,0E+00	4,0E-01	3,0E-03	2,4E-02	2,8E-03
ECT-m	CTUe	1,8E-03	1,8E+01	1,9E+00	1,6E+00	0,0E+00	5,8E+00	7,9E-03	5,4E-02	2,0E-02

Tabella 29. Impatti caratterizzati, valori totali e di ciascun processo della produzione di 1 kWh di energia elettrica da bioliquidi, in Italia. Valori percentuali.

Categoria d'impatto	Local Emissions	Palm oil	Soybean oil	Rapeseed oil	Exhausted oil	Oil power plant	Transport, freight, lorry	Transport, freight, sea	Transport, freight train
CC	0,30%	57,49%	15,95%	7,73%	0,00%	16,90%	0,11%	1,31%	0,20%
OD	0,00%	50,28%	9,54%	15,43%	0,00%	19,93%	0,42%	4,03%	0,37%
IR	0,00%	49,21%	8,56%	15,78%	0,00%	22,94%	0,26%	2,15%	1,10%
POD	4,15%	43,79%	7,75%	8,09%	0,00%	28,11%	0,10%	7,53%	0,48%
PM	2,19%	55,94%	3,33%	11,29%	0,00%	26,43%	0,13%	0,51%	0,19%
HTnon-c	1,98%	37,57%	9,65%	26,76%	0,00%	23,59%	0,06%	0,28%	0,10%
HTc	0,48%	31,16%	6,81%	8,87%	0,00%	51,89%	0,03%	0,60%	0,17%
AC	2,95%	43,60%	5,09%	21,52%	0,00%	19,67%	0,06%	6,82%	0,28%
Euf	0,00%	70,22%	12,30%	15,40%	0,00%	2,05%	0,00%	0,01%	0,02%
EUm	1,07%	56,84%	8,47%	25,22%	0,00%	6,30%	0,02%	1,95%	0,13%
EUt	2,77%	45,91%	4,49%	25,34%	0,00%	15,99%	0,04%	5,14%	0,32%
ECT	0,00%	69,28%	9,17%	8,02%	0,00%	13,28%	0,02%	0,18%	0,05%
LU	0,00%	54,45%	23,95%	14,04%	0,00%	7,33%	0,08%	0,09%	0,07%
WU	0,00%	76,99%	9,14%	10,99%	0,00%	2,84%	0,00%	0,02%	0,02%
Rdf	0,00%	40,80%	7,86%	11,85%	0,00%	35,26%	0,36%	3,30%	0,57%
RDm	0,00%	23,26%	3,71%	5,58%	0,00%	67,27%	0,02%	0,11%	0,05%
CCf	0,52%	40,00%	8,37%	13,03%	0,00%	34,75%	0,23%	2,70%	0,41%
CCb	0,48%	71,85%	12,13%	15,36%	0,00%	0,18%	0,00%	0,00%	0,00%

Cclu	0,00%	74,48%	25,48%	0,01%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%
HTnon-c-o	0,13%	45,94%	17,35%	6,43%	0,00%	29,88%	0,04%	0,17%	0,05%
HTnon-c-i	0,87%	58,31%	14,99%	10,63%	0,00%	14,79%	0,03%	0,28%	0,09%
HTnon-c-m	3,25%	24,91%	5,92%	37,46%	0,00%	27,99%	0,08%	0,28%	0,11%
HTc-o	0,00%	43,62%	11,35%	6,07%	0,00%	38,58%	0,02%	0,26%	0,11%
HTc-i	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
HTc-m	0,83%	22,18%	3,54%	10,88%	0,00%	61,49%	0,03%	0,84%	0,21%
ECT-o	0,00%	80,17%	16,95%	1,68%	0,00%	0,96%	0,02%	0,20%	0,02%
ECT-i	0,00%	73,01%	10,85%	13,37%	0,00%	2,58%	0,02%	0,16%	0,02%
ECT-m	0,01%	65,32%	6,90%	6,00%	0,00%	21,47%	0,03%	0,20%	0,07%

Come è evidente dai risultati mostrati, l'impatto dell'impianto di produzione di energia elettrica è mediamente consistente (media 21,16%) su tutte le categorie di impatto, con un picco del 67% per la RdM ed un minimo pari a 0,02% per Climate change – Land use and LU change (Cclu). Le scelte ed assunzioni fatte nella definizione del modello e dello scenario base dello studio evidenziano quindi un peso importante dell'impianto sugli impatti. È nondimeno da sottolineare che le taglie degli impianti italiani di produzione di elettricità da bioliquidi, dai dati a disposizione, non raggiungono le potenze nominali del processo di Ecoinvent utilizzato (impianto da 500MW nominali) nello studio. Pertanto, gli impatti relativi alla costruzione, smaltimento e consumo di suolo di un impianto di produzione elettrica, sono sovrastimati nella nostra analisi. In merito è stata effettuato uno studio di sensibilità e si rimanda al paragrafo relativo a tali analisi per maggiori dettagli.

8.2. Normalizzazione

In Figura 27, sono riportati i risultati della normalizzazione per la produzione di un 1 kWh di elettricità da bioliquidi in Italia. Nelle tabelle 30 e 31 sono riportati i valori di normalizzazione esclusivamente per le categorie di impatto per cui il modello EF 3.0 ha previsto i fattori di normalizzazione.

La categoria più impattata è la Eutrophication, freshwater (EUf) con un valore di impatto normalizzato di 2,26E-03. Ciò è ascrivibile essenzialmente al processo di produzione dell'olio di palma (70%, in amaranto in Figura 27). Segue, la categoria Ecotoxicity, freshwater (ECT), con un impatto normalizzato pari a 1,11E-03, principalmente dovuto, ancora una volta, alla produzione dell'olio di palma (il cui impatto è pari a 7,66E-04); infine, per la terza categoria più impattata (2,41E-04), il Resource use, minerals and metals (RDm), l'impianto di produzione dell'energia elettrica (Oil Power Plant) è il processo maggiormente impattante (1,62E-04) seguito ancora dal processo di produzione dell'olio di palma (5,60E-05).

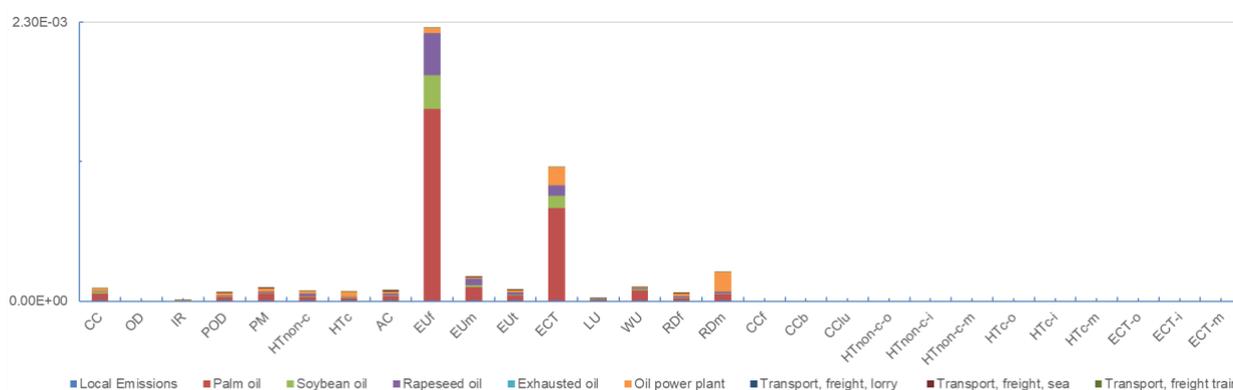


Figura 27. Impatti normalizzati per la produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia.

Tabella 30. Impatti normalizzati per la produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia - valori assoluti, totali e di ciascun processo/flusso.

Categoria d'impatto	Totale	Local Emissions	Palm oil	Soybean oil	Rapeseed oil	Exhausted oil	Oil power plant	Transport, freight, lorry	Transport, freight, sea	Transport, freight train
CC	1,04E-04	3,10E-07	6,00E-05	1,67E-05	8,08E-06	0,00E+00	1,76E-05	1,16E-07	1,37E-06	2,06E-07
OD	1,03E-06	0,00E+00	5,18E-07	9,82E-08	1,59E-07	0,00E+00	2,05E-07	4,31E-09	4,15E-08	3,85E-09
IR	7,15E-06	0,00E+00	3,52E-06	6,12E-07	1,13E-06	0,00E+00	1,64E-06	1,86E-08	1,54E-07	7,86E-08
POD	7,36E-05	3,05E-06	3,22E-05	5,70E-06	5,95E-06	0,00E+00	2,07E-05	7,12E-08	5,55E-06	3,56E-07
PM	1,08E-04	2,37E-06	6,06E-05	3,61E-06	1,22E-05	0,00E+00	2,86E-05	1,38E-07	5,49E-07	2,00E-07
HTnon-c	8,43E-05	1,67E-06	3,17E-05	8,14E-06	2,26E-05	0,00E+00	1,99E-05	5,28E-08	2,34E-07	8,34E-08
HTc	8,09E-05	3,89E-07	2,52E-05	5,51E-06	7,17E-06	0,00E+00	4,20E-05	2,13E-08	4,82E-07	1,35E-07
AC	8,72E-05	2,57E-06	3,80E-05	4,43E-06	1,88E-05	0,00E+00	1,71E-05	5,34E-08	5,94E-06	2,46E-07
EUf	2,26E-03	0,00E+00	1,58E-03	2,77E-04	3,47E-04	0,00E+00	4,62E-05	3,98E-08	2,43E-07	4,16E-07
EUm	2,03E-04	2,17E-06	1,15E-04	1,72E-05	5,11E-05	0,00E+00	1,28E-05	3,46E-08	3,96E-06	2,54E-07
EUt	9,49E-05	2,63E-06	4,36E-05	4,26E-06	2,40E-05	0,00E+00	1,52E-05	4,17E-08	4,88E-06	3,00E-07
ECT	1,11E-03	4,43E-08	7,66E-04	1,01E-04	8,86E-05	0,00E+00	1,47E-04	2,76E-07	2,04E-06	5,54E-07
LU	2,73E-05	0,00E+00	1,48E-05	6,53E-06	3,82E-06	0,00E+00	2,00E-06	2,14E-08	2,45E-08	2,03E-08
WU	1,14E-04	0,00E+00	8,76E-05	1,04E-05	1,25E-05	0,00E+00	3,23E-06	4,41E-09	2,20E-08	2,00E-08
RDf	6,62E-05	0,00E+00	2,70E-05	5,20E-06	7,85E-06	0,00E+00	2,33E-05	2,36E-07	2,18E-06	3,80E-07
RDm	2,41E-04	0,00E+00	5,60E-05	8,93E-06	1,34E-05	0,00E+00	1,62E-04	3,62E-08	2,65E-07	1,23E-07

Tabella 31. Impatti normalizzati per la produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia - valori assoluti, totali e di ciascun processo/flusso.

Categoria d'impatto	Totale	Local Emissions	Palm oil	Soybean oil	Rapeseed oil	Exhausted oil	Oil power plant	Transport, freight, lorry	Transport, freight, sea	Transport, freight train
CC	100%	0,30%	57,49%	15,95%	7,73%	0,00%	16,90%	0,11%	1,31%	0,20%
OD	100%	0,00%	50,28%	9,54%	15,43%	0,00%	19,93%	0,42%	4,03%	0,37%
IR	100%	0,00%	49,21%	8,56%	15,78%	0,00%	22,94%	0,26%	2,15%	1,10%
POD	100%	4,15%	43,79%	7,75%	8,09%	0,00%	28,11%	0,10%	7,53%	0,48%
PM	100%	2,19%	55,94%	3,33%	11,29%	0,00%	26,43%	0,13%	0,51%	0,19%
HTnon-c	100%	1,98%	37,57%	9,65%	26,76%	0,00%	23,59%	0,06%	0,28%	0,10%
HTc	100%	0,48%	31,16%	6,81%	8,87%	0,00%	51,89%	0,03%	0,60%	0,17%
AC	100%	2,95%	43,60%	5,09%	21,52%	0,00%	19,67%	0,06%	6,82%	0,28%
EUf	100%	0,00%	70,22%	12,30%	15,40%	0,00%	2,05%	0,00%	0,01%	0,02%
EUm	100%	1,07%	56,84%	8,47%	25,22%	0,00%	6,30%	0,02%	1,95%	0,13%
EUt	100%	2,77%	45,91%	4,49%	25,34%	0,00%	15,99%	0,04%	5,14%	0,32%
ECT	100%	0,00%	69,28%	9,17%	8,02%	0,00%	13,28%	0,02%	0,18%	0,05%
LU	100%	0,00%	54,45%	23,95%	14,04%	0,00%	7,33%	0,08%	0,09%	0,07%
WU	100%	0,00%	76,99%	9,14%	10,99%	0,00%	2,84%	0,00%	0,02%	0,02%
RDf	100%	0,00%	40,80%	7,86%	11,85%	0,00%	35,26%	0,36%	3,30%	0,57%
RDm	100%	0,00%	23,26%	3,71%	5,58%	0,00%	67,27%	0,02%	0,11%	0,05%

8.3. Pesatura

In Figura 28 e nelle Figura 28. Impatti pesati per la produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia.

Tabella 32 e 33 sono riportati i risultati della fase di pesatura. Nelle tabelle sono riportati i valori per le categorie di impatto per cui il modello EF 3.0 ha previsto i fattori di normalizzazione. La categoria con il peso maggiore è la EUf, seguita da Climate change (CC), ECT e RDm. Il carico ambientale sulla prima categoria è determinato per il 70% dalla produzione dell'olio di palma e, a seguire, dalla produzione dell'olio di colza (15%). Per quanto riguarda la categoria CC il maggior contributo percentuale all'impatto è ancora dovuto al processo di produzione dell'olio di palma (Palm Oil, 57,9%). A seguire, si registrano i contributi del processo relativo all'impianto di produzione elettrica (Oil Power Plant), pari al 18%, e di quello relativo alla produzione del Soybean oil, pari al 14 %. Per la terza categoria ECT, la percentuale di impatto maggiore è dovuta alla produzione di olio di palma (69%) seguita da quella relativa all'impianto di produzione elettrica (14%) e infine dalla percentuale di impatto associata alla produzione di olio di colza (Rapeseed oil) e soia (Soybean oil) pari, complessivamente, all'8%.

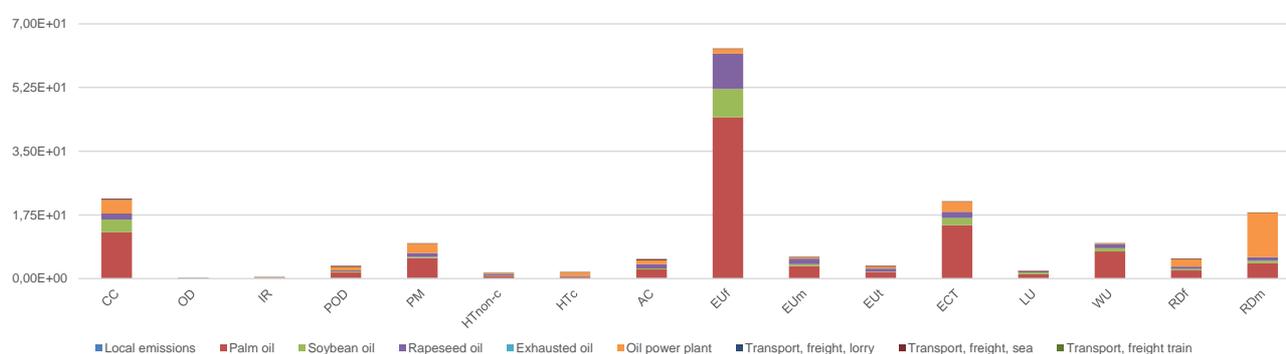


Figura 28. Impatti pesati per la produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia.

Tabella 32. Impatti pesati per la produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia: valori totali e per ciascun flusso considerato. Valori assoluti.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Local emissions	Palm oil	Soybean oil	Rapeseed oil	Oil power plant	Transport, freight, lorry	Transport, freight, sea	Transport, freight train
Totale	μPt	1,74E+02	7,85E-01	1,02E+02	1,76E+01	2,17E+01	2,93E+01	7,97E-02	1,55E+00	1,87E-01
CC	μPt	2,20E+01	6,54E-02	1,26E+01	3,51E+00	1,70E+00	3,72E+00	2,45E-02	2,89E-01	4,34E-02
OD	μPt	6,50E-02	0,00E+00	3,27E-02	6,20E-03	1,00E-02	1,29E-02	2,72E-04	2,62E-03	2,43E-04
IR	μPt	3,58E-01	0,00E+00	1,76E-01	3,07E-02	5,66E-02	8,22E-02	9,34E-04	7,70E-03	3,94E-03
POD	μPt	3,52E+00	1,46E-01	1,54E+00	2,73E-01	2,84E-01	9,89E-01	3,40E-02	2,65E-01	1,70E-02
PM	μPt	9,70E+00	2,12E-01	5,43E+00	3,23E-01	1,09E+00	2,56E+00	1,24E-02	4,91E-02	1,80E-02
HTnon-c	μPt	1,55E+00	3,08E-02	5,83E-01	1,50E-01	4,15E-01	3,66E-01	9,72E-04	4,30E-03	1,53E-03
HTc	μPt	1,72E+00	8,28E-03	5,37E-01	1,17E-01	1,53E-01	8,94E-01	4,53E-04	1,03E-02	2,88E-03
AC	μPt	5,40E+00	1,60E-01	2,36E+00	2,75E-01	1,16E+00	1,06E+00	3,31E-03	3,69E-01	1,52E-02
EUf	μPt	6,31E+01	0,00E+00	4,43E+01	7,76E+00	9,72E+00	1,29E+00	1,11E-03	6,80E-03	1,17E-02
EUm	μPt	6,00E+00	6,43E-02	3,41E+00	5,08E-01	1,51E+00	3,78E-01	1,02E-03	1,17E-01	7,52E-03
EUt	μPt	3,52E+00	9,76E-02	1,62E+00	1,58E-01	8,92E-01	5,63E-01	1,55E-03	1,81E-01	1,11E-02
ECT	μPt	2,12E+01	8,50E-04	1,47E+01	1,95E+00	1,70E+00	2,82E+00	5,29E-03	3,92E-02	1,06E-02
LU	μPt	2,16E+00	0,00E+00	1,18E+00	5,18E-01	3,04E-01	1,59E-01	1,70E-03	1,94E-03	1,61E-03
WU	μPt	9,68E+00	0,00E+00	7,45E+00	8,84E-01	1,06E+00	2,75E-01	3,75E-04	1,87E-03	1,70E-03
RDf	μPt	5,51E+00	0,00E+00	2,25E+00	4,33E-01	6,53E-01	1,94E+00	1,96E-02	1,82E-01	3,16E-02
RDm	μPt	1,82E+01	0,00E+00	4,23E+00	6,74E-01	1,01E+00	1,22E+01	2,73E-03	2,00E-02	9,25E-03

Tabella 33. Impatti pesati per la produzione di 1 kWh elettrico da bioliquidi in Italia: valori totali e per ciascun flusso considerato. Valori percentuali.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Locala emissions	Palm oil	Soybean oil	Rapeseed oil	Oil power plant	Transport, freight, lorry	Transport, freight, sea	Transport, freight train
Totale	μPt	100,00%	0,45%	58,99%	10,11%	12,52%	16,89%	0,05%	0,89%	0,11%
CC	μPt	100,00%	0,30%	57,49%	15,95%	7,73%	16,90%	0,11%	1,31%	0,20%
OD	μPt	100,00%	0,00%	50,28%	9,54%	15,43%	19,93%	0,42%	4,03%	0,37%
IR	μPt	100,00%	0,00%	49,21%	8,56%	15,78%	22,94%	0,26%	2,15%	1,10%
POD	μPt	100,00%	4,15%	43,79%	7,75%	8,09%	28,11%	0,10%	7,53%	0,48%
PM	μPt	100,00%	2,19%	55,94%	3,33%	11,29%	26,43%	0,13%	0,51%	0,19%
HTnon-c	μPt	100,00%	1,98%	37,57%	9,65%	26,76%	23,59%	0,06%	0,28%	0,10%
HTc	μPt	100,00%	0,48%	31,16%	6,81%	8,87%	51,89%	0,03%	0,60%	0,17%
AC	μPt	100,00%	2,95%	43,60%	5,09%	21,52%	19,67%	0,06%	6,82%	0,28%
EUf	μPt	100,00%	0,00%	70,22%	12,30%	15,40%	2,05%	0,00%	0,01%	0,02%
EUm	μPt	100,00%	1,07%	56,84%	8,47%	25,22%	6,30%	0,02%	1,95%	0,13%
EUt	μPt	100,00%	2,77%	45,91%	4,49%	25,34%	15,99%	0,04%	5,14%	0,32%
ECT	μPt	100,00%	0,00%	69,28%	9,17%	8,02%	13,28%	0,02%	0,18%	0,05%
LU	μPt	100,00%	0,00%	54,45%	23,95%	14,04%	7,33%	0,08%	0,09%	0,07%
WU	μPt	100,00%	0,00%	76,99%	9,14%	10,99%	2,84%	0,00%	0,02%	0,02%
RDf	μPt	100,00%	0,00%	40,80%	7,86%	11,85%	35,26%	0,36%	3,30%	0,57%
RDm	μPt	100,00%	0,00%	23,26%	3,71%	5,58%	67,27%	0,02%	0,11%	0,05%

8.4. Analisi di sensibilità

Lo scopo principale dell'analisi di sensibilità è di valutare l'influenza delle scelte ed assunzioni fatte sui risultati dell'LCA.

In particolare, nel presente studio, si è deciso di rappresentare l'impianto di produzione elettrica mediante un processo di Ecoinvent relativo ad un impianto di dimensioni (500 MW) molto maggiori di quelle degli impianti reali (1-50 MW), per mancanza di dati primari e di processi più appropriati, nel database di Ecoinvent. Inoltre, come distanza media di trasporto dei bioliquidi dall'Europa all'Italia, è stata scelta, la distanza in treno, fra Copenaghen (Danimarca) e Trieste (Italia). Infine, il processo di produzione dell'olio di soia è stato considerato quale proxy per quello dell'olio di mais e il processo di produzione dell'olio di colza quale proxy per quello dell'olio di girasole. Tali scelte si sono basate sulla similarità delle condizioni di coltivazione, trattamento e produzione dei bioliquidi. Pertanto, analisi di sensibilità è stata effettuata analizzando quanto di seguito indicato:

- 1) variazioni relative al peso della scelta dell'impianto di produzione elettrica sugli impatti caratterizzati;
- 2) variazioni relative all'assunzione fatta sulla scelta della Danimarca quale nazione di riferimento per il calcolo della distanza media di trasporto, a livello europeo;

3) variazioni relative alla selezione dei flussi utilizzati come proxy;

In particolare, e per quanto concerne il primo punto è stata effettuata un'analisi approfondita al fine di evidenziare opportunamente il peso specifico che la scelta del processo relativo all'impiantistica avesse sugli impatti totali. Si è quindi definito di effettuare simulazioni del processo andando ad escludere il processo di Ecoinvent relativo all'impianto prescelto (*Oil power plant, 500MW {GLO} | market for | Cut-off, U*).

In Tabella 34 si riporta il confronto tra gli impatti caratterizzati totali con e senza il processo suddetto.

Tabella 34. Impatti caratterizzati, confronto tra il contributo totale alla produzione di 1 kWh di energia di bioliquidi in Italia considerando o meno l'input Oil Power Plant.

Categoria d'impatto	Unità	Totale con Oil Power Plant	Totale senza Oil Power Plant	Diff. %
CC	kg CO ₂ eq	8,46E-01	7,03E-01	17%
OD	kg CFC11 eq	5,52E-08	4,42E-08	20%
IR	kBq U-235 eq	3,02E-02	2,33E-02	23%
POD	kg NMVOC eq	2,99E-03	2,15E-03	28%
PM	disease inc.	6,44E-08	4,74E-08	26%
HTnon-c	CTUh	1,94E-08	1,48E-08	24%
HTc	CTUh	1,37E-09	6,58E-10	52%
AC	mol H+ eq	4,84E-03	3,89E-03	20%
EUf	kg P eq	3,62E-03	3,55E-03	2%
EUm	kg N eq	3,96E-03	3,71E-03	6%
EUt	mol N eq	1,68E-02	1,41E-02	16%
ECT	CTUe	4,72E+01	4,09E+01	13%
LU	Pt	2,23E+01	2,07E+01	7%
WU	m ³ depriv.	1,30E+00	1,27E+00	2%
RDF	MJ	4,30E+00	2,79E+00	35%
RDm	kg Sb eq	1,53E-05	5,01E-06	67%
CCf	kg CO ₂ eq	4,11E-01	2,68E-01	35%
CCb	kg CO ₂ eq	7,70E-02	7,68E-02	0%
CClu	kg CO ₂ eq	3,58E-01	3,58E-01	0%
HTnon-c-o	CTUh	1,01E-09	7,07E-10	30%
HTnon-c-i	CTUh	6,68E-09	5,69E-09	15%
HTnon-c-m	CTUh	1,18E-08	8,48E-09	28%
HTc-o	CTUh	5,73E-10	3,52E-10	39%
HTc-i	CTUh	0,00E+00	0,00E+00	0%
HTc-m	CTUh	7,94E-10	3,06E-10	61%
ECT-o	CTUe	4,51E+00	4,47E+00	1%
ECT-i	CTUe	1,56E+01	1,52E+01	3%
ECT-m	CTUe	2,71E+01	2,13E+01	21%

Relativamente al secondo punto, per valutare l'influenza della scelta del trasporto via treno, dalla

Danimarca, è stato effettuato un confronto con lo scenario in cui il trasporto su ferro è sostituito da quello su gomma. I risultati dell'analisi di sensibilità riportati in Tabella 35, mostrano che tali assunzioni non impattano sui risultati dell'analisi. Sono infatti riportate le sole categorie di impatto per le quali si registra una variazione minima degli impatti tra lo scenario assunto (trasporto via treno dalla Danimarca per 1000 km) e scenario alternativo (trasporto su gomma). Nonostante quest'ultimo sia sicuramente più impattante, i risultati mostrano una sostanziale invariabilità (differenze percentuali <2%) degli impatti sulle categorie evidenziate.

Tabella 35. Confronto impatti totali caratterizzati per le uniche categorie di impatto che mostrano una variazione nella sostituzione del trasporto su gomma e via treno sul territorio UE

Categoria d'impatto	Unità	Totale con train	Totale con lorry	Diff. %
CC	kg CO ₂ eq	8,46E-01	8,46E-01	0,041%
IR	kBq U-235 eq	3,02E-02	3,02E-02	-0,002%
EUt	mol N eq	1,68E-02	1,68E-02	-0,001%
ECT	CTUe	4,72E+01	4,72E+01	0,436%
LU	Pt	2,23E+01	2,23E+01	1,162%
WU	m ³ depriv,	1,30E+00	1,30E+00	-0,002%
RDf	MJ	4,30E+00	4,31E+00	0,735%
CCf	kg CO ₂ eq	4,11E-01	4,11E-01	0,041%
ECT-o	CTUe	4,51E+00	4,51E+00	0,063%
ECT-i	CTUe	1,56E+01	1,56E+01	0,196%
ECT-m	CTUe	2,71E+01	2,71E+01	0,177%

Relativamente invece al punto tre, nello scenario di sensibilità l'olio di palma è stato sostituito quale proxy dei due oli suddetti e come da Tabella 36.

Tabella 36. Analisi di sensibilità per i proxy dei bioliquidi

Bioliquido	Proxy scenario base	Proxy scenario sensibilità
Sunflower oil	ARCADIA_Soybean oil, refined {RoW} soybean oil refinery operation Cut-off, U	Palm oil, refined {GLO} market for Cut-off, U
Maize Oil	Soybean oil, refined {GLO} market for Cut-off, U	Palm oil, refined {GLO} market for Cut-off, U

In Figura 29 è riportato il confronto degli impatti caratterizzati dello scenario base e dello scenario con i proxy dei bioliquidi modificati.

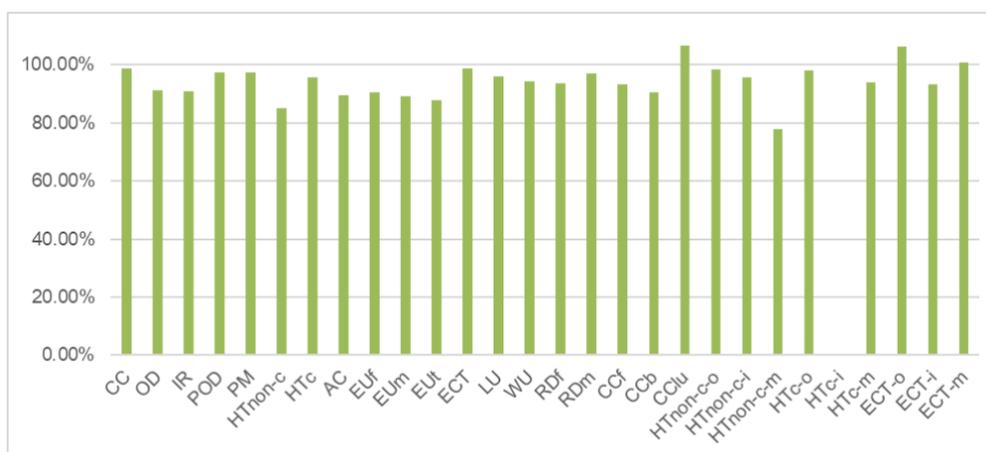


Figura 29. Confronto scenario base e scenario con i proxy dei bioliquidi modificati

La figura mostra il rapporto percentuale tra gli impatti caratterizzati per lo scenario base e lo scenario di sensibilità. Un valore pari al 100% mostra una sostanziale invariabilità degli impatti totali caratterizzati tra i due scenari investigati. Un valore minore o maggiore del 100% è espressione di una riduzione o aumento degli impatti per la specifica categoria di impatto.

In Tabella 37 sono appunto riportati i valori degli impatti totali caratterizzati per l'analisi base e quella di sensibilità. È inoltre riportata, nell'ultima colonna a sinistra, la differenza percentuale tra gli impatti totali nei due scenari, per ciascuna categoria di impatto, come da formula seguente:

$$Diff \% = \frac{(Imp. \text{ scenario base} - Imp. \text{ scenario proxy sensibilità})}{Imp. \text{ scenario base}}$$

Tabella 37. Impatti caratterizzati per l'analisi base e quella di sensibilità.

Categoria d'impatto	Unità	Scenario base	Scenario proxy sensibilità	Diff %
CC	kg CO ₂ eq	8.46E-01	8.34E-01	1.33%
OD	kg CFC11 eq	5.52E-08	5.04E-08	8.86%
IR	kBq U-235 eq	3.02E-02	2.74E-02	9.05%
POD	kg NMVOC eq	2.99E-03	2.91E-03	2.76%
PM	disease inc.	6.44E-08	6.27E-08	2.66%
HTnon-c	CTUh	1.94E-08	1.65E-08	14.97%
HTc	CTUh	1.37E-09	1.31E-09	4.47%
AC	mol H ⁺ eq	4.84E-03	4.33E-03	10.53%
EUf	kg P eq	3.62E-03	3.28E-03	9.46%
EUm	kg N eq	3.96E-03	3.53E-03	10.97%
EUt	mol N eq	1.68E-02	1.47E-02	12.18%
ECT	CTUe	4.72E+01	4.66E+01	1.16%
LU	Pt	2.23E+01	2.14E+01	3.98%
WU	m ³ depriv.	1.30E+00	1.23E+00	5.79%
Rdf	MJ	4.30E+00	4.02E+00	6.52%
RDm	kg Sb eq	1.53E-05	1.49E-05	2.96%
CCf	kg CO ₂ eq	4.11E-01	3.83E-01	6.74%
CCb	kg CO ₂ eq	7.70E-02	6.98E-02	9.36%
CCLu	kg CO ₂ eq	3.58E-01	3.82E-01	-6.61%
HTnon-c-o	CTUh	1.01E-09	9.93E-10	1.48%

HTnon-c-i	CTUh	6.68E-09	6.38E-09	4.38%
HTnon-c-m	CTUh	1.18E-08	9.18E-09	22.03%
HTc-o	CTUh	5.73E-10	5.61E-10	2.10%
HTc-i	CTUh	0.00E+00	0.00E+00	0.00%
HTc-m	CTUh	7.94E-10	7.45E-10	6.19%
ECT-o	CTUe	4.51E+00	4.79E+00	-6.24%
ECT-i	CTUe	1.56E+01	1.45E+01	6.65%
ECT-m	CTUe	2.71E+01	2.73E+01	-0.75%

La Tabella mostra che le differenze percentuali tra gli impatti nei due scenari è, mediamente, pari al 5,5%, con valori inferiori al 10% per quasi tutte le categorie.

Solo per tre categorie di impatto lo scenario di sensibilità comporta un incremento rispetto a quello standard:

- Ecotoxicity, freshwater – metals (ECT-m);
- Climate change - Land use and LU change (CClu);
- Ecotoxicity, freshwater - organics (ECT-o).

con un incremento dello 0,75%, 6,61% e 6,24% rispettivamente. Ciò è sicuramente dovuto al maggior impatto della coltivazione raccolta e produzione di olio di palma rispetto alle colture utilizzate quale proxy nello scenario base.

9. Interpretazione dei risultati

L'analisi portata avanti nel corso del presente documento è stata realizzata come output dell'Azione 5 "Analisi e raccolta dati per la costituzione della banca dati" del progetto Arcadia. Questo rapporto rappresenta lo studio della filiera per la produzione di energia elettrica da bioliquidi in Italia. Lo studio della filiera, la raccolta dei dati e la creazione di un modello per l'analisi LCA sono stati prodromici alla fase di simulazioni effettuate utilizzando il software SimaPro ed all'interpretazione dei risultati ottenuti. Lo studio è fatto in accordo alle norme ISO che attualmente regolano sia i principi (ISO 14040:2006) che le linee guida (ISO 14044:2006) per le analisi LCA.

L'interpretazione dei risultati di seguito riportata consente di identificare e quantificare la rilevanza delle categorie di impatto (par. 9.1) e delle fasi del ciclo di vita e dei processi considerati (par. 9.2). In aggiunta un'analisi dei flussi elementari rilevati è stata effettuata per un approfondimento di maggior dettaglio (par. 9.3).

9.1. Categorie di impatto rilevanti

L'analisi degli impatti normalizzati mostra le seguenti categorie di impatto come maggiormente interessate nell'analisi del ciclo di vita:

- Eutrophication, freshwater (EUf);
- Ecotoxicity, freshwater (ECT);
- Resource use, minerals and metals (RDm).

Gli impatti sulle risorse idriche (EUf e ECT) potrebbero essere ascrivibili ai pesticidi e ai concimi impiegati nella produzione delle piante oleaginose. D'altra parte, gli impatti gravanti sulla categoria

RDm appaiono associati principalmente (67%) alla realizzazione dell'impianto di conversione energetica. Questo risultato, però, va considerato con cautela. Infatti, come già evidenziato più volte nel corso del presente studio, tale impatto è sovrastimato, in quanto, nel database di EcoInvent, non erano disponibili processi adeguati a descrivere gli impianti reali, che sono di dimensioni molto minori.

9.2. Fasi del ciclo di vita e processi rilevanti

In Tabella 38 è riportato il peso percentuale della coltivazione e produzione dei bioliquidi (di ogni coltura d'interesse) sul totale degli impatti normalizzati, calcolati per ciascuna categoria rilevante, individuata nel paragrafo precedente.

Tabella 38. Processi rilevanti per le categorie più impattate

Categoria di impatto	Impatto Totale	Impatto % Olio di Palma	Impatto % Olio di soia	Impatto % Olio di colza
Euf	2.26E-03	70,22	12,3	15,4
ECT	1.11E-03	69,28	9,17	8,02
RDm	2.41E-04	23,26	3,71	5,58

La tabella mostra che il peso della produzione dei bioliquidi è notevole. Sulla categoria Euf la somma delle percentuali di impatto di tale produzione è pari al 97% mentre per ECT si attesta all'86%. In particolare, spicca il contributo del processo di produzione dell'olio di palma. Si tratta di un risultato atteso, dal momento che il peso percentuale dell'olio di palma, nel mix impiegato per la produzione elettrica, è molto più elevato rispetto a quello degli altri bioliquidi. Unica nota da segnalare è come sulla categoria di impatto RDm il peso dei tre processi produttivi dei bioliquidi pesi per solo il 31%. È proprio su tale categoria che la costruzione, smaltimento e consumo di suolo dell'impianto di produzione elettrica ha un notevole impatto (pari al 67% sul totale).

In definitiva quindi è stato evidenziato come la maggioranza degli impatti della filiera di produzione dei bioliquidi per la produzione di energia elettrica in Italia è concentrata nelle fasi di coltivazione e produzione dei bioliquidi stessi. A seguire la costruzione, smaltimento e consumo di suolo dell'impianto di produzione elettrica impatta mediamente per il 21,2% su tutte le categorie. In ultima analisi tali considerazioni sono avvalorate dal basso impatto dei trasporti e delle emissioni locali dovute alla produzione di energia elettrica. Seppur tali bioliquidi siano in misura maggioritaria prodotti e trasportati da paesi extra europei e localizzati nel sud-est asiatico l'impatto dei trasporti è infatti trascurabile.

Mediamente una bassa percentuale degli impatti caratterizzati è registrata per le emissioni locali (0,8%) e per i trasporti su gomma (0,1%), via nave (1,4%) e in treno (0,2%). In Tabella 39 il peso dell'impatto dei trasporti per ciascuna categoria di impatto più rilevante.

Tabella 39. Categorie di impatto rilevanti per gli impatti normalizzati e peso percentuale dei trasporti

Categoria di impatto	Impatto Totale	Impatto % trasporto via nave	Impatto % trasporto via treno	Impatto % trasporto su gomma
Euf	2.26E-03	0,01	0,02	0,00

ECT	1.11E-03	0,18	0,05	0,02
RDm	2.41E-04	0,11	0,05	0,02

9.3. Flussi elementari rilevanti

L'analisi dei flussi elementari rilevanti, effettuata per le categorie di impatto più rilevanti, ha evidenziato che le operazioni di trattamento e raffinazione dell'olio di palma è una delle fasi della filiera maggiormente impattante su ciascuna delle categorie di impatto evidenziate precedentemente. Tale considerazione può essere estesa anche alla produzione e coltivazione delle altre fonti di origine vegetale da cui provengono i bioliquidi utilizzati per la produzione elettrica. In dettaglio, relativamente alla categoria più impattata (Euf), il flusso elementare più importante è rappresentato dal fosfato (99,4%), nel comparto acqua, che proviene dalle acque reflue di trattamento degli oli vegetali.

Per la seconda categoria più impattata (ECT), i flussi elementari più rilevanti sono costituiti dai cloruri (30,6%) e i solfuri (23,9%) rilasciati in acqua, nell'ambito dei processi di produzione dell'olio di palma, di colza e di soia. In particolare, le principali fonti di questi contaminanti sono le acque reflue, derivanti dalla raffinazione dei bioliquidi (31,5%), e il cloruro di potassio (22,6%), impiegato come fertilizzante. Infine, impatti non trascurabili sono anche quelli associati all'alluminio emesso in atmosfera (15,9%) e a quello depositato sul suolo (9,7%). Il primo si genera sia nella fase di costruzione dell'impianto di conversione energetica (58%) che in quella di produzione dell'olio di palma (42%). Quest'ultima fase è anche quella maggiormente responsabile (69%) della contaminazione del suolo da parte dell'alluminio, mentre il processo di realizzazione dell'impianto di conversione energetica contribuisce in misura minore (23%) a tale contaminazione.

10. Conclusioni

I risultati ottenuti dall'analisi LCA del dataset relativo alla filiera di produzione di 1 kWh di energia elettrica da bioliquidi, in Italia, mostrano che i principali hotspot sono i processi di produzione delle colture oleaginose. In generale, la produzione di olio di palma impatta mediamente per il 50,2% su tutte le categorie di impatto. In particolare, si possono evidenziare dei picchi dell'80,2% sul totale degli impatti della categoria Ecotoxicity, freshwater - organics (ECT-o). ed un valore medio del 77% sul totale degli impatti della categoria Water use (WU) e del 74,5% sul Climate change - Land use and LU change (CClu). Mediamente la produzione dell'olio di palma è di gran lunga il processo più impattante raggiungendo valori maggiori del 20% per ognuna delle categorie. Quella che mostra l'impatto meno importante dovuto alla produzione di questo specifico bioliquido è Human toxicity, cancer – metals (HTc-m) per un totale del 22%.

Il secondo processo più importante mediamente per tutte le categorie di impatto è la costruzione, smaltimento e consumo di suolo dell'impianto di produzione elettrica per un valore medio pari al 21,2%. La categoria di impatto con un maggior valore percentuale è la Resource use, minerals and metals (RDm) con un valore pari al 67,3%. A seguire si riportano le categorie Human toxicity, cancer – metals (HTc-m) con un valore pari al 61,5% e Human toxicity, cancer (HTc) con un valore di 51,9%. Lo studio LCA è stato effettuato, come precedentemente evidenziato, utilizzando perlopiù dati

secondari, non essendo dati primari facilmente reperibili. In aggiunta, L'impianto di produzione elettrica considerato è un impianto alimentato da fonti fossili di potenza nominale 500 kW e vita media 30 anni. Ciò seppur è in contrasto con i dati disponibili che evidenziano che la taglia degli impianti alimentati da bioliquidi presenta perlopiù una concentrazione maggiore nella fascia da 200 kW ad 1 MW (circa 80%), con una piccola quota per potenze minori di 200 kW e maggiori di 50kW (circa 20%), è motivato dall'impossibilità di reperire un altro impianto di produzione elettrica disponibile nel database di Ecoinvent. Pertanto, i risultati relativi all'impatto dell'impiantistica dovrebbero essere "maneggiati con cautela" ed in tale studio al fine di comprendere quanto pesa l'impatto dell'impianto sull'impatto totale del processo analizzato, è stato evidenziato il peso specifico del processo relativo alla produzione elettrica e sono state effettuate analisi con e senza l'impianto prescelto.

Tra gli altri processi utilizzati, quelli di produzione dei bioliquidi hanno un impatto medio all'incirca intorno al 10%. Infatti mediamente l'impatto della produzione dell'olio di colza è pari al 12% con picchi in alcune categorie di impatto di seguito indicate:

- 37,5 % per l'Human toxicity, non-cancer – metals (HTnon-c-m);
- 26,8% per l'Human toxicity, non-cancer (HTnon-c);
- 25% per l'Eutrophication, marine (EUm) e Eutrophication, terrestrial (EUt).

Non troppo differenti le evidenze per il processo di produzione dell'olio di soia che in media impatta per il 10 % su tutte le categorie. Il maggior peso si evidenzia per le categorie di seguito indicate:

- 23,9% per il Land use (LU);
- 25,5% sul Climate change - Land use and LU change (CCLu);
- 17% sulla categoria Ecotoxicity, freshwater – organics (ECT-o).

Le fasi di approvvigionamento dei bioliquidi, dal territorio nazionale ma soprattutto da quello internazionale, non hanno un grande impatto seppure le distanze elevate di approvvigionamento potrebbe far presumere il contrario. Mediamente gli impatti sono pari a:

- 0,1% per i trasporti su gomma;
- 1,4% per quelli via mare;
- 0,2% per quelli via treno.

In particolare, il trasporto via mare impatta in misura maggiore sulla categoria Photochemical ozone formation (POD) per il 7.5%.

Le emissioni locali impattano mediamente per lo 0,8% essendo prodotti dal solo impianto di produzione elettrica. La categoria dove percentualmente c'è il maggior impatto è Photochemical ozone formation (POD) con il 4,1%.

La normalizzazione e la pesatura indicano gli impatti maggiori rispettivamente per le categorie di Eutrophication, freshwater (EUf) e Ecotoxicity, freshwater (ECT), a causa dell'impatto relativo alla fase di produzione dell'olio di palma ed in particolare all'utilizzo di fertilizzanti (per esempio il cloruro di potassio) e delle acque reflue provenienti dal processo di raffinazione.

I risultati di questo studio sono perfettamente in linea con l'orientamento della comunità scientifica internazionale che negli ultimi anni ha sottolineato la necessità di attenzionare la produzione

indiscriminata di olio di palma, sia per il consumo alimentare che per la produzione di bioliquidi per la generazione elettrica.

L'affidabilità degli studi LCA è strettamente legata alla qualità dei dati raccolti. In questo studio i dati utilizzati sono perlopiù dati secondari riferiti alla fine dell'anno 2020 dal report ufficiale del GSE. Il carattere internazionale dell'approvvigionamento e produzione dei bioliquidi ha reso necessario l'analisi della filiera su scala mondiale e si ritiene che lo studio effettuato sia rappresentativo della stessa.

Inoltre, la robustezza dello studio è stata dimostrata dai risultati dell'analisi di sensibilità dettagliati nel paragrafo precedente. Tale analisi avvalorava le scelte effettuate per i flussi impiegati.

11. Bibliografia

- Assoporti. (2022, Giugno). Tratto da <https://www.assoporti.it/it/autoritasistemaportuale/statistiche/statistiche-annuali-complesive/movimenti-portuali-2021>
- Bernas, J., Bernasova, T., Nedbal, V., Neugschwandtner, R., ., ., & ., .. (2021). Agricultural LCA for Food Oil of Winter Rapeseed, Sunflower, and Hemp, Based on Czech Standard Cultivation Practices. *Agronomy*.
- Berton, Marino, Bona, Stefano, Francescato, Valter, . . . Eliseo. (2007, Novembre). Tratto da https://www.venetoagricoltura.org/upload/Libro_OLIO_low_CCIAA%20Pd.pdf
- Bordoni, A., Romagnoli, E., Foppa Pedretti, E., Toscano, G., Rossini, G., Duca, D., . . . Riva, G. (2013). *La filiera olio-energia*.
- Buratti, C., Moretti, E., Fantozzi, F., ., ., ., ., & ., .. (2010). Assessing the GHG emissions of rapeseed and soybean biodiesel in compliance to the EU Renewable Energy Directive methodology for biofuels. *18th European Biomass Conference and exhibition*. Lyon.
- Calamai, A., & Vai, T. (2020). Tratto da <http://www.campuslab.eu/sites/default/files/file/PSR/Pubblicazioni/P.Sv5%20-%20La%20filiera%20dell%27olio%20vegetale%20puro%20%28OVP%29%20-%20scheda.pdf>
- CampusLab. (2022, Aprile). Tratto da <http://www.campuslab.eu/sites/default/files/file/PSR/Pubblicazioni/P.Sv5%20%20La%20filiera%20dell%27olio%20vegetale%20puro%20%28OVP%29%20-%20scheda.pdf>
- Decreto Legislativo 02.02.07, n. 2. (2007, Febbraio). Tratto da <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2007/03/22/007G0042/sg>
- Decreto Legislativo 30.05.05, n. 1. (2005, Maggio). Tratto da <https://www.parlamento.it/parlam/leggi/deleghe/05128dl.htm>
- Decreto-Legge 31.03.11, n. 3. (2011, Marzo). Tratto da <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2011-03-31;55>
- Ekvall, T. (2007). What life-cycle assessment does and does not do in assessments of waste management. EU. (2009, Aprile). Tratto da <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:32009L0028>
- EU. (2018, Aprile). Tratto da <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001>
- GSE. (2022, Marzo). Rapporto Statistico 2020 - Energia da fonti rinnovabili in Italia.
- ISPRA. (2019). Tratto da <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/fattori-di-emissione-per-le-sorgenti-di-combustione-stazionarie-in-italia/view>
- ISTAT. (2022, Luglio). Tratto da http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCSC_TRAFERR
- ISTAT. (2022). *ISTAT*. Tratto da ISTAT: <http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=34434>
- Loibnegger, T., Breinesberger, J., Aberson, H., Antonini, E., Martens, R., Rottmann-Meyer, M.-L., . . . Dieringer, S. (2011, Ottobre). Tratto da <https://www.etipbioenergy.eu/images/pure-plant-oil-as-fuel.pdf>
- MIPAAF, E. (s.d.). Tratto da <https://www.progettobiomasse.it/it/pdf/studio/p2c3.pdf>
- Phalan, B., Bertschy, M., Butchart, S., Donald, P., Scharlemann, J., Stattersfield, A., & Balmford, A. (2013, Gennaio). Crop Expansion and Conservation Priorities in Tropical Countries.
- RSC. (2012). Tratto da https://www.rsc.org/suppdata/gc/c2/c2gc35204d/c2gc35204d_2.pdf
- RSPO. (2021, Giugno). Tratto da <https://rspo.org/resources/certification/rspo-principles-criteria-certification/rspo-principle-criteria-for-the-production-of-sustainable-palm-oil-2018>
- Schmidt, J. (2015). Life Cycle assessment of five vegetable oils. *Journal of Cleaner Production* 85.
- Scrosta, V., & Duca, D. (2010, Giugno). *Filiera Olio-energia*. Tratto da http://www.crupa.it/media/documents/crupa_www/Progetti/Seq-Cure/Corso_9-10_6_2010_Medicina/Scrosta_20100610.pdf
- Searates. (2022, Giugno). Tratto da <https://www.searates.com/it>
- UN. (1948, Dicembre). Tratto da <https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/2021/03/udhr.pdf>
- Worldshipping. (2022, Giugno). Tratto da <https://www.worldshipping.org/top-50-ports>

www.oilworld.biz. (2020). *Oilworld*. Tratto da 2020, Oilworld.

Zampori, L., & Pant, R. (2019). Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method.



Allegato I: Documentazione a supporto

Calcolo delle distanze di trasporto dei bioliquidi, utilizzati nello studio di filiera

Le tabelle e figure che seguono riportano le distanze di trasporto dei bioliquidi in funzione della nazione (o zona) di provenienza utilizzati nello studio di filiera.

Tabella I. Distanza media Malesia-Italia in nave

Trasporto in nave da oltreoceano		
Provenienza	Distanza (km)	Fonte
Port Kelang (Malesia)	11270	https://www.searates.com/
Distanza media in nave	11270	

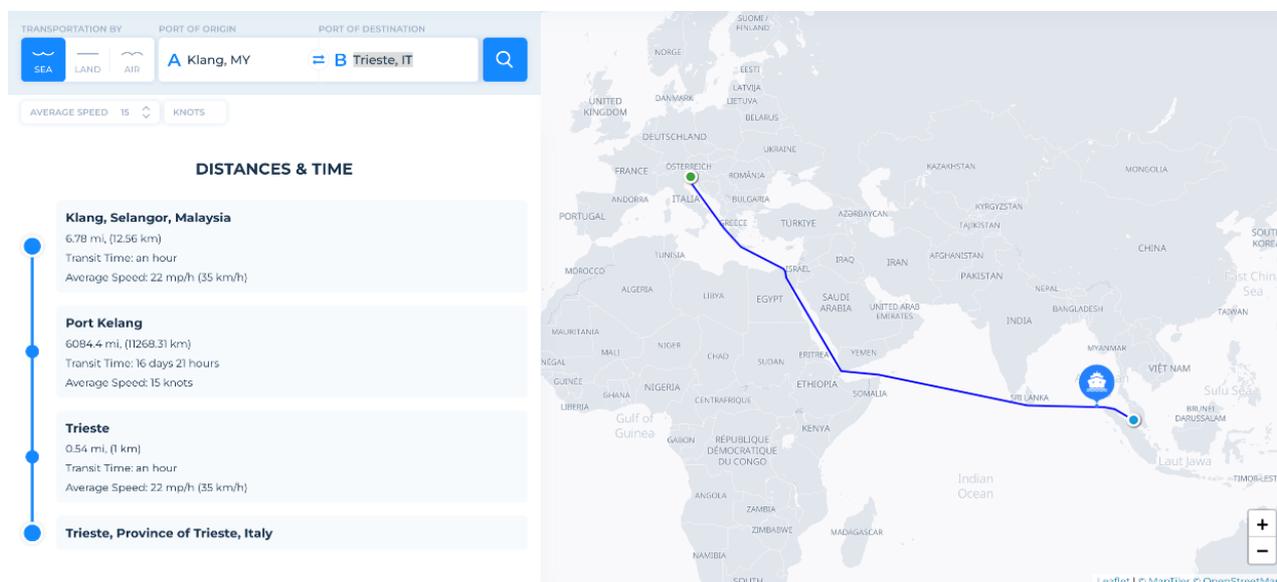


Figura I. Distanza media Malesia-Italia in nave

Tabella II. Distanza media Indonesia-Italia in nave

Trasporto in nave da oltreoceano		
Provenienza	Distanza (km)	Fonte
Pulang Pisau (Indonesia)	13000	https://www.searates.com/
Distanza media in nave	13000	

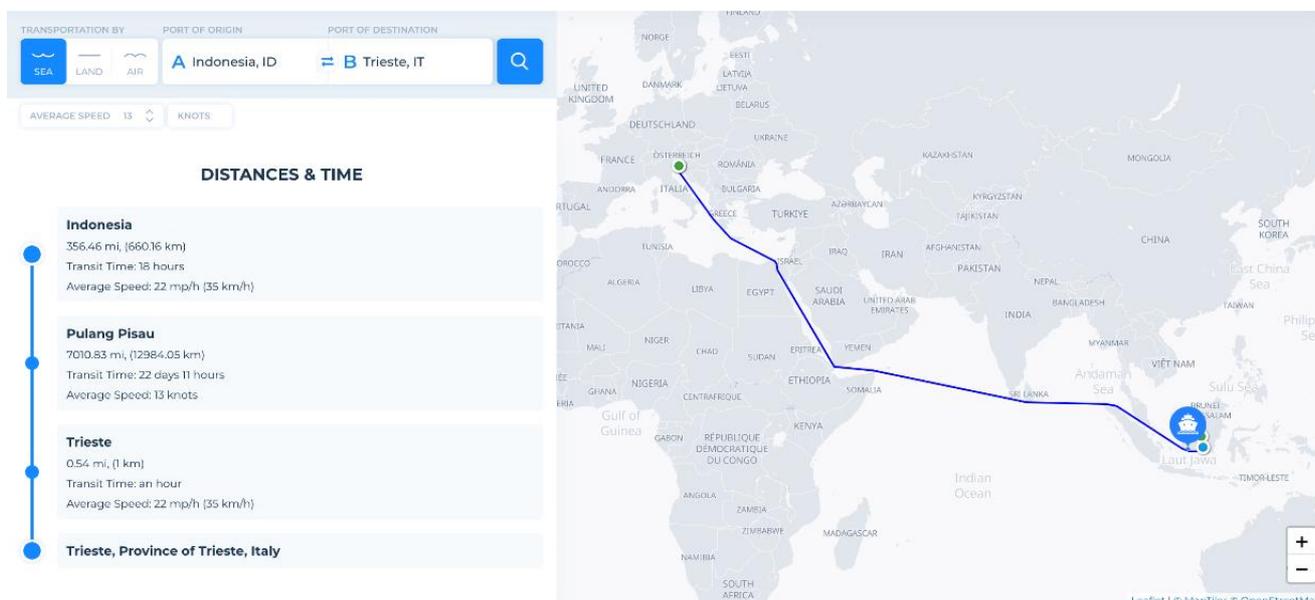


Figura II. Distanza media Indonesia-Italia in nave

Tabella III. Distanza media Extra EU-Italia in nave

Trasporto in nave da oltreoceano		
Provenienza	Distanza (km)	Fonte
Jebel Ali (UAE)	7700	https://www.searates.com/
Distanza media in nave	7700	

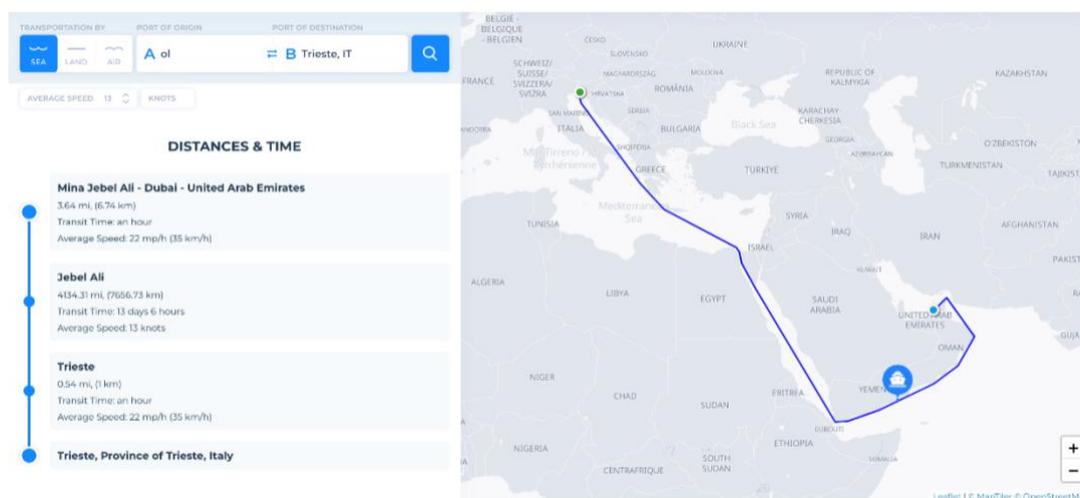


Figura III. Distanza media Extra EU-Italia in nave

La distanza media in treno EU-Italia è stata assunta pari a 1000 km e si è preso come riferimento la Danimarca. Su tale punto è stata effettuata anche analisi di sensitività per giustificare tale assunzione.

Tabella IV. Distanza media EU-Italia in treno

Trasporto in treno da EU		
Provenienza	Distanza (km)	Fonte
Danimarca	1000	https://www.searates.com/
Distanza media in treno	1000	

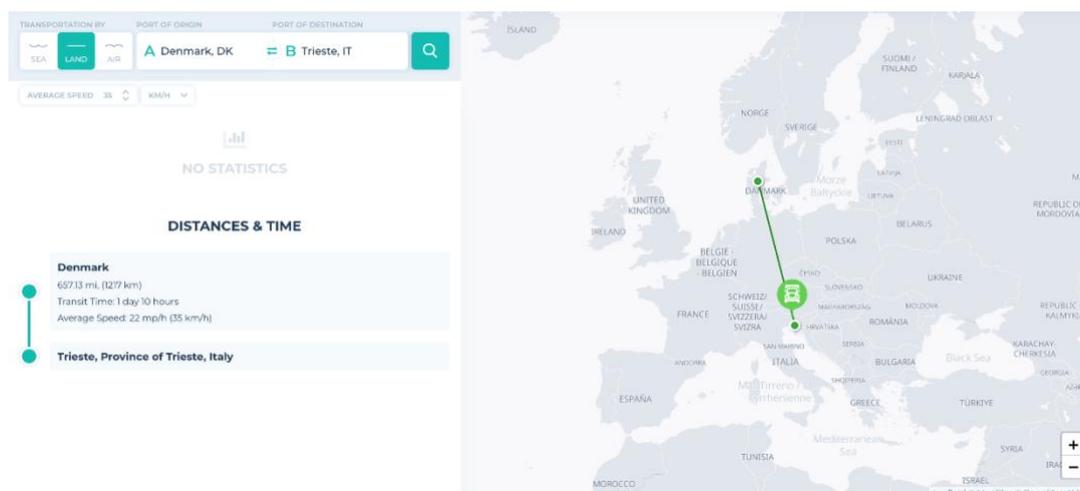


Figura IV. Distanza media EU-Italia in treno

Il trasporto dei bioliquidi sul territorio italiano è considerato su treno (350 km) e gomma (50 km). In definitiva i flussi totali di bioliquido per Paese di produzione e provenienza sono stati moltiplicati per le specifiche distanze percorse.

Tabella V. Calcoli dei flussi dei trasporti per il processo individuato.

Bioliquido	Processo	Calcoli
Trasporto su gomma	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 Cut-off, U	$4,99E+07/4,6E+09=0,0109 \text{ t*km}$
Trasporto in nave	Transport, freight, sea, tanker for petroleum {GLO} market for transport, freight, sea, tanker for petroleum Cut-off, U	$(3,68E+09+4,45E+09+2,89E+08)/4,6E+09=1,83 \text{ t*km}$
Trasporto in treno	Transport, freight train {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U	$(4,60E+07 + 1,22E+08)/4,6E+09=0,0365 \text{ t*km}$