

XXII Congresso Nazionale CIRIAF

Sviluppo Sostenibile, Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana

Life Cycle Assessment della filiera di trattamento di biomasse residuali: un caso studio

Alberto Brunetti¹, Maurizio Cellura¹, Francesco Guarino¹, Sonia Longo¹, Simona Rosaria La Mantia¹, Roberta Rincione¹

¹ Università degli Studi di Palermo – Dipartimento di Ingegneria, Viale delle Scienze Ed.9, 90128 Palermo

* Autore di riferimento. E-Mail: sonia.longo@unipa.it

Abstract: Il presente lavoro descrive i risultati dell'analisi di Life Cycle Assessment, sviluppata in accordo agli standard della serie ISO 14040, di un processo di trattamento di biomasse residuali di origine forestale da impiegare per la successiva valorizzazione energetica. L'analisi è riferita ad 1 kg di cippato, selezionato come unità funzionale. I confini del sistema hanno incluso le fasi di raccolta della biomassa residuale (strascico indiretto e diretto), cippatura della biomassa, raccolta e trasporto del cippato all'impianto di valorizzazione energetica. I risultati dello studio mostrano che la filiera in esame, con riferimento all'unità funzionale, causa un impatto di 0,027 kg CO_{2eq} e determina il consumo di 0,406 MJ di energia primaria. Un'analisi di dominanza ha consentito di identificare le fasi più impattanti della filiera produttiva. In dettaglio, le fasi che maggiormente contribuiscono agli impatti associati alla filiera di approvvigionamento sono lo strascico indiretto e la cippatura, responsabili, ciascuna, di circa il 42% delle emissioni di gas climalteranti e del consumo di energia primaria. Al fine di valutare la variazione degli impatti connessa alla distanza tra il luogo di produzione del cippato e quello di utilizzo è stata effettuata un'analisi di sensibilità, che ha evidenziato il ruolo della filiera corta nell'impiego di biomasse ai fini energetici caratterizzate da ridotti impatti energetico-ambientali. La ricerca è stata sviluppata nell'ambito del PRIN 2017: "BIOMasses Circular Holistic Economy Approach to Energy equipments (BIO-CHEAPER)" che ha tra gli obiettivi quello di valutare gli impatti energetico-ambientali connessi alla valorizzazione energetica di diverse tipologie di biomasse residuali.

Keywords: Life Cycle Assessment; biomassa residuale; cippato; energia primaria; gas climalteranti.

1. Introduzione

La possibilità di fornire energia pulita, economica e sicura e il raggiungimento di un'economia circolare a basse emissioni di carbonio sono aspetti fondamentali per il raggiungimento di due obiettivi che l'Europa intende raggiungere entro il 2050: emissioni nette zero di gas serra e dissociazione della crescita economica dall'uso delle risorse e dalla produzione di rifiuti [1].

Nel settore energetico, le risorse rinnovabili sono state riconosciute come una delle soluzioni più efficienti ed efficaci ai fini del raggiungimento di suddetti obiettivi [2].

Tra le risorse energetiche rinnovabili disponibili, la bioenergia può svolgere un ruolo fondamentale, in quanto può essere una soluzione affidabile sia per sostituire le fonti fossili nella gestione della domanda di energia sia per creare un'economia circolare (in particolare quando la biomassa impiegata ai fini energetici è di tipo residuale), permettendo dunque di disaccoppiare la produzione di energia dalle risorse primarie [3].

Al fine di valutare la sostenibilità energetico-ambientale della risorsa biomassa a fini energetici è importante effettuare studi di Life Cycle Assessment che consentano di identificare gli impatti incorporati nella supply chain di trasformazione della biomassa da rifiuto a risorsa energetica.

In questo contesto l'obiettivo dello studio è la valutazione degli impatti energetico-ambientali connessi alla produzione di cippato da biomasse residuali di origine forestale da impiegare per la successiva valorizzazione energetica.

Lo studio è sviluppato nell'ambito del progetto PRIN BIO-CHEAPER (BIOmasses Circular Holistic Economy Approach to Energy equipments), che ha tra gli obiettivi quello di valutare gli impatti energetico-ambientali connessi alla valorizzazione energetica di diverse tipologie di biomasse residuali.

2. LCA della filiera di trattamento di biomasse residuali

2.1 Obiettivo e campo di applicazione dello studio

Lo studio analizza la filiera di trattamento di biomassa residuale di origine forestale da impiegare per la successiva valorizzazione energetica e si prefigge di analizzare, secondo l'approccio di ciclo di vita, gli impatti energetico-ambientali connessi alla produzione di cippato dalle suddette biomasse.

Il cippato è ottenuto da un processo di trattamento dei residui forestali, denominato cippatura, mediante il quale i residui sono ridotti in scaglie generando un materiale omogeneo, che presenta una densità maggiore rispetto al residuo tal quale consentendo di semplificarne trasporto, movimentazione e di aumentare il carico utile del mezzo di trasporto.

La funzione del sistema di prodotto analizzato è la produzione di cippato, pertanto l'unità funzionale scelta è 1 kg di cippato.

I confini del sistema sono scelti con un approccio "from cradle to gate" e includono l'analisi delle fasi di raccolta della biomassa residuale (strascico indiretto e diretto), cippatura della biomassa, raccolta e trasporto del cippato all'impianto di valorizzazione energetica.

Nell'analisi sono stati inclusi tutti i processi di approvvigionamento degli input impiegati nelle diverse fasi della filiera produttiva (ad esempio, il gasolio per l'alimentazione della trattoria usata per

la raccolta). Il ciclo di vita dei macchinari utilizzati nelle varie unità di processo non è stato incluso nello studio poiché, considerando una vita utile dei macchinari superiore a 10 anni, il loro impatto sulla singola unità funzionale può considerarsi trascurabile. Inoltre, potendo assimilare la biomassa residuale a un rifiuto, si è applicato il principio “zero burden”.

Le categorie di impatto selezionate per la valutazione delle prestazioni energetico – ambientali sono: consumo di energia primaria e potenziale di riscaldamento globale (GWP).

La stima del consumo di energia primaria è stata effettuata impiegando il metodo Cumulative Energy Demand (CED), che permette di valutare il consumo di risorse energetiche del sistema di prodotto lungo l'intero ciclo di vita considerando sia gli usi diretti di energia che quelli indiretti e suddividendo l'energia primaria in rinnovabile e non rinnovabile [4].

La categoria di impatto GWP, che considera la forzante radiativa lungo un orizzonte temporale di 100 anni, è stata stimata con il metodo ILCD 2011 Midpoint [5] [6], [7].

I dati secondari sono stati modellizzati attraverso l'impiego del database Ecoinvent [8].

2.2 *Analisi di inventario*

L'analisi di inventario ha previsto una raccolta ed elaborazione dei dati per ogni unità di processo coinvolta nella filiera di produzione del cippato.

2.2.1 Raccolta della biomassa

Le biomasse raccolte appartengono alla tipologia residuale di origine forestale costituita da necromassa, biomassa legnosa non vivente contenuta nella lettiera, sia essa in piedi, a terra o nel suolo, prodotta da eventi naturali o da passate utilizzazioni forestali.

La biomassa residuale di origine forestale viene raccolta in bosco mediante trattore e verricello (macchina impiegata nei cantieri forestali per la movimentazione di masse vegetali poste in posizioni non raggiungibili da mezzi semoventi).

Le modalità di concentramento e di esbosco sono:

- Strascico indiretto: il trattore rimane ferma e il concentramento si effettua per mezzo del verricello;
- Strascico diretto: condizione operativa in cui il carico si muove assieme al mezzo di traino (trattore e verricello).

Con riferimento allo strascico indiretto della biomassa residuale (uso del trattore munito di verricello) (Tabella 1), è stata calcolata una produttività di 1,35 t/h per l'esbosco munito di verricello forestale [9] e misurato un consumo medio di 4,6 l/h di gasolio [10]. Per potere valutare, oltre che della fase di strascico indiretto del residuo forestale, anche la movimentazione del legname verso l'imposto (strascico diretto), ossia l'esbosco vero e proprio, si è assunto che la distanza media di esbosco sia pari a 1.000 m [11].

Tabella 1. Dati sull'esbosco con trattore e verricello

Dati	Valore
Produttività media di esbosco con verricello [ton/h]	1,35
Consumo medio di gasolio [l/h]	4,6
Carico medio [ton]	0,6
Distanza media bosco-imposto [m]	1.000

Con riferimento ai dati secondari, il ciclo di vita del gasolio impiegato nel processo (potere calorifico inferiore di 44,4 MJ/kg), incluse le emissioni generate dal processo di raccolta con trattore e verricello, sono state modellizzate utilizzando il dataset "Diesel, burned in building machine processing". Lo strascico diretto della biomassa residuale dal luogo di raccolta all'imposto è stato modellizzato utilizzando il dataset "Transport, tractor and trailer, agricultural processing".

2.2.2 Cippatura

Il processo di cippatura è effettuato con una cippatrice di tipo semi-industriale, che ha un consumo medio di combustibile (gasolio) pari a 3,632 l/ton [12]. Il gasolio è stato modellizzato utilizzando il dataset "Diesel, burned in building machine {GLO} processing".

2.2.3 Trasporto all'impianto

Il trasporto del cippato all'impianto può avvenire mediante l'utilizzo di un trattore dotato di rimorchio quando le distanze siano inferiori a 10 km o mediante l'utilizzo di un autocarro quando le distanze siano maggiori. La produttività del trasporto dipende da tre variabili chiave [13]: la distanza percorsa, la forma in cui la biomassa viene trasportata (tronchetti, ramaglia, cippato fresco) e il mezzo di trasporto impiegato.

Per modellizzare la fase di trasporto all'impianto di valorizzazione energetica della biomassa e per confrontare mezzi di trasporto impiegabili e potenziali distanze di approvvigionamento, sono stati analizzati gli scenari riportati in Tabella 2.

Tabella 2. Mezzi e distanze di trasporto del cippato alla centrale a biomassa

Mezzo di trasporto	Distanza imposto - centrale [km]	[ton*km]
Trattore con rimorchio	10	0,008
Autocarro	50	0,039
Autocarro	100	0,077

Gli impatti generati dal processo di trasporto sono stati modellizzati utilizzando il dataset "Transport, tractor and trailer, agricultural {RoW} processing". Per valutare il trasporto con autocarro è stato considerato il dataset "Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4 {RER} transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4".

2.3 Analisi degli impatti e interpretazione dei risultati

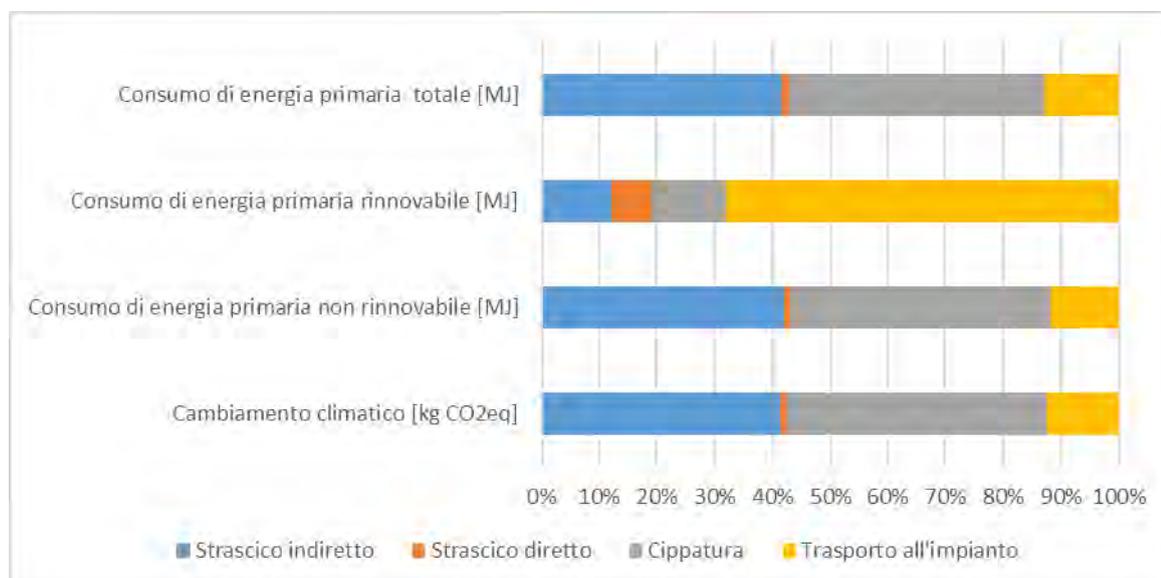
Nell'analisi degli impatti è stato definito un caso base, riferimento per condurre le analisi di sensibilità. Nello scenario base la fase di trasporto avviene con trattore e rimorchio su una distanza di 10 km. I risultati presentati in questo paragrafo riguardano gli impatti totali associati alla filiera di approvvigionamento (dalla raccolta della biomassa al trasporto del cippato all'impianto) (Tabella 3) con riferimento allo scenario base.

Tabella 3. Impatti totali dell'intero sistema connessi alla produzione di 1 kg di cippato

Indice	UM	Strascico indiretto	Strascico diretto	Cippatura	Trasporto all'impianto	Totale
Cambiamento climatico	kgCO _{2eq}	1,10E-02	3,30E-04	1,20E-02	3,30E-03	2,66E-02
Consumo di energia primaria, non rinnovabile	MJ	1,67E-01	4,70E-03	1,79E-01	4,70E-02	3,98E-01
Consumo di energia primaria rinnovabile	MJ	8,50E-04	4,79E-04	9,10E-04	4,79E-03	7,00E-03
Consumo di energia primaria totale	MJ	1,68E-01	5,20E-03	1,79E-01	5,20E-02	4,06E-01

Un'analisi di dominanza (Figura 1) ha permesso di identificare che le fasi che maggiormente contribuiscono agli impatti associati alla filiera di approvvigionamento sono lo strascico indiretto e la cippatura. Entrambi sono responsabili di circa il 42% delle emissioni di gas climalteranti e del consumo di energia primaria.

Figura 1. Analisi di dominanza delle fasi della filiera di approvvigionamento



L'analisi di sensibilità condotta sui risultati relativi alla filiera di approvvigionamento ha incluso i seguenti scenari:

- Scenario base: la fase di trasporto avviene con trattore e rimorchio su una distanza di 10 km;
- Scenario 2: la variazione rispetto allo scenario base consiste nell'utilizzo in fase di trasporto di un autocarro su una distanza di 50 km;
- Scenario 3: la variazione rispetto allo scenario base consiste nell'utilizzo in fase di trasporto di un autocarro su una distanza di 100 km.

Di seguito sono presentati i risultati relativi all'analisi di sensibilità condotta sugli impatti associati alla filiera di approvvigionamento al variare del mezzo e della distanza percorsa (Tabella 4).

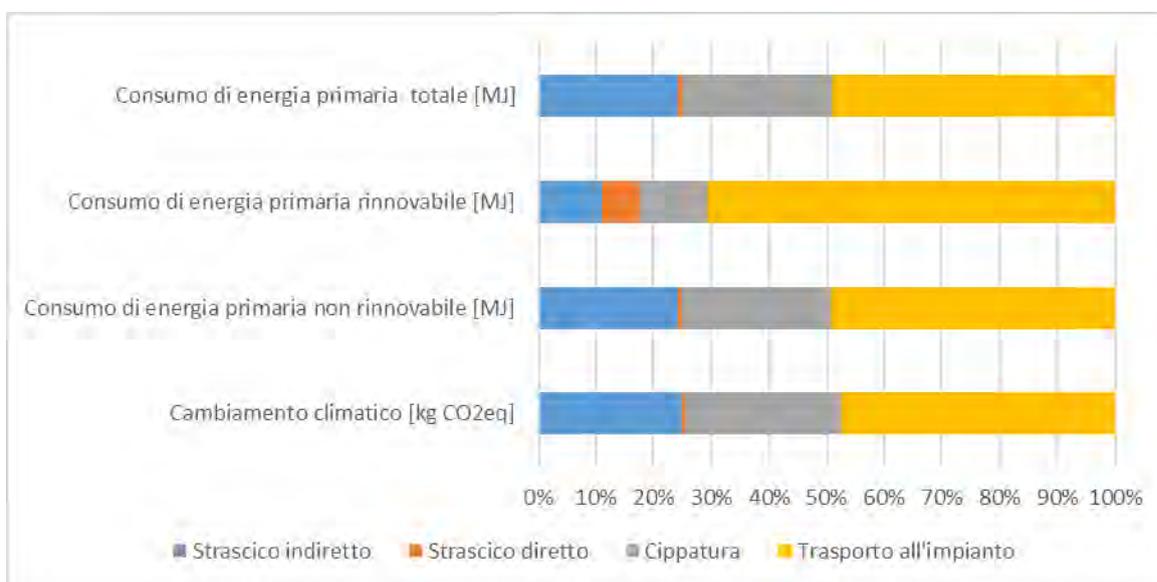
Tabella 4. Impatti associati alla fase di trasporto al variare del mezzo e della distanza percorsa

Indice	UM	Trasporto con trattore e rimorchio	Trasporto con autocarro (50 km)	Trasporto con autocarro (100 km)
Cambiamento climatico	kg CO _{2eq}	3,30E-03	1,00E-02	2,10E-02
Consumo di energia primaria, non rinnovabile	MJ	4,80E-02	1,70E-01	3,40E-01
Consumo di energia primaria rinnovabile	MJ	4,79E-03	2,70E-03	5,40E-03
Consumo di energia primaria totale	MJ	5,20E-02	1,74E-01	3,40E-01

Gli impatti associati alla fase di trasporto, e con essi quelli complessivi della filiera di approvvigionamento, generalmente aumentano al crescere della distanza di approvvigionamento.

Un'analisi di dominanza relativa allo scenario 3 (Figura 2) evidenzia come il contributo del trasporto sull'impatto totale (emissioni di gas climalteranti e consumo di energia primaria) è di circa il 50%, mentre nel caso dello scenario base esso risulta pari a circa il 10%.

Figura 2. Analisi di dominanza delle fasi della filiera di approvvigionamento per lo Scenario 3



3. Conclusioni

Lo studio ha presentato una valutazione degli impatti energetico – ambientali connessi alla produzione di 1 kg di cippato da biomasse di origine forestale.

L'analisi dei risultati ottenuti per la filiera di approvvigionamento ha consentito di stabilire che gli hot-spots ambientali della filiera sono lo strascico indiretto e la cippatura.

A causa della variabilità delle distanze tra il luogo di produzione del cippato e il luogo di utilizzo è stato necessario effettuare un'analisi di sensibilità. Gli impatti generati dalla fase di trasporto del cippato, infatti, dipendono dal mezzo di trasporto e dalla distanza percorsa.

L'analisi di sensibilità ha permesso di stabilire che gli impatti aumentano all'aumentare della distanza. Pertanto, la realizzazione di filiere corte per la produzione e impiego di biomassa consente di ottimizzarne la gestione in un'ottica di sostenibilità energetico-ambientale.

Bibliografia

- [1] European Commission, *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions- The European Green Deal*, 2019.
- [2] M. Cusenza, F. Guarino, S. Longo, M. Mistretta e M. Cellura, «Environmental assessment of 2030 electricity generation scenarios in Sicily: an integrated approach,» *Renew. Energy*, vol. 160, pp. 1148-1159, 2020.
- [3] European Commission, «A sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy,» 2018.
- [4] R. Frischknecht, N. Jungbluth, H.-J. Althaus, C. Bauer, G. Doka, R. Dones, R. Hischier, S. Hellweg, S. Humbert, T. Köllner, Y. Loerincik, M. Margni e T. Nemecek, «Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories,» Dubendorf, 2007.
- [5] European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook -- General guide for Life Cycle Assessment -- Detailed guidance*, 2010.
- [6] European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability , *Characterisation factors of the ILCD Recommended Life Cycle Impact Assessment methods. Database and supporting information*, 2012.
- [7] IPCC, *IPCC Climate Change Fourth Assessment Report: Climate Change*, 2007.
- [8] G. Wernet, C. Bauer, B. Steubing, J. Reinhard, E. Moreno-Ruiz e B. Weidema, «The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology,» *The International Journal of Life Cycle Assessment volume 21*, p. 1218–1230, 2016.

- [9] S. Baldini, F. Di Fulvio e G. Laudati, «Analisi della filiera di biomassa legnosa proveniente da interventi di diradamento: un caso studio in una pineta dell'Italia centrale,» *Forest@-Journal of Silviculture and Forest Ecology*, 7(5), p. 177, 2010.
- [10] A. Paletto, I. De Meo, P. Cantiani, U. Chiavetta, C. Fagarazzi, G. Mazza, E. Pieratti, G. M. Rillo Migliorini e A. Lagomarsino, «Analisi della filiera foresta-legno in una prospettiva di (bio)economia circolare: il caso studio della foresta di Monte Morello,» *L'Italia Forestale e Montana*, 73(3), pp. 107-128, 2018.
- [11] CNR Ivalsa, «Foresta - Legno - Energia. Linee guida per lo sviluppo di un modello di utilizzo del cippato forestale a fini energetici.,» 2007.
- [12] N. Magagnotti, *Analisi di cantieri di cippatura in merito ad aspetti operativi e di salvaguardia*, 2012.
- [13] R. Spinelli, N. Magagnotti, C. Nati e M. Aguanno, «Produzione di biomassa dalla gestione delle peccete artificiali,» *Dendronatura*, 1, pp. 35-46, 2006.