

LCA DI UN IMPIANTO DI TRATTAMENTO FORSU PER LA PRODUZIONE DI BIOGAS CON L'AUSILIO DI UN FOTOBIOREATTORE A MICROALGHE PER L'ASSORBIMENTO DELLA CO2 DI PRODUZIONE

Risultati del Progetto SARR

Lingua	Parole Chiave
IT	Economia Circolare, FORSU, Microalghe, Trattamento Rifiuti, Life Cycle Assesment

Data: Marzo 2021

Autori: Federico Gallo, Alessandra Vescovo

Eco-management srl



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

ANALISI DEL CICLO DI VITA (LCA) IMPIANTO DI TRATTAMENTO FORSU PER LA PRODUZIONE DI BIOGAS CON L'AUSILIO DI UN FOTOBIOREATTORE A MICROALGHE PER L'ASSORBIMENTO DELLA CO₂ DI PRODUZIONE

Study Report

Revisione	Data	Redazione	Convalida	Approvazione
00	26/04/2021	Vecchiato, Vescovo, Gallo		

ECO-Management SRL

Sede legale: Via Emilia, 7 Monselice (PD)
Tel: +390490990550 Fax: +39 0490990580
P.IVA 03699350280 Cap.Soc. € 25.000,00



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	GOAL AND SCOPE DEFINITION	6
2.1	Obiettivi dello studio	6
2.1.1	Motivazioni	6
2.1.2	Applicazioni previste	6
2.1.3	Destinatari dello studio	6
2.2	Metodologia.....	6
2.2.1	Le fasi dello studio.....	7
2.3	Campo di applicazione dello studio	8
2.3.1	Unità funzionale.....	8
2.3.2	Confini del sistema ed assunzioni.....	9
2.4	Categorie di dati e requisiti di qualità.....	9
2.5	Regole di allocazione	10
2.6	Categorie di impatto.....	10
2.6.1	Potenziale di riscaldamento globale	11
2.6.2	Danno alla fascia di ozono	12
2.6.3	Acidificazione.....	12
2.6.4	Eutrofizzazione	13
2.6.5	Smog fotochimico.....	14
2.6.6	Impoverimento dei fattori abiotici: elementi e combustibili fossili.....	14
3	ANALISI DELL'INVENTARIO	15
3.1	Processi di Upstream.....	15
3.1.1	Approvvigionamento di materie prime.....	15
3.1.2	Pretrattamento FORSU	16
3.2	PROCESSI CORE	17
3.2.1	Digestione della FORSU	17
3.3	PROCESSI DI DOWNSTREAM	18
3.3.1	Cogeneratore/Fase di uso.....	18
3.3.2	Fotobioreattore.....	18
4	VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DEL CICLO DI VITA	20
4.1	Quantificazione degli indicatori.....	20
4.2	Process Contribution.....	21
4.2.1	Acidificazione	21
4.2.2	Eutrofizzazione	23
4.2.3	Global warming	25



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

4.2.4	Smog fotochimico.....	27
4.2.5	Distruzione della fascia di ozono.....	29
4.2.6	Impoverimento dei fattori abiotici: elementi.....	31
4.2.7	Impoverimento dei fattori abiotici: combustibili fossili.....	33
4.3	Compound Contribution	35
5	INTERPRETAZIONE DEL CICLO DI VITA	36
5.1	Analisi di sensitività	36
5.2	Valutazione della qualità dei dati	37
6	CONCLUSIONI	38



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

1 INTRODUZIONE

L'obiettivo del presente studio (appartente all'AZ. 3.1 applicata all'AZ. 2.3 del progetto Sistemi avanzati per il recupero dei rifiuti - SARR) è la ricerca e ottimizzazione di processi chimico-biologici per la valorizzazione della produzione di biogas dalla Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani (FORSU) tramite digestione anaerobica.

Durante le varie fasi del progetto gli obiettivi sono stati la ricerca e lo sviluppo di operazioni di up-stream (preparazione/pretrattamento della FORSU), l'ottimizzazione di operazioni down-stream (separazione solido-liquido), la realizzazione dell'impianto pilota per il processo di fermentazione e digestione anaerobica applicato a Forsu da raccolta differenziata, la progettazione del prototipo di "minibiodigestore" e il trattamento della frazione liquida del digestato mediante coltivazione di microalghe.

L'iniziativa è volta principalmente alla produzione di biogas a partire dalla digestione anaerobica dei rifiuti organici e dal sequestro della CO₂ prodotta dal processo, oltre che del trattamento del digestato liquido, tramite l'utilizzo di un fotobioreattore a microalghe. Questo processo permette quindi di avere una valorizzazione dei rifiuti, la produzione di biogas invece che di gas fossile e un abbassamento delle emissioni di CO₂.

Il presente studio intende quindi valutare le performance ambientali dell'impianto pilota biodigestore + fotobioreattore, in relazione ad un set completo di indicatori di impatto ambientale.

Il presente documento costituisce la relazione finale di uno studio di Analisi del Ciclo di Vita (LCA – Life Cycle Assessment), condotto in conformità alle prescrizioni delle norme internazionali della serie **UNI EN ISO 14040**.

Il report è organizzato secondo le quattro fasi della metodologia dell'Analisi del Ciclo di Vita:

- Goal and Scope Definition (capitolo 2), nella quale si enunciano gli obiettivi dello studio, si individuano i sistemi analizzati e si descrivono le metodologie impiegate.
- Inventory Analysis (capitolo 3), nella quale si descrivono il modello concettuale impiegato ed i dati raccolti.
- Impact Assessment (capitolo 4), nella quale si presentano i risultati dello studio.



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

- Interpretation (capitolo 5), nella quale vengono effettuate le analisi di sensibilità dei risultati e dei contributi dei diversi processi alla performance globale.



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

2 GOAL AND SCOPE DEFINITION

2.1 Obiettivi dello studio

2.1.1 Motivazioni

La Rete Innovativa Regionale (RIR) "Veneto Green Cluster" ha commissionato questo studio, rientrante nel progetto SARR AZ 2.3, al fine di conoscere e valutare la performance ambientale della produzione di biogas da digestione di FORSU con l'aggiunta di un fotobioreattore a valle per l'assorbimento della CO₂ prodotta e lo smaltimento del digestato liquido.

2.1.2 Applicazioni previste

Lo studio si propone di valutare il ciclo di vita delle referenze identificate "dalla culla alla tomba". Le applicazioni previste sono:

- Applicazione interna: la RIR intende utilizzare i risultati dello studio per informazione e formazione dei portatori di interesse interni che aderiscono al progetto. Ove possibile, i risultati saranno utilizzati per intraprendere azioni volte al miglioramento ambientale del prodotto.
- Applicazione esterna: la RIR intende comunicare all'esterno i risultati dello studio a portatori di interesse.

2.1.3 Destinatari dello studio

Destinatari della presente relazione sono in primo luogo i partner di progetto e la Regione Veneto.

2.2 Metodologia

Lo studio rappresenta un'applicazione della metodologia di Analisi del Ciclo di Vita eseguita secondo le norme della serie ISO 14040.

Per questo studio non è stato possibile utilizzare nessuna PCR in quanto per questa tipologia di impianti non ne sono state ancora sviluppate. Si è comunque proceduto effettuando lo studio "dalla culla alla tomba".

Per giungere ai risultati qui riportati, è stato utilizzato uno dei software applicativi più diffusi per la valutazione del ciclo di vita di prodotto, vale a dire SimaPro 8.5.2.0 Analyst¹. Inoltre, si è fatto uso di database relativi alla produzione dei materiali, ai trasporti ed ai sistemi energetici, quali Ecoinvent 3.4.

¹ <http://www.pre.nl/simapro/>



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



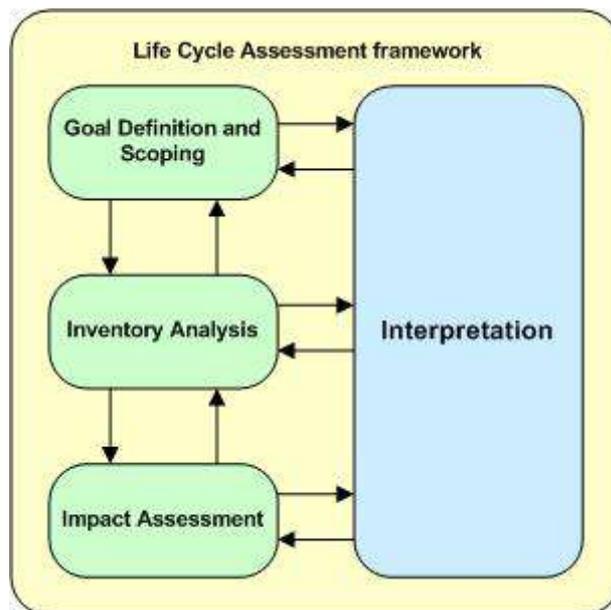
Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

2.2.1 Le fasi dello studio

Sono quattro le fasi principali che caratterizzano uno studio di Analisi del Ciclo di Vita:

- **Definizione degli obiettivi** dello studio e dei confini del sistema oggetto di valutazione.
- **Analisi dell'inventario**, ossia la quantificazione dei flussi di materia e di energia lungo l'intero ciclo di vita del sistema in esame.
- **Valutazione di impatto ambientale**, nella quale i flussi di sostanze e di energia individuati durante l'ecoinventario vengono ordinati, classificati ed aggregati con opportuni pesi per la determinazione degli indicatori di impatto.
- **Interpretazione dei risultati**, realizzata sulla base delle assunzioni metodologiche adottate, per valutare la sensibilità e l'incertezza dei risultati, anche mediante opportune considerazioni ed analisi aggiuntive.





ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

2.3 Campo di applicazione dello studio

Nei seguenti paragrafi verrà descritto il campo di applicazione dello studio: la produzione di biogas, dalla lavorazione delle materie prime fino alla fase di utilizzo e fine vita.

2.3.1 Unità funzionale

L'unità funzionale è definita come "la prestazione quantificata di un sistema di prodotto da utilizzare come unità di riferimento in uno studio di valutazione del ciclo di vita"². Lo scopo dell'unità funzionale è quindi quello di "fornire un riferimento a cui legare i flussi in entrata e in uscita"³.

L'unità funzionale, per l'analisi in oggetto è definita come:
"kWh".

Il flusso di riferimento per l'analisi in oggetto, invece, è definito come:
"1 kWh prodotto dal cogeneratore alimentato dal biogas prodotto dalla digestione della FORSU".

² UNI EN ISO 14040

³ UNI EN ISO 14040



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

2.3.2 Confini del sistema ed assunzioni

I confini del sistema costituiscono l'interfaccia con l'ambiente e con gli altri sistemi di prodotto; essi definiscono anche quali processi vadano inclusi e quali esclusi dall'indagine.

Al capitolo 3, per tutte le unità di processo viene fornita una descrizione dettagliata. Le unità che rientrano nei confini del sistema indagato sono corredate da un'apposita tabella che descrive quantitativamente i flussi di input e di output, le fonti e la qualità dei dati utilizzati.

Non essendo presente una PCR di riferimento si è proceduto considerando ogni flusso elementare incluso nei confini del sistema. I criteri di cut-off possono riguardare esclusivamente quei flussi di materia inferiore all'1% per ogni referenza e che impattino sugli indicatori quantificati per meno dell'1%. Si è scelto comunque di andare a quantificare e caratterizzare ogni flusso ed attività censita.

I confini del sistema considerati sono "from cradle to grave", caratterizzando anche le fasi di uso dell'energia prodotta e il fine vita della biomassa algale.

2.4 Categorie di dati e requisiti di qualità

Un calcolo LCA richiede due diversi tipi di informazioni:

- **Dati relativi agli aspetti ambientali** del sistema considerato (tali materiali o flussi di energia che entrano nella produzione sistema). Questi dati provengono solitamente dalla società che esegue il calcolo LCA.
- **Dati relativi agli impatti del ciclo di vita** del materiale o flussi di energia che entrano nel sistema di produzione. Questi dati di solito provengono da database.

I dati sugli aspetti ambientali devono essere il più specifici possibile e devono essere rappresentativi del processo studiato.

I dati sul ciclo di vita dei materiali o degli input energetici sono classificati in tre categorie: dati specifici, dati generici selezionati e dati proxy, definiti come segue:

- **Dati specifici** (anche denominati "dati primari" o "dati specifici del sito") - dati raccolti dall'impianto di produzione reale, dove vengono eseguiti processi specifici del prodotto e dati provenienti da altre parti del ciclo di vita ricondotti al prodotto specifico sistema in studio, ad es. materiali o elettricità forniti da un fornitore contrattuale che è in grado di fornire dati



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

per il reale servizi prestati, trasporto che si svolge in base al consumo effettivo di carburante e alle emissioni correlate, ecc.,

- **Dati generici** (a volte indicati come "dati secondari"), suddivisi in:
 - **Dati generici selezionati**: dati provenienti da fonti di dati comunemente disponibili (ad esempio database commerciali e banche dati gratuite), che soddisfano le prescritte caratteristiche di qualità dei dati per precisione, completezza e,
 - **Dati proxy**: dati provenienti da fonti di dati comunemente disponibili (ad esempio database commerciali e database gratuiti) che non lo sonosoddisfare tutte le caratteristiche di qualità dei dati di "dati generici selezionati". Qualsiasi dato utilizzato dovrebbe preferibilmente rappresentare i valori medi per uno specifico anno di riferimento. Tuttavia, i dati raccolti per il presente studio hanno la forma di un valore medio di processo poliennale.

2.5 Regole di allocazione

Per le fasi di trasporto si è eseguita una allocazione in base alla massa dell'unità funzionale rispetto al carico totale trasportato. Nel caso specifico dello studio tutto il processo analizzato avviene nello stesso sito e dunque non sono presenti trasporti di alcun tipo.

Le scelte metodologiche per l'allocazione per il riutilizzo, il riciclo e il recupero sono state impostato secondo il classico principio "chi inquina paga" (PPP). Ciò significa che il generatore di rifiuti porterà il pieno impatto ambientale fino al punto nel ciclo di vita del prodotto in cui i rifiuti sono trasportati al cancello del sito di riutilizzo, recupero o riciclo.

2.6 Categorie di impatto

Le informazioni ottenute dall'Analisi dell'Inventario costituiscono la base di partenza per le valutazioni di tipo ambientale cui è dedicata la fase di Impact Assesment. Questa ha lo scopo di quantificare le modificazioni ambientali che si generano a seguito delle emissioni e del consumo di risorse provocati dall'attività produttiva. Si deve dunque far riferimento a modelli che individuano e caratterizzano la correlazione esistente fra certi tipi di emissione e altri tipi di impatto ambientale.

La categoria di impatto prese in considerazione nel presente studio sono le seguenti:



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

- Potenziale di riscaldamento globale (100 anni)
- Assottigliamento della fascia di ozono
- Acidificazione
- Eutrofizzazione
- Inquinamento fotochimico
- Impoverimento dei fattori abiotici
- Impoverimento dei fattori abiotici, combustibili fossili

Dopo aver individuato le categorie di impatto da prendere in considerazione, la **fase di classificazione** consiste nell'organizzare i dati dell'Inventario, distribuendoli nelle categorie di impatto.

Dopo aver completato la classificazione dei diversi impatti causati dal processo, i **metodi di caratterizzazione** permettono di determinare in modo omogeneo e quantitativo il contributo delle singole emissioni. Al paragrafo successivo è descritta la modalità di calcolo degli indicatori. In tabella sono identificate le **metodologie di calcolo**, integrate nel software Simpapro, utilizzate nello studio.

Indicatore	Metodo di calcolo
Potenziale di riscaldamento globale (100 anni) Assottigliamento della fascia di ozono Acidificazione Eutrofizzazione Inquinamento fotochimico Impoverimento dei fattori abiotici Impoverimento dei fattori abiotici, combustibili fossili	EPD (2013) V. 1.04

2.6.1 Potenziale di riscaldamento globale

Considerando la stretta relazione esistente tra l'incremento della concentrazione di gas detti ad effetto serra, in quanto capaci di trattenere sotto forma di calore la radiazione solare, e l'aumento di temperatura del pianeta, i cambiamenti climatici in atto sono stati messi in relazione con le emissioni umane.

Ogni giorno infatti le attività umane determinano l'emissione in atmosfera di "gas climalteranti", quali la CO₂ rilasciata dall'utilizzo di combustibili fossili, legno e derivati o CH₄ prodotto dalla decomposizione anaerobica della materia organica, dalle discariche e dagli allevamenti, ecc.. Il fenomeno coinvolge l'intero pianeta ed è dunque da considerarsi di scala globale.



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

I quantitativi di gas serra oggetto dell'analisi vengono normalmente espressi in kg di CO₂ -equivalenti, attraverso un'operazione di standardizzazione basata sui "potenziali di riscaldamento globale" (GWPs, Global Warming Potentials). Tali potenziali sono calcolati per ciascun gas serra tenendo conto della capacità di assorbimento delle radiazioni e del tempo di permanenza nell'atmosfera, rispetto alla CO₂. È consuetudine far riferimento a un "tempo orizzonte" di 100 anni (GWP100). I fattori di caratterizzazione dei principali gas serra secondo l'IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change)⁴, sono riportati in tabella.

Gas	Componente ambientale	Fattore di caratterizzazione
CO ₂	aria	1
CH ₄	aria	28
N ₂ O	aria	265
SF ₆	aria	23502

Dalla tabella si evince che una certa quantità di metano ha una capacità di riscaldare l'atmosfera di 28 volte superiore di una stessa quantità di CO₂, e si arriva fino a oltre 23000 volte per l'esafioruro di zolfo.

2.6.2 Danno alla fascia di ozono

La fascia di ozono che si estende fra i 25 e i 50 km al di sopra della superficie terrestre protegge la biosfera dalla radiazione ultravioletta, capace di danneggiare le molecole biologiche quali il DNA. Una serie di composti chimici, molti delle quali di sintesi umana, è capace di intromettersi nel ciclo chimico dell'ozono atmosferico, impedendone la rigenerazione.

L'indicatore di categoria è il CFC11; i fattori di caratterizzazione si intendono in grammi di CFC11 equivalente per grammo della relativa sostanza. In tabella si riportano i principali.

Gas	Componente ambientale	Fattore di caratterizzazione
CFC11 1	aria	1
CFC12 0,82	aria	0,82
CCl ₄ 1,20	aria	1,20
CH ₃ Cl 0,02	aria	0,02
CH ₃ Br	aria	0,64

2.6.3 Acidificazione

Questa categoria di impatto fa riferimento al fenomeno delle piogge acide, ovvero alla ricaduta dall'atmosfera di particelle, gas e precipitazioni acide. Le piogge

^{4 4} Fifth Assessment Report, GWP (AR5)



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

acide sono causate essenzialmente dagli ossidi di zolfo (SOx) e in parte minore dagli ossidi di azoto (NOx), presenti in atmosfera sia per cause naturali sia per effetto di attività umane, quali l'utilizzo di combustibili fossili, l'agricoltura, ecc. Tali gas entrando in contatto col vapore acqueo formano i relativi acidi (acido solforico e acido nitrico), con conseguente acidificazione delle precipitazioni, oppure possono ricadere come deposizione secca e formare acidi al suolo. In genere i composti solforati si depositano entro 2-4 giorni dall'emissione, ricadendo non lontano dalla sorgente di emissione. Gli ossidi di azoto tendono invece a restare più a lungo in atmosfera. L'azione degli acidi provoca l'acidificazione di laghi e corsi d'acqua, danneggia la vegetazione e i suoli forestali, nonché materiali di costruzione e vernici. Le emissioni potenzialmente acide sono caratterizzate in base alla loro tendenza a formare ioni H⁺ mediante gli Acidification Potential (AP) rispetto alla sostanza di riferimento (SO₂). In tabella si riportano le emissioni prese in considerazione per questa categoria di impatto e il fattore di caratterizzazione (AP) utilizzato.

Gas	Componente ambientale	Fattore di caratterizzazione
SO ₂	aria	1
NO _x	aria	0,7
HCl	aria	0,88
H ₂ S	aria	1,88
H ₂ SO ₄	aria	0,65
NH ₃	aria	1,88
HF	aria	1,6

2.6.4 Eutrofizzazione

Il rilascio di sostanze nutrienti nelle acque superficiali provoca una crescita smisurata delle alghe che, una volta giunte a fine vita, richiedono grandi quantità di ossigeno per essere decomposte con conseguente sottrazioni di ossigeno dall'ambiente stesso. L'indicatore di categoria è lo ione nitrato (NO₃⁻) e i fattori di caratterizzazione (tab..) si intendono in grammi di NO₃⁻ per grammo della relativa sostanza.

Gas	Componente ambientale	Fattore di caratterizzazione
NO ₃ ⁻	Acque	1
N ₂ O	Acque	2,82
NO _x	Acque	2,07
NH ₃	Acque	3,64
CN ⁻	Acque	2,38
Altri composti azotati	Acque	4,43

ECO-Management SRL

Sede legale: Via Emilia, 7 Monselice (PD)
Tel: +390490990550 Fax: +39 0490990580
P.IVA 03699350280 Cap.Soc. € 25.000,00



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

PO4---	Acque	10,45
--------	-------	-------

2.6.5 Smog fotochimico

Lo smog fotochimico è un particolare tipo di inquinamento dell'aria che si produce in giornate caratterizzate da condizioni meteo di stabilità e di forte insolazione, in presenza di abbondanti quantità di ossidi di azoto e di composti organici volatili. Gli ossidi di azoto (NOx) e i composti organici volatili (VOC) vanno incontro ad un complesso sistema di reazioni indotte dai raggi UV (reazioni fotochimiche), che portano alla formazione di ozono (O₃), perossiacetilnitro (PAN), perossibenzoil nitrato (PBN), aldeidi ed altre sostanze. Tali inquinanti secondari vengono indicati col nome collettivo di smog fotochimico e costituiscono la componente principale dello smog delle aree urbane e industriali. I precursori dello smog fotochimico quali i VOC derivano in gran parte dall'incompleta combustione di combustibili fossili e dall'evaporazione di solventi. I composti dello smog fotochimico risultano tossici per l'apparato respiratorio umano e sono in grado di degradare molti materiali per il forte potere ossidante. In tabella sono riportati i fattori di caratterizzazione dei alcuni dei precursori dello smog fotochimico.

Gas	Componente ambientale	Fattore di caratterizzazione
Etilene	aria	1
Metano	aria	0,007
Aldeidi	aria	0,5
Aromatici	aria	0,3
Monossido di carbonio	aria	0,03

2.6.6 Impoverimento dei fattori abiotici: elementi e combustibili fossili

Questi indicatori quantificano il contributo relativo di un sistema di prodotto all'esaurimento delle risorse minerali, considerando l'estrazione e i giacimenti delle stesse. I risultati dell'impoverimento degli elementi e dei combustibili fossili, entrambi afferenti ai fattori abiotici, di un Inventario di ciclo di vita sono forniti separatamente: i primi sono espressi in kg Sb eq e i secondi in MJ.



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

3 ANALISI DELL'INVENTARIO

Nei seguenti paragrafi sono descritte le fasi del ciclo di vita del processo analizzato.

Per tutte le unità di processo viene fornita una descrizione qualitativa. Le unità che rientrano nei confini del sistema indagato sono corredate da un'apposita tabella che descrive quantitativamente i flussi di input e di output, le fonti e la qualità dei dati utilizzati.

Il ciclo di vita dei prodotti è suddiviso in:

- Processi di Upstream: processi a monte del processo di digestione anaerobica
- Processi Core: processo di digestione anaerobica;
- Processi di Downstream: cogenerazione e assorbimento della CO₂ e trattamento del digestato liquido tramite il fotobioreattore.

Tutti i dati raccolti si riferiscono all'anno di riferimento in cui è stata svolta la sperimentazione (2020).

3.1 Processi di Upstream

I processi di upstream includono:

1. Approvvigionamento delle materie prime
2. Pretrattamento FORSU grezza

3.1.1 Approvvigionamento di materie prime

Questa fase non considera alcun materiale in quanto la FORSU grezza che arriva all'impianto di trattamento non possiede un carico ambientale, poiché essendo un rifiuto tutto l'impatto ad esso associato viene calcolato all'interno del sistema precedente da cui è stato originato.



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

3.1.2 Pretrattamento FORSU

Il partner del progetto *Berica Impianti Energia srl* effettua il trattamento della FORSU grezza tramite la separazione degli inerti e la macinazione per la produzione di FORSU adatta ad essere inserita nel biodigestore anaerobico.

Nella tabella sottostanti sono forniti i dati relativi agli aspetti ambientali ed i dati raccolti in relazione al processo di pretrattamento della FORSU.

DATI RELATIVI AGLI ASPETTI AMBIENTALI			
Vettori energetici		Quantità	Qualità del dato
Acqua	di	40 kg	Secondario da stima
processo			

DATI RELATIVI AL CICLO DI VITA		
Vettori energetici	Dato	Qualità del dato
Acqua di processo	Water, completely softened, from decarbonised water, at user {GLO} market for APOS, S	Generico selezionato



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

3.2 PROCESSI CORE

Il processo core riguarda il processo di digestione della FORSU.

3.2.1 Digestione della FORSU

Per la fase di digestione della FORSU sono stati caratterizzati gli input energetici e le emissioni in aria. Per quanto riguarda il valore di consumo dell'energia elettrica bisogna precisare che è stato considerato il totale dei consumi del biodigestore e del pretrattamento della Forsu. Non essendo possibile suddividere i consumi tra i due processi si è deciso di allocarli al digestore, considerando che l'energia elettrica viene dal cogeneratore alimentato dal biogas prodotto.

DATI RELATIVI AGLI ASPETTI AMBIENTALI	
Vettori energetici	Consumi per la digestione
Energia elettrica	40 kWh

DATI RELATIVI AGLI IMPATTI NEL CICLO DI VITA		
Processo	Dato	Qualità del dato
Energia elettrica (Italia)	ECOINVENT: Electricity, low voltage {CH} biogas, burned in micro gas turbine 100kWe APOS, U_COGENERATORE FORSU	Generico selezionato

Le emissioni in aria derivanti dall'utilizzo del vettore energetico "elettricità" sono già considerate all'interno del dato ecoinvent selezionato mentre, per quanto riguarda le emissioni derivanti dalla digestione della FORSU, sono state caratterizzate le emissioni a seguito di analisi.

Il digestato liquido prodotto dal digestore entra nella fase successiva "fotobioreattore", mentre il digestato solido viene mandato a compostaggio, dunque essendo considerato come riciclo esce dal nostro sistema, pertanto non vengono considerati i carichi ambientali ad esso associati.



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

3.3 PROCESSI DI DOWNSTREAM

I processi di downstream includono:

1. Cogeneratore/Fase di uso
2. Fotobioreattore

3.3.1 Cogeneratore/Fase di uso

In questa fase è stato caratterizzato il cogeneratore (ovvero la fase di uso di questo progetto) partendo dai dati diecoinvent e aggiungendo negli input il biogas prodotto dal digestore, inserendo quindi la quantità di MJ necessari per produrre 1 kWh e il potere calorifico del biogas prodotto dalla FORSU.

DATI RELATIVI AGLI IMPATTI NEL CICLO DI VITA		
Processo	Dato	Qualità del dato
Cogeneratore	Electricity, low voltage {CH} biogas, burned in micro gas turbine 100kWe APOS, U_COGENERATORE FORSU_CON FOTOBIOREATTORE_CON DATI SPERIMENTALI	Dati primari + generico selezionato

3.3.2 Fotobioreattore

La fase del fotobioreattore è caratterizzata dall'ingresso di acqua di scarto e digestato provenienti dal digestore anaerobico. Il loro impatto non viene però considerato in quanto vengono visti come sottoprodotti del digestore, dunque il loro ciclo di vita parte dal fotobioreattore: escono quindi dal sistema considerato come se fossero dei rifiuti.

Per la produzione di 31,5 g/die di biomassa microalgale il fotobioreattore utilizza energia elettrica prodotta dal cogeneratore con il seguente consumo:

DATI RELATIVI AGLI ASPETTI AMBIENTALI		
Vettori energetici	Quantità	Qualità del dato
Energia elettrica	500 watt	Primario da dati interni

DATI RELATIVI AL CICLO DI VITA		
Vettori energetici	Dato	Qualità del dato

ECO-Management SRL

Sede legale: Via Emilia, 7 Monselice (PD)
Tel: +390490990550 Fax: +39 0490990580
P.IVA 03699350280 Cap.Soc. € 25.000,00



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

Energia elettrica (Italia)	ECOINVENT: Electricity, low voltage {CH} biogas, burned in micro gas turbine 100kWe APOS, U_COGENERATORE FORSU_CON FOTOBIOREATTORE_DATI SPERIMENTALI	Generico selezionato
----------------------------	---	----------------------

Le emissioni in aria derivanti dall'utilizzo del vettore energetico "elettricità" sono già considerate all'interno del dato ecoinvent selezionato mentre, per quanto riguarda le emissioni derivanti dalla produzione di biomassa microalgale, sono state caratterizzate le emissioni a seguito di analisi, oltre alla CO₂ sequestrata.



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

4 VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DEL CICLO DI VITA

Al capitolo 2, sono stati descritti gli Indicatori di impatto ed i relativi fattori di caratterizzazione.

I risultati della valutazione di impatto ambientale vengono presentati mediante il valore totale dell'indicatore, dettagliati anche con riferimento ai processi più significativi del ciclo di vita.

Nei paragrafi successivi sono riportate le seguenti analisi, per ognuna delle due referenze:

1. Quantificazione degli indicatori con riferimento all'unità funzionale;
2. "Process Contribution Analysis", che consiste nella quantificazione del contributo all'impatto totale da parte delle singole unità di processo in cui il sistema è stato suddiviso.
3. "Compound Contribution Analysis", che consiste nella quantificazione del contributo che i diversi inquinanti danno all'impatto totale.

4.1 Quantificazione degli indicatori

Nelle tabelle successive sono riportati i risultati degli indicatori:

CATEGORIA D'IMPATTO	UNITA' DI MISURA	COGENERATORE
ACIDIFICATION	kg SO ₂ eq	0,000391
EUTROPHICATION	kg PO ₄ --- eq	0,115
GLOBAL WARMING (GWP100a)	kg CO ₂ eq	0,169
PHOTOCHEMICAL OXIDATION	kg C ₂ H ₄ eq	4,96E-5
OZONE LAYER DEPLETION (ODP)	kg CFC-11 eq	2,01E-11
ABIOTIC DEPLETION	kg Sb eq	6,92E-11
ABIOTIC DEPLETION, FOSSIL FUELS	MJ	0,00169



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

4.2 Process Contribution

Al fine di poter correttamente interpretare i risultati ottenuti nel capitolo 4.1, è necessario analizzare il contributo dei singoli processi alle categorie di impatto.

I grafici successivi evidenziano i contributi dei singoli processi alle categorie di impatto

4.2.1 Acidificazione

Impact category	U.M.	Cogeneratore
ACIDIFICATION	kg SO2 eq	0,000391

Il grafico successivo mostra i principali processi che contribuiscono al potenziale di acidificazione dell'intero processo.



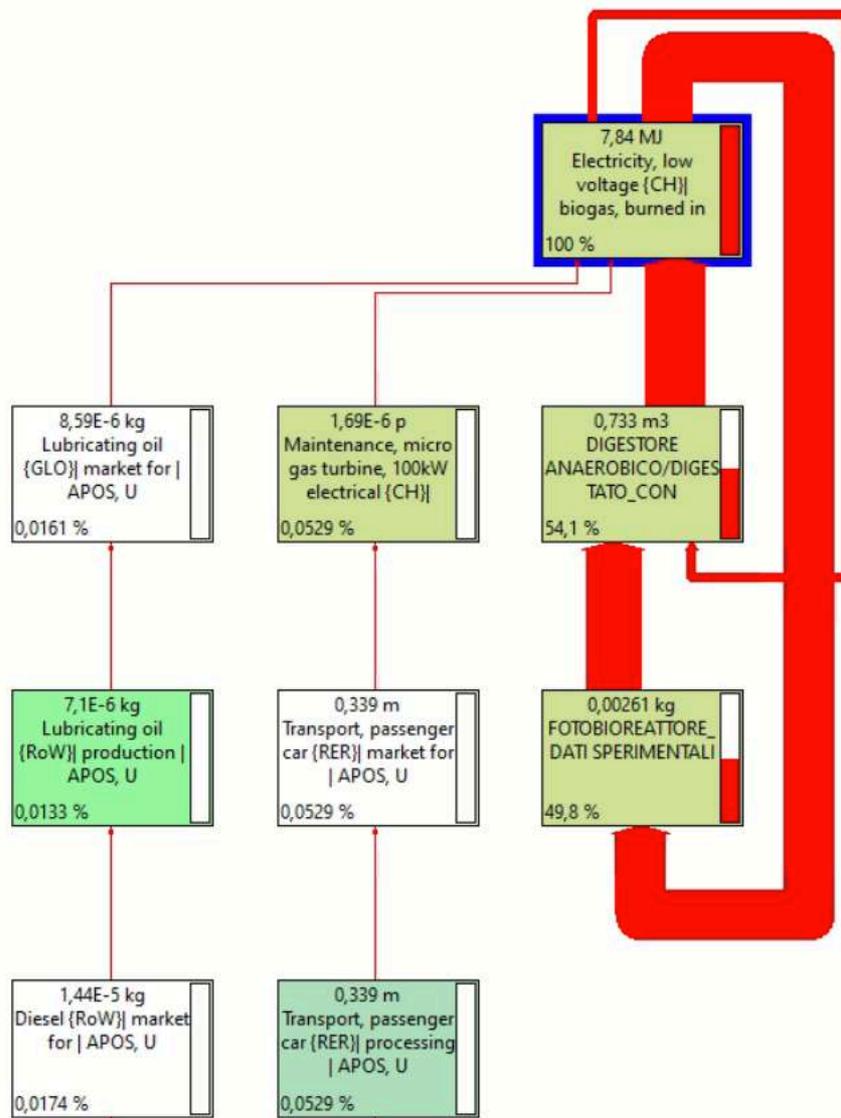
ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente



I principali contributi sono associati a:

- Fotobioreattore (49,8%)
- Digestore anaerobico (54,1%)
- Cogeneratore (100%).

ECO-Management SRL

Sede legale: Via Emilia, 7 Monselice (PD)
Tel: +390490990550 Fax: +39 0490990580
P.IVA 03699350280 Cap.Soc. € 25.000,00



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



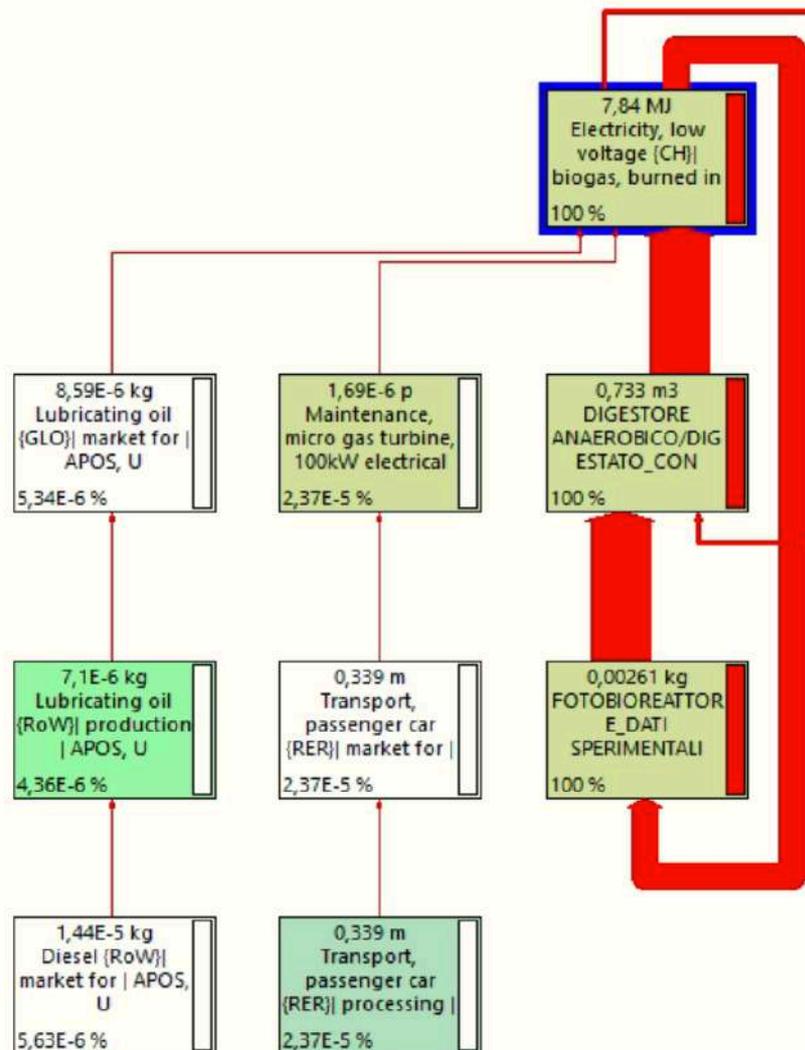
Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

4.2.2 Eutrofizzazione

Impact category	U.M.	Cogeneratore
EUTROPHICATION	kg PO4--- eq	0,115

Il grafico successivo mostra i principali processi che contribuiscono al potenziale di eutrofizzazione.



I principali contributi sono associati a:

ECO-Management SRL

Sede legale: Via Emilia, 7 Monselice (PD)
Tel: +390490990550 Fax: +39 0490990580
P.IVA 03699350280 Cap.Soc. € 25.000,00



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

- Fotobioreattore (100%)
- Digestore anaerobico (100%)
- Cogeneratore (100%).



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



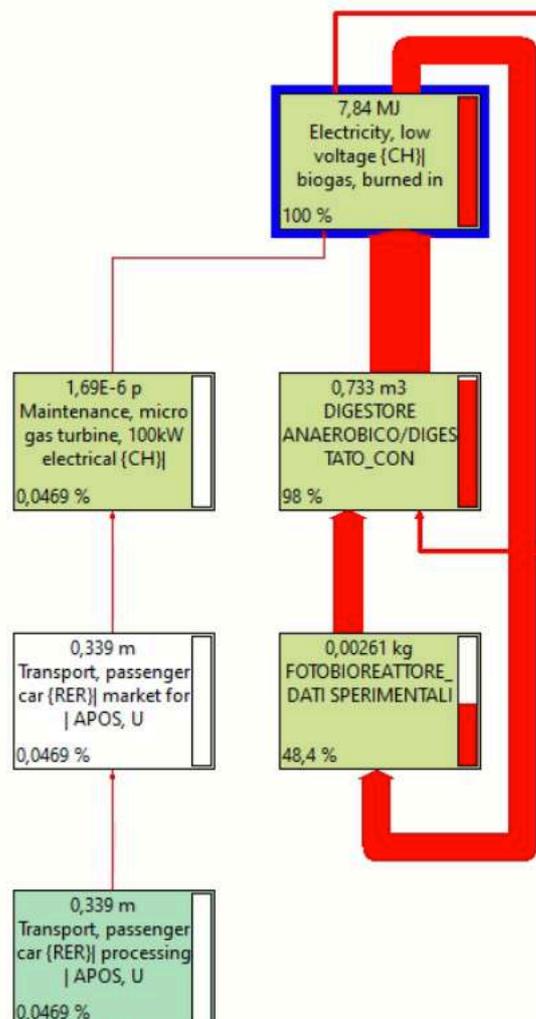
Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

4.2.3 Global warming

Impact category	U.M.	Cogeneratore
GLOBAL WARMING (GWP100a)	kg CO ₂ eq	0,169

Il grafico successivo mostra i principali processi che contribuiscono al riscaldamento globale.





ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

I principali contributi sono associati a:

- Fotobioreattore (48,4%)
- Digestore anaerobico (98%)
- Cogeneratore (100%).



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



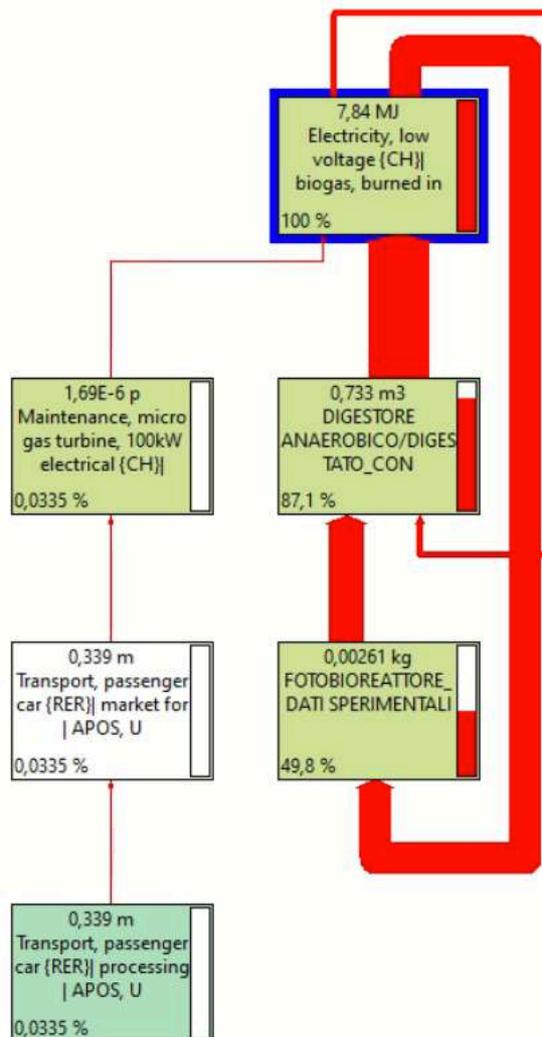
Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

4.2.4 Smog fotochimico

Impact category	U.M.	Cogeneratore
PHOTOCHEMICAL OXIDATION	kg C2H4 eq	4,96E-5

Il grafico successivo mostra i principali processi che contribuiscono allo smog fotochimico.





ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

I principali contributi sono associati a:

- Fotobioreattore (49,8%)
- Digestore anaerobico (87,1%)
- Cogeneratore (100%).



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



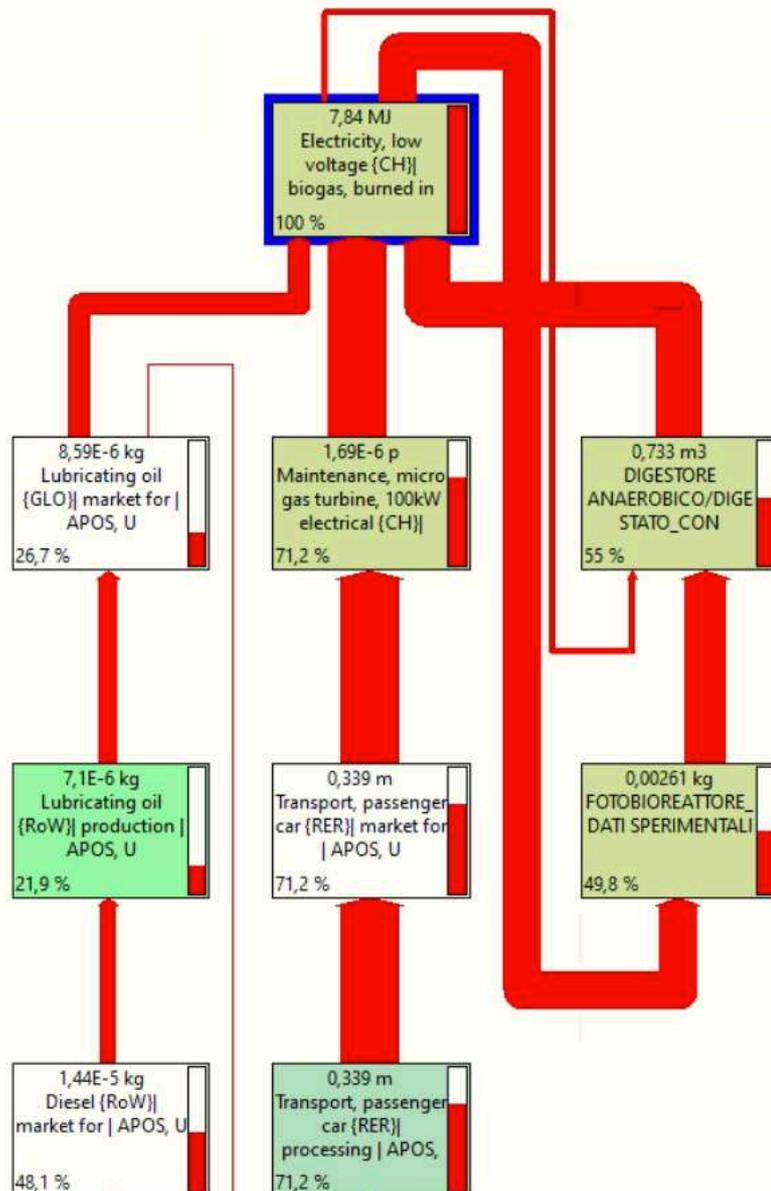
Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

4.2.5 Distruzione della fascia di ozono

Impact category	U.M.	Cogeneratore
OZONE LAYER DEPLETION (ODP)	kg CFC-11 eq	2,01E-11

Il grafico successivo mostra i principali processi che contribuiscono alla distruzione della fascia di ozono.



I principali contributi sono associati a:

ECO-Management SRL

Sede legale: Via Emilia, 7 Monselice (PD)
Tel: +390490990550 Fax: +39 0490990580
P.IVA 03699350280 Cap.Soc. € 25.000,00



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

- Fotobioreattore (49,8%)
- Digestore anaerobico (55%)
- Cogeneratore (100%).



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



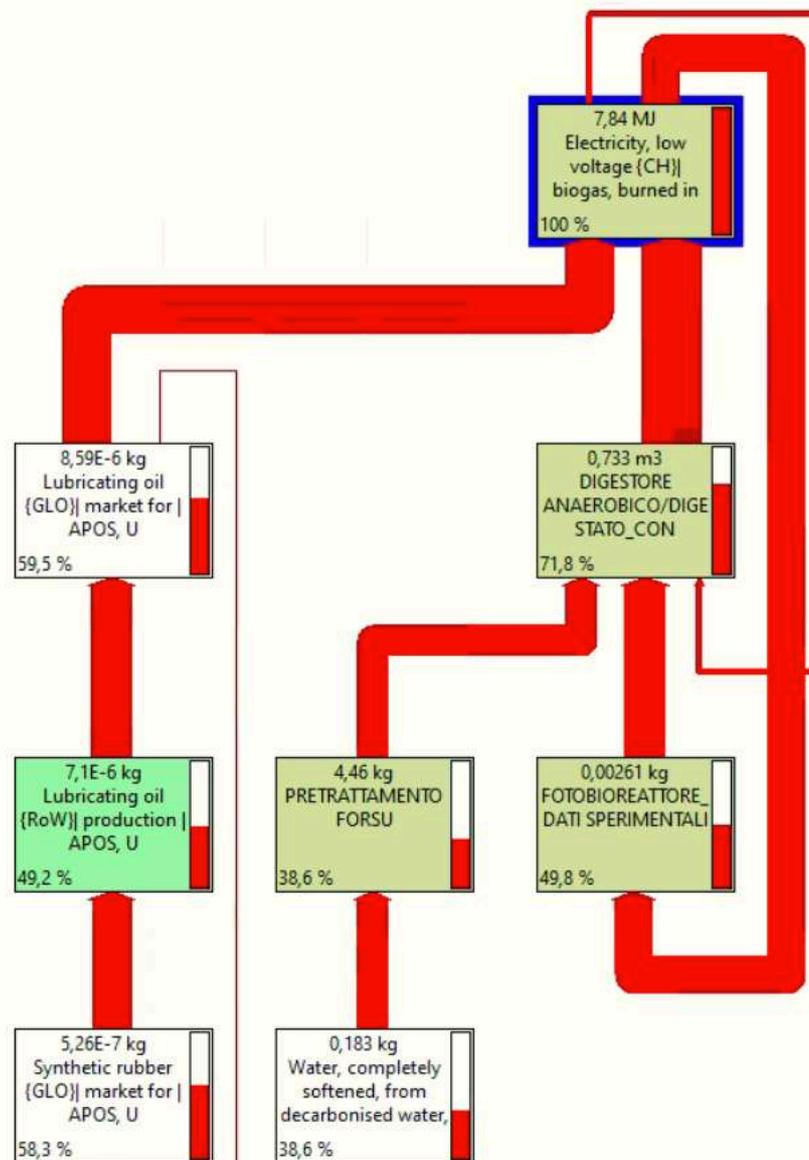
Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

4.2.6 Impoverimento dei fattori abiotici: elementi

Impact category	U.M.	Cogeneratore
ABIOTIC DEPLETION	kg Sb eq	6,92E-11

Il grafico successivo mostra i principali processi che contribuiscono all'impoverimento abiotico (elementi).



I principali contributi sono associati a:

ECO-Management SRL

Sede legale: Via Emilia, 7 Monselice (PD)
Tel: +390490990550 Fax: +39 0490990580
P.IVA 03699350280 Cap.Soc. € 25.000,00



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

- Fotobioreattore (49,8%)
- Digestore anaerobico (71,8%)
- Cogeneratore (100%)
- Pretrattamento Forsu (38,6%)



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



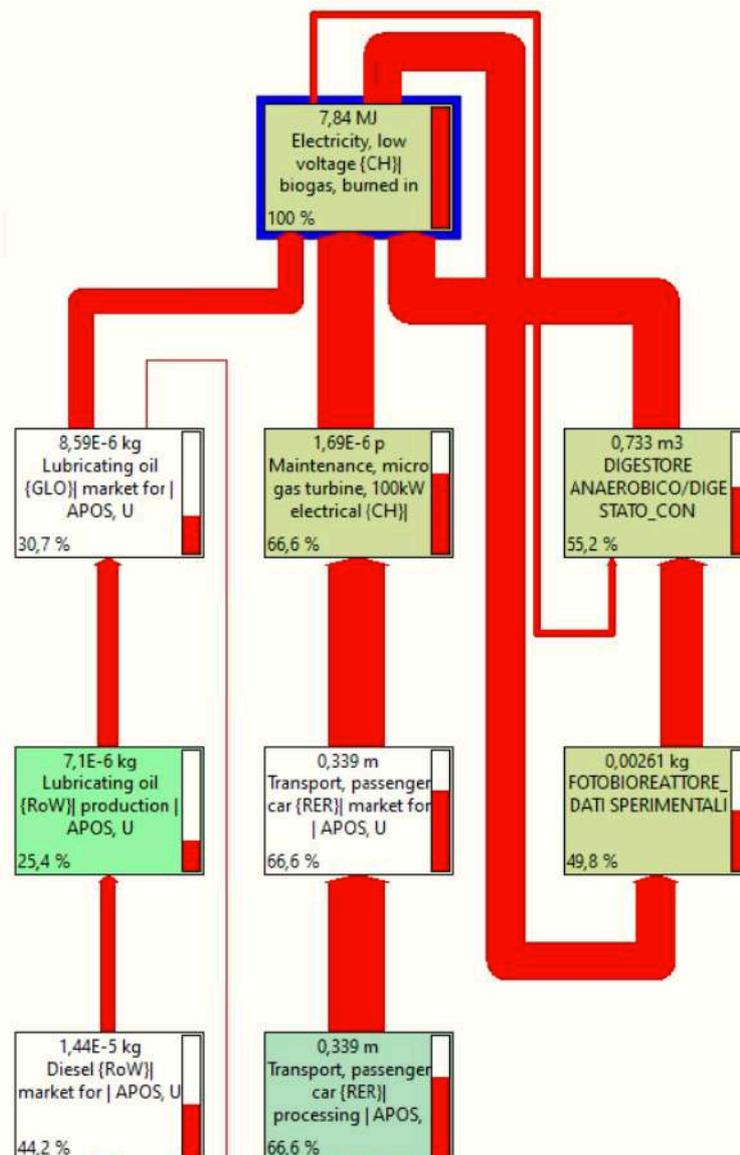
Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

4.2.7 Impoverimento dei fattori abiotici: combustibili fossili

Impact category	U.M.	Cogeneratore
ABIOTIC DEPLETION, FOSSIL FUELS	MJ	0,00169

Il grafico successivo mostra i principali processi che contribuiscono all'impoverimento abiotico (combustibili fossili).



I principali contributi sono associati a:

ECO-Management SRL

Sede legale: Via Emilia, 7 Monselice (PD)
Tel: +390490990550 Fax: +39 0490990580
P.IVA 03699350280 Cap.Soc. € 25.000,00



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

- Fotobioreattore (49,8%)
- Digestore anaerobico (55,2%)
- Cogeneratore (100%)



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

4.3 Compound Contribution

Per l'analisi del "Compound Contribution" si riporta a titolo esemplificativo il caso dei gas serra che contribuiscono al potenziale di riscaldamento globale.

Substance	Unit	Total	Cogeneratore
Total of all compartments		%	100,00
Remaining substances		%	0,0679
Carbon dioxide	Air	%	-2,78
Dinitrogen monoxide	Air	%	2,67
Methane, biogenic	Air	98,5	5,28
Methane, biogenic – high POP	Air	%	1,52



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

5 INTERPRETAZIONE DEL CICLO DI VITA

5.1 Analisi di sensitività

Al Capitolo precedente sono state individuate le fasi e le attività del ciclo di vita che maggiormente contribuiscono agli indicatori di impatto del processo preso in esame, considerando che l'acqua ricca di biomassa algale in uscita dal fotobioreattore ritorni in parte in circolo nel digestore e una parte venga utilizzata come concime nei campi.

Sono state prese in esame altri due scenari:

1. Impianto di digestione + cogeneratore, senza la presenza del fotobioreattore
2. Impianto di digestione + cogeneratore + fotobioreattore considerando che l'acqua ricca di biomassa algale in uscita dal fotobioreattore ritorni in parte in circolo nel digestore e una parte finisca al trattamento acque come rifiuto.

Si analizza qui l'impatto di questi due ulteriori scenari rispetto allo scenario caso studio.

Impact category	U.M.	Valore per 1 kWh prodotto nel caso studio	Valore per 1 kWh prodotto nell'ipotesi 1	Valore per 1 kWh prodotto nell'ipotesi 2
Acidification	kg SO ₂ eq	0,000391	0,000513	0,000707
Eutrophication	kg PO ₄ --- eq	0,115	0,000155	0,000192
Global warming (GWP100a)	kg CO ₂ eq	0,169	0,221	0,303
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	4,96E-5	4,04E-5	6,51E-5
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	2,01E-11	7,54E-10	7,62E-10
Abiotic depletion	kg Sb eq	6,92E-11	01,74E-9	1,77E-9
Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	0,00169	0,369	0,369



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

5.2 Valutazione della qualità dei dati

L'attendibilità dei risultati di uno studio LCA è direttamente proporzionale alla qualità dei dati impiegati, in altre parole alla percentuale di dati specifici e primari disponibili.

Al paragrafo 2 è descritta la suddivisione fra dati primari, generici selezionati e proxy data.

I processi tratti da database utilizzati nel presente studio derivano da dati generici selezionati, in quanto riferiti a processi analoghi e rappresentativi dal punto di vista tecnologico, spaziale e temporale.

Non sono stati utilizzati proxy data nell'analisi dell'inventario.



6 CONCLUSIONI

La Rete Innovativa Regionale (RIR) "Veneto Green Cluster" ha commissionato questo studio, rientrante nel progetto SARR AZ. 3.1 applicata all'AZ. 2.3, al fine di calcolare e valutare la performance ambientale della produzione di biogas, da utilizzare in un cogeneratore, tramite la digestione di FORSU in un digestore anaerobico, e associato ad un fotobioreattore per l'assorbimento della CO₂ prodotta e per lo smaltimento del digestato liquido grazie alle microalghe.

Le applicazioni previste sono:

- Applicazione interna: la RIR intende utilizzare i risultati dello studio per informazione e formazione dei portatori di interesse interni che aderiscono al progetto. Ove possibile, i risultati saranno utilizzati per intraprendere azioni volte al miglioramento ambientale del prodotto.
- Applicazione esterna: la RIR intende comunicare all'esterno i risultati dello studio a portatori di interesse.

Allo scopo di valutare quantitativamente la performance ambientale del processo considerato tramite metodologia LCA secondo ISO 14040, sono stati analizzati i carichi ambientali associati alle seguenti **fasi del ciclo di vita dei prodotti**:

- Processi di Upstream (approvvigionamento delle materie prime e pretrattamento FORSU)
- Processi Core (produzione del biogas)
- Processi di Downstream (cogeneratore e fotobioreattore)

La **qualità dei dati** utilizzati per le valutazioni di impatto può avere un peso determinante nell'esito dei calcoli. In particolare l'utilizzo di proxy data può portare ad un errore nella stima delle emissioni, rispetto ai dati specifici o dati generici selezionati. L'analisi al capitolo 5.2 ha evidenziato che la qualità dei dati di input utilizzati nello studio può essere considerata elevata per tutti i prodotti analizzati.

L'**analisi dei contributi** al capitolo 4.2 ha mostrato che i processi maggiormente significativi nel sistema sono, per tutti gli indicatori di impatto, il digestore, il fotobioreattore e ovviamente il cogeneratore, in quanto essendo un processo in loop si carica della somma degli impatti precedenti. Per l'indicatore di impatto ABIOTIC DEPLETION è presente anche il processo di trattamento della FORSU.

Lo studio è stato effettuato utilizzando i dati sperimentali ricavati dal progetto pilota. Per questo motivo lo studio non è utilizzabile per effettuare al momento



ECO-Management SRL

Sito internet: www.eco-management.it
e-mail: laboratorio@eco-management.it
Azienda certificata ISO 9001:2015



Studio LCA
Progetto SARR AZ. 3.1
applicata all'AZ. 2.3
Rev. 00

Divisione: Ambiente

uno **studio comparativo di LCA** in quanto, per poterlo fare è necessario, avere una equivalenza dei sistemi comparati sia a livello di scala che di processo. Per la comunicazione degli esiti dello studio, una volta revisionato da Ente terzo accreditato, si raccomanda di porre particolare attenzione ad evitare rischi di erronea comunicazione o di comunicazione di informazioni che non rispecchino il campo di applicazione, il contenuto e le limitazioni adottate nel presente report. Si raccomanda in particolar modo di far riferimento alle linee guida sulla comunicazione ambientale fornite dalla norma ISO 14021.