



"Progetto di innovazione per la valorizzazione e la sostenibilità della filiera dell'Abete bianco del Friuli", finanziato dall'Unione Europea mediante il FEASR - Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale PSR 2014/2020 - Programma di Sviluppo Rurale della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Misura 16.2.1

RELAZIONE TECNICA

Valutazione delle emissioni di gas climalteranti e di input energetico per la produzione di 1 mc di legno di abete bianco di prima trasformazione ottenuto a valle della filiera produttiva tipica delle aree montane della Regione Friuli-Venezia Giulia

Committente: Segheria Legnami Cortolezzis Rag. Luigi Elio



Relazione scientifica finale relativa all'attività prevista dal contratto "Valutazione delle emissioni di gas climalteranti e di input energetico per la produzione di 1 mc di legno di abete bianco alla prima trasformazione ottenuto a valle della filiera produttiva tipica delle aree montane della Regione Friuli-Venezia Giulia" stipulato tra Segheria Legname Cortolezzis e Dipartimento di Scienze Agro-Alimentari, Ambientali ed Animali dell'Università di Udine (DI4A) ed in scadenza il 30/11/2018.

1. INTRODUZIONE ALLO STUDIO

Il presente studio riguarda l'analisi di sostenibilità ambientale ed energetica del ciclo di produzione di una travatura tipo ottenuta da legno di abete bianco derivante da aree montane della Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, effettuata mediante metodologia "Life Cycle Assessment" (LCA). Gli obiettivi specifici hanno riguardato in particolare il parametro GWP (Global Warming Potential) teso a quantificare le emissioni in atmosfera di gas climalteranti, espresso in kg di CO₂ equivalente per m³ di legno, e il CED (Cumulative Energy Demand), cioè la richiesta energetica relative all'intero ciclo produttivo fino all'ottenimento della travatura tipo. I dati ottenuti del presente studio sono infine comparati con quelli di analoghe filiere ottenuti in altre zone d'Italia. Lo studio riportato è una analisi LCA definita "cradle-to-gate" (dalla culla al cancello), in particolare nel nostro caso partendo dal bosco al momento dell'abbattimento (culla) al prodotto finito in segheria (cancello, inteso come prodotto finito all'interno dell'azienda di trasformazione).

2. INTRODUZIONE AL METODO "LIFE CYCLE ASSESSMENT"

Il "Life Cycle Assessment" (LCA) è uno strumento che consente la valutazione e la quantificazione delle risorse consumate e degli impatti ambientali di un prodotto, un processo o un'attività lungo tutte le fasi del suo ciclo di vita.

L'LCA è inoltre utile per individuare i potenziali miglioramenti durante le fasi di produzione e utilizzo dei prodotti o servizi oggetti dello studio.

Il metodo d'analisi LCA si basa su una procedura standardizzata dalle norme ISO 14040 e ISO 14044 (che nel 2006 ha sostituito le norme ISO 14041, 14042 e 14043) e si sviluppa attraverso 4 fasi:

- definizione dell'obiettivo dello studio e dei confini del sistema analizzato;
- costruzione dell'inventario: raccolta, quantificazione e organizzazione di tutti i flussi di materia ed energia che ogni processo comporta;



Dipartimento di Scienze AgroAlimentari, Ambientali e Animali - Università degli Studi di Udine

- individuazione degli impatti: suddivisione di tutti i flussi di materia ed energia legati al processo oggetto di studio nelle categorie di impatto definite sulla base degli obiettivi dell'analisi;
- interpretazione dei risultati.

Per questo studio si è utilizzato il software SimaPro 7.2.4 dell'Università di Udine, che contiene già una serie di database con migliaia di processi e diversi metodi di classificazione e valutazione degli impatti. Ciò ha consentito, mediante l'utilizzo dei dati specifici del ciclo produttivo analizzato, di calibrare e modulare i risultati in funzione della filiera oggetto di studio. La trasparenza e la completezza rendono SimaPro uno strumento utile non solo per le analisi ma anche come supporto alle decisioni non solo aziendali, ma anche territoriali e quindi utile per programmazioni a livello comunale e regionale.

3. OBIETTIVO E CONFINI DEL SISTEMA

Il presente studio LCA è stata effettuato per valutare l'impatto ambientale del ciclo di produzione del legno di abete bianco destinato alla produzione di 1 m³ di una travatura tipica nella montagna friulana (Carnia e Tarvisiano), per poi confrontarlo con filiere analoghe di altri ambienti per una valutazione di sostenibilità. In particolare, lo studio si concentra sulla stima delle emissioni da gas serra in atmosfera dovute all'intero ciclo produttivo e all'input energetico richiesto per ottenere la travatura finita.

Il sistema analizzato è composto essenzialmente da tre fasi che comprendono: le lavorazioni in bosco, i trasporti ed i processi di trasformazione del legname. L'analisi quindi ha origine con le operazioni di taglio delle piante di abete bianco in bosco e si conclude con il prodotto finito entro i cancelli dell'azienda di trasformazione. I confini del sistema, con i vari input e processi, sono rappresentati in figura 1.

Le emissioni in atmosfera sono state calcolate per ogni fase del ciclo produttivo in forma di kilogrammi [kg] di CO₂ equivalenti. Come unità funzionale è stato utilizzato il metro cubo [m³] di legno finito (travatura tipica) ad una umidità commerciale del 15%, come riferimento per tutte le fasi dello studio, mentre per l'allocazione è stata scelta, tra le tante a disposizione, l'opzione di effettuarla su base fisica in base al volume dell'unità funzionale.

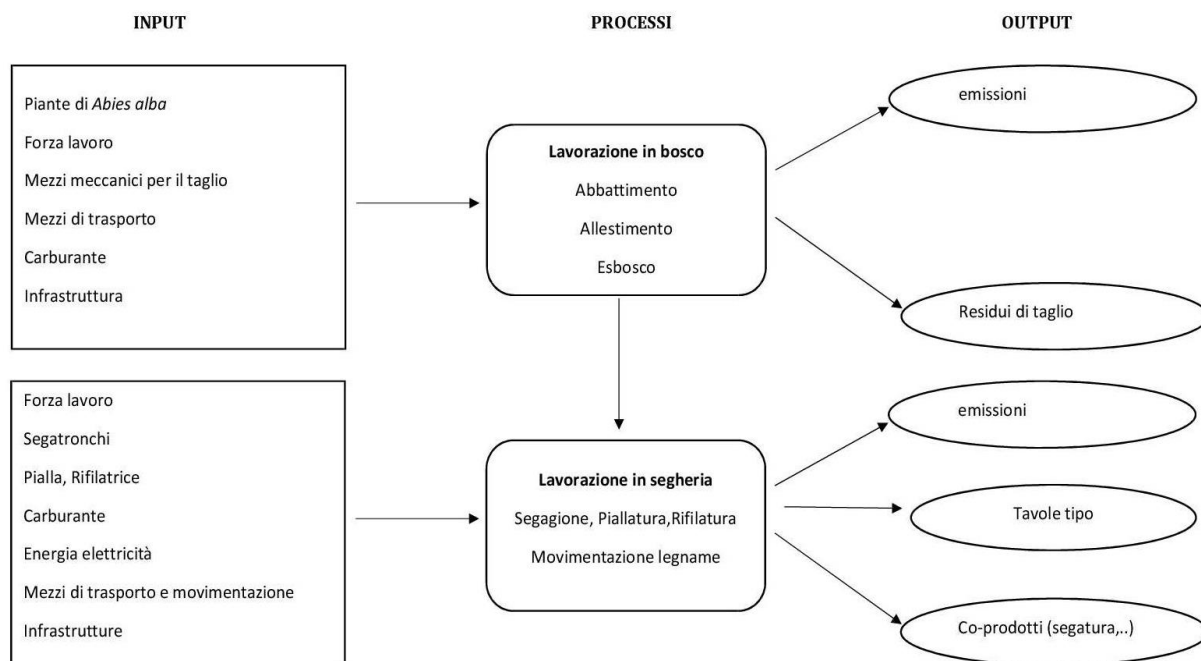


Figura 1. Confini del sistema oggetto dello studio.

Il presente studio considera come punto di partenza il bosco, inteso come insieme di alberi già pronti all'abbattimento. Le fasi vivaistiche (ottenimento ed allevamento di nuovi individui), di impianto e di cura non sono considerate, in quanto fuori dai confini del sistema considerato. Analogamente, non vengono considerati i cambiamenti d'uso del suolo.

4. COMPILAZIONE DELL'INVENTARIO

La compilazione dell'inventario è stata organizzata seguendo le fasi di produzione della filiera analizzata. I dati di input e di output sono stati rilevati attraverso la compilazione di questionari specifici da parte degli operatori, per quanto riguarda le fasi in bosco e di prima trasformazione, oltre che mediante la consultazione di opportuna bibliografia a disposizione dell'Università di Udine. In linea generale, molti dei dati riferiti alla fase di processo della lavorazione in bosco sono stati rilevati direttamente dagli operatori, mentre i dati riguardanti le principali lavorazioni in segheria (tipo di macchine, consumi elettrici e capacità di lavoro) sono state raccolti presso la segheria Tarussio. Tutti i dati ricevuti, ed in particolare quelli relativi al consumo di carburante da parte delle macchine utilizzate nel bosco e su strada (motosega, trattore, autotreno) per i trasporti, sono state integrate con i dati presenti nel database EcoInvent 2.0 di SimaPro, in particolare con quelli riguardanti la filiera di produzione del legno (EcoInvent, 2007 b).

Le emissioni di gas serra, intesi come emissioni impattanti sul riscaldamento globale, sono espresse in kg equivalenti di CO₂ per m³ di legno espresso sulla sostanza secca. Di seguito sono riportate le descrizioni e le assunzioni caratteristiche di ogni fase dello studio.



4.1. In bosco

I dati della prima fase della filiera (processo di lavorazione in bosco), si riferiscono al taglio che normalmente viene eseguito nei boschi della montagna Friulana. Il centro dell'area di studio è rappresentato dalla segheria Tarussio con sede a Paularo (UD). L'area di approvvigionamento del legname è rappresentata quasi esclusivamente dai comuni carnici, con distanze di approvvigionamento che in questo studio variano tra un minimo di 30 ed un massimo di 100 km. Facendo una media ponderata abbiamo stimato una distanza media di 40 km tra area di approvvigionamento e segheria Tarussio, che il presente studio calcola con impatti relativi ad 80 km considerando viaggio di andata e ritorno.

Si stima che, durante la fase di abbattimento (da considerarsi come taglio selettivo, con una rimozione del 35% degli alberi), circa il 30% in volume dell'abbattuto rimanga in bosco, sotto forma di ramaglie, aghi, ecc. Questo viene considerato nel calcolo dei parametri energetici e di sostenibilità ambientale. Per le fasi di abbattimento e allestimento si sono considerati i seguenti elementi caratterizzanti: l'abbattimento e prima lavorazione in bosco viene fatta mediante l'uso di motoseghe. Nello specifico, gli alberi vengono abbattuti con l'uso di due motoseghe Stihl. Il tondo è poi movimentato ed accatastato, grazie all'utilizzo di un trattore Valtra N142 dotato di verricello a strascico indiretto Steyr, in un'area di raccolta adiacente al cantiere forestale. Si considera una distanza media tra il punto di caduta e il punto di raccolta di circa 250 metri, che il presente studio calcola con impatti relativi a 500 m (andata e ritorno). La manodopera impiegata in questa prima fase è consistita in tre operatori, due addetti al taglio e uno dedicato alla guida del trattore. Dopodiché, il tondo viene caricato su un autotreno con capacità di carico di 35 m³ e trasportato presso la segheria Tarussio (Paularo). Il carico del legname sull'autotreno avviene mediante l'uso di un trattore dotato di benna meccanica. I dati relativi a questo processo ed inseriti nell'inventario, sono riportati in tabella 1.

Tabella 1. Dati inseriti nell'inventario per quanto riguarda la fase di lavorazione in bosco.

ABBATTIMENTO, ALLESTIMENTO, ESBOSCO		
mezzi meccanici		
motosega Stihl MS461	peso [kg]	6,7
	potenza [kW]	4,4
	utilizzo [h/m ³ prodotto finito]	0,018
motosega Stihl MS441c	peso [kg]	6,6
	potenza [kW]	4,2
	utilizzo [h/m ³ prodotto finito]	0,017
spostamenti		
trattore Valtra N142 con	peso [kg]	5500



vericello Steyr	consumo [l diesel/h]	15
	utilizzo [h/m ³ prodotto finito]	0,015
	distanza media [m]	250
Autotreno	Capacità di carico [m ³]	35
	Distanza media [km]	40
	Consumo [l/km]	0,3
manodopera		
Bosco	N. operatori	3
	Ore/uomo	0,10
Spostamento (trasporto alla segheria)	N. operatori	1
	Ore/uomo	3

4.2. Prima trasformazione

Il materiale, una volta giunto presso la segheria Tarussio, è stato destinato al principale obiettivo di studio che è la produzione di travatura tipica, corrispondente mediamente al 50% del tondo arrivato in segheria; (prodotto principale).

Parallelamente, durante la stessa filiera produttiva, si ottengono anche i seguenti co-prodotti:

- segatura, corrispondente al 40% del tondo arrivato in segheria;
- produzione di scarto, dovuto alla refilatura del tronco, corrispondente al 10% del tondo arrivato in segheria.

I dati di input relativi alle lavorazioni in segheria sono stati riferiti alle operazioni necessarie per la trasformazione del legno tondo in travatura.

Per l'impianto di segazione, compresi segatronchi e cippatori, sono considerati consumi pari a 600 kWh elettrici al giorno e capacità di lavorazione massima di 20 m³ di legno tondo al giorno (30 kWh al m³). Il tondo è stato movimentato con carrello elevatore. La piallatura è stata eseguita mediante piallatrice elettrica, con un consumo di energia elettrica pari a 480 kWh al giorno ed una capacità di lavoro giornaliera pari a 40 m³ (12 kWh al m³). La successiva operazione di rifilatura comporta un consumo di energia elettrico di 1 kWh al m³, alla quale generalmente segue una lavorazione per la sagomatura che richiede un'ulteriore consumo di 1 kWh al m³.

Durante questa prima fase di lavorazione la manodopera è consistita in un addetto alla movimentazione del legname, uno alla guida del carrello elevatore, un operaio e un segantino. Le successive operazioni di piallatura, rifilatura e sagomatura richiedono due addetti per ciascuna operazione. L'impregnatura manuale richiede l'impiego di due addetti, in grado di trattare 1 m³ all'ora.

I dati considerati in questa fase di lavorazione sono presentati in tabella 2. I valori riguardanti l'energia elettrica sono stati ottenuti dal databaseecoinvent e si riferiscono a valori medi per la rete



elettrica italiana. I dati usati per caratterizzare l'impatto dell'impregnante sono quelli presenti nei database e si riferiscono ad un impregnante medio a base di solvente.

Tabella 2. Dati inseriti nell'inventario per quanto riguarda la fase di prima trasformazione presso la segheria Tarussio (Paularo, UD).

LAVORAZIONE PRESSO SEGHERIA Tarussio		
mezzi meccanici - impianto di segazione		
Segatronchi	capacità di lavorazione [m ³ /h]	2,5
	consumo [kWh/giorno]	600
	utilizzo [h/m ³ prodotto finito]	0,4
Pialla	capacità di lavorazione [m ³ /h]	5
	consumo [kWh/giorno]	480
	utilizzo [h/m ³ prodotto finito]	0.25
Rifilatrice	Consumo [kWh/m ³]	1
Lavorazioni per incastri	Consumo [kWh/m ³]	1
spostamenti		
carrello elevatore	peso [kg]	5668
	consumo [l diesel/h]	3
	utilizzo [h/m ³ prodotto finito]	0,004

L'essiccazione del legno è stata effettuata naturalmente e richiede un tempo variabile tra 4 e 6 mesi. Le travature vengono normalmente ritirate dagli acquirenti in segheria. Saltuariamente la segheria si occupa del trasporto presso l'acquirente, e in questo caso la distanza massima di trasporto è il porto di Trieste. Il presente studio non tiene in considerazione il trasporto presso gli acquirenti, ma si ferma ai cancelli della segheria.

5. CLASSIFICAZIONE DELL'IMPATTO

L'impatto ambientale è stato classificato seguendo una modalità presente in SimaPro tra i "Life Cycle Impact Assessment Methods" (LCIAM) proposti dal database EcoInvent (EcoInvent, 2007a). Per effettuare il bilancio delle emissioni di gas serra è stato scelto il metodo del "Global Warming Potential" (GWP) basato sul metodo IPCC 2001. Tale metodo è stato elaborato dall'"Intergovernmental Panel on Climate Change" (IPCC), organismo scientifico, istituito dalle Nazioni Unite, con il compito di eseguire ricerca scientifica riguardo ai cambiamenti climatici.

Lo studio per la stima del bilancio consiste nel calcolare tutte le emissioni prodotte dal sistema in un arco di tempo di 100 anni sotto forma di chilogrammi di CO₂ equivalente; cioè riportando il contributo di tutti i gas serra (circa 30 nel nostro studio), valutati sulla base della loro potenzialità di



Dipartimento di Scienze AgroAlimentari, Ambientali e Animali - Università degli Studi di Udine

aumento del riscaldamento globale (“Global Warming Potential”), tenendo come riferimento base l’effetto del CO₂ (tab. 3). In questo modo a ogni tipologia di gas serra, responsabile del riscaldamento globale ma diverso da CO₂, è stato attribuito un coefficiente che consente la sua trasformazione in kilogrammi di CO₂ equivalenti.

Tabella 3. Global Warming Potential (GWP) dei tre principali gas serra su orizzonte temporale di 100 anni (IPCC, 2007).

INQUINANTE	GWP
CO ₂	1
N ₂ O	298
CH ₄	25

La richiesta energetica è stata valutata mediante il metodo denominato Cumulative Energy Demand (CED, Versione 1.07 implementato in SimaPro 7; Ecoinvent 2.0). Il CED viene utilizzato come indicatore per degli impatti ambientali, considera l’energia primaria consumata durante il ciclo di vita del prodotto, in termini di uso diretto ed indiretto dell’energia, e derivante sia da risorse non rinnovabili sia da quelle rinnovabili. Tra le risorse non rinnovabili vi sono le fonti fossili, il nucleare e le foreste primarie, tra le risorse rinnovabili sono incluse biomasse, vento, solare, geotermico ed idrico.

6. VALUTAZIONE DELLE EMISSIONI

Le emissioni sono state considerate utilizzando come base di elaborazione i dati presenti nel database EcoInvent, in riferimento ai cicli di lavorazione del legno (EcoInvent, 2007b).

Per quanto riguarda i mezzi di trasporto e movimentazione del legno, si è scelto di aggiornare le emissioni ad essi legati sulla base di “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, individuate dalla “Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici” (UNFCCC) come standard di riferimento per la stima delle emissioni antropogeniche di gas serra nei paesi aderenti al “Protocollo di Kyoto” (tab. 4).

Tabella 4. Coefficienti di emissione di CO₂, N₂O e CH₄ dovuti ai trasporti (IPCC, 2006) e utilizzati nei calcoli.

INQUINANTE	COEFFICIENTE DI EMISSIONE [kg/TJ]		
	autoveicolo		macchina agricola
	diesel	benzina	
CO ₂	74100	69300	74100
N ₂ O	3,9	5,7	28,6
CH ₄	3,9	3,8	4,15



7. RISULTATI DELLO STUDIO

Il presente studio, effettuato mediante metodologia LCA, ha determinato il valore di emissioni dovute all'intero processo produttivo, costituito dalle attività di esbosco, segazione, trasporto, qualificazione e processo di utilizzazione del legname di abete bianco per la realizzazione di travature tipo.

In particolare, la fase di esbosco è stata caratterizzata per una emissione di gas ad effetto serra pari a 3,77 kg CO₂ eq./m³. I trasporti hanno causato un'emissione di gas serra pari a 9,89 kg CO₂ eq./m³, mentre le lavorazioni in segheria hanno prodotto un'emissione di gas serra pari a 24,56 kg CO₂ eq./m³. Complessivamente il valore di emissione di gas serra, considerando tutte le fasi, è stato pari a 38,2 kg CO₂ eq./m³. Per quanto riguarda la richiesta energetica questa è stata complessivamente di 736 MJ per m³ di legno. Le singole fasi di lavorazioni hanno evidenziato la seguente domanda energetica: 428 MJ per m³ per le lavorazioni in segheria, 196 MJ per m³ per i trasporti ed infine 112 MJ per m³ per la fase di esbosco.

In figura 2 e 3 vengono riportati nel dettaglio i valori caratteristici di ciascuna fase di lavorazione, in termini di impatto climatico (fig. 2) e richiesta energetica (fig. 3). Ciò consente di analizzare nello specifico le singole fasi di produzione, individuando ad esempio i processi che comportano maggiori emissioni in atmosfera e la maggiore richiesta energetica.

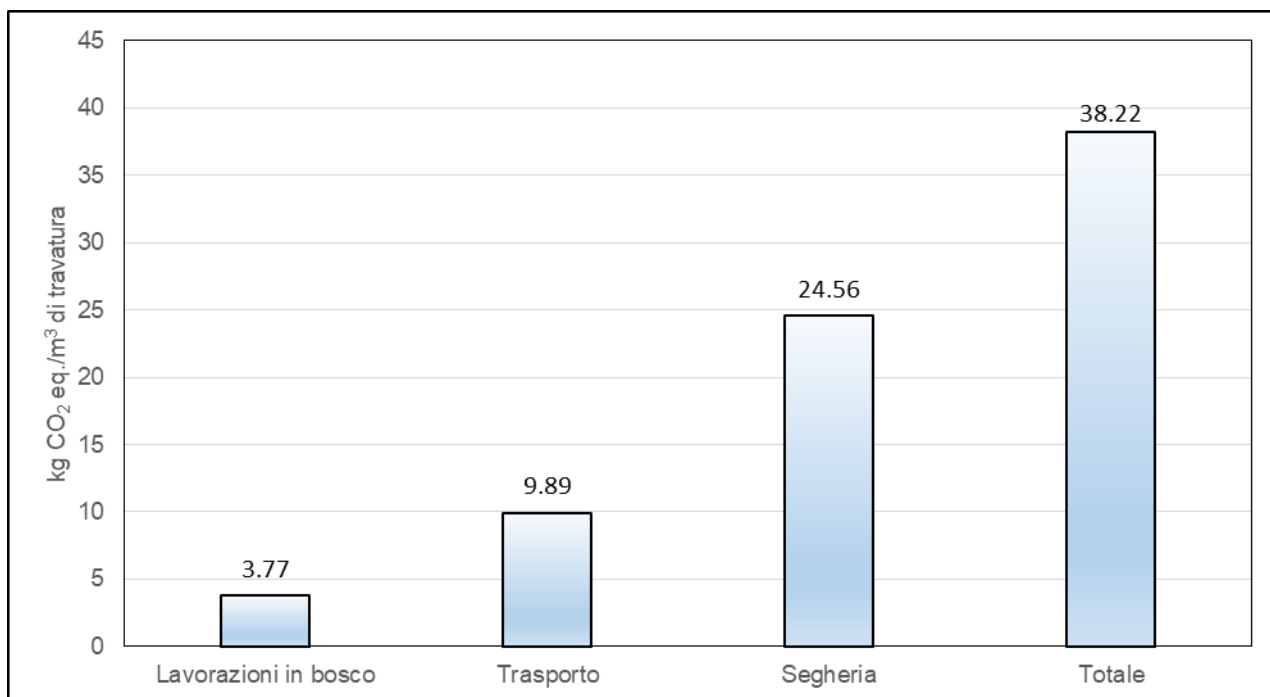


Figura 2. Dettaglio delle emissioni di ciascuna fase dell'intera filiera di produzione del legname espresse come kg CO₂ eq./m³.

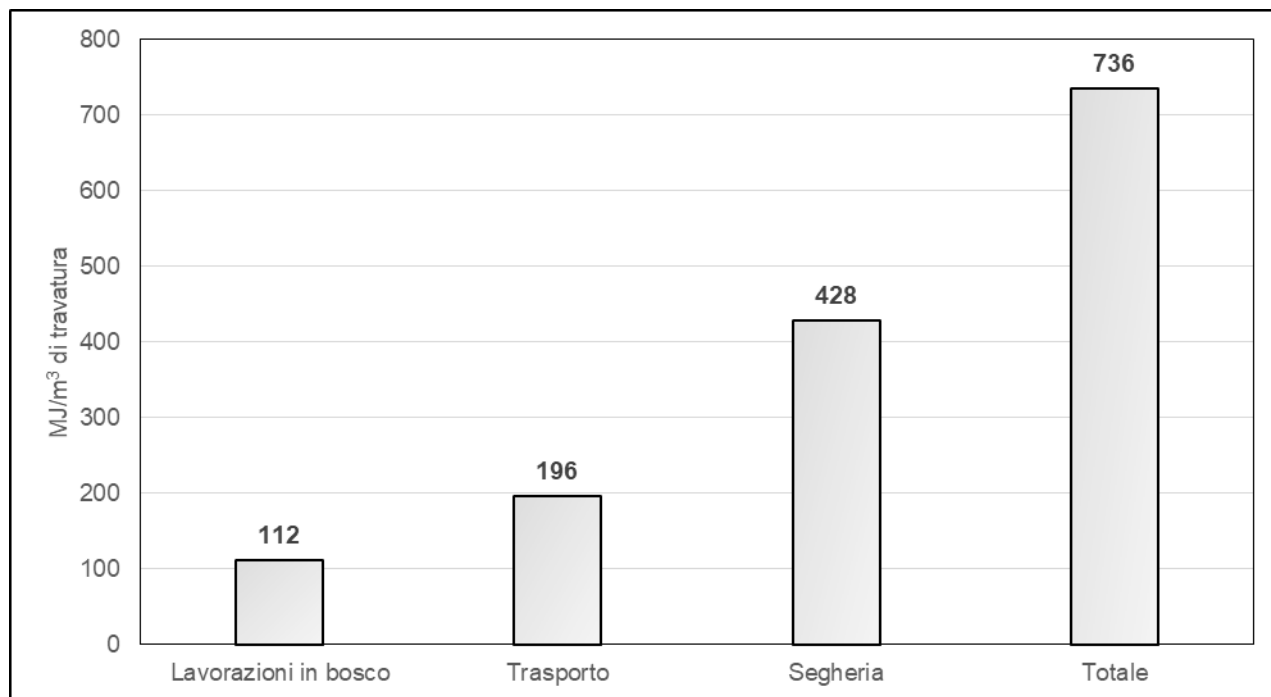


Figura 3. Richiesta energetica (MJ per m³ di travatura) di ciascuna fase della filiera di produzione del legname.

Relativamente alle emissioni (GWP), da notare la grande incidenza di due fasi della filiera: (i) il trasporto del legname, pari al 26% delle emissioni totali e le lavorazioni in segheria per la produzione della travatura finale, pari al 64% delle emissioni totali. Per quanto riguarda i trasporti, la quasi totalità degli impatti è data dal consumo di carburante 90%, in accordo con lo studio di Abbass e Handler (2018), per la percorrenza su strada del legname dal bosco fino al centro di trasformazione. Le emissioni in fase di lavorazione, dovute alla produzione delle tavole in segheria, sono invece causate principalmente al consumo di energia elettrica per le varie operazioni (circa 80% delle emissioni della segheria), nonostante l'impianto di trasformazione si approvvigioni totalmente da energia rinnovabile (idroelettrico). Segue il trattamento con l'impregnate di sintesi, molto impattante a livello ambientale, che causa una emissione di gas climaterici pari a 3,2 kg di CO₂ eq. per m³ di tavole trattate. Tra le tre fasi considerate, quella di esbosco è la meno impattante sull'emissione di anidride carbonica (10% sul totale), in cui l'allestimento e la movimentazione con il trattore dei tronchi dal punto di caduta al punto di raccolta/carico è quella che causa la maggiore emissione di gas climaterici; circa il 88% (3,31 kg di CO₂) delle emissioni totale.

In termini di richiesta energetica (CED), la lavorazione in segheria è la fase più impattante, con la richiesta maggiore di energia (58%) sul totale, nella quale il consumo di energia elettrica (391 MJ per m³ di legno) è l'attività più energivora. Segue la fase di trasporto (27% del totale), con il carburante che determina il maggior consumo energetico (78%). Infine, la fase di esbosco è la meno



Dipartimento di Scienze AgroAlimentari, Ambientali e Animali - Università degli Studi di Udine

impattante in termini energetici (15% del totale), in cui il consumo complessivo di carburante è il processo più impattante (25,8 MJ per m³ di legno).

La filiera analizzata presenta un totale di emissioni in atmosfera (GWP) pari a 38,22 kg CO₂ eq. per m³ di legname prodotto ed una richiesta energetica (CED) è pari a 736 MJ per m³ di legname prodotto.

Tali valori, suddivisi per fase e totali, sono riportati in Tabella 5 per un confronto con valori ottenuti da studi di LCA con prodotti simili o comunque comparabili alla presente attività.

Tabella 5. Comparazione dei GWP (kg CO₂ eq. per m³ di legno) e della richiesta energetica (MJ per m³ di legno) ottenuti da altri autori in studi di LCA similari.

Studio	Specie	Bosco		Trasporto		Segheria		Totale	
		GWP	CED	GWP	CED	GWP	CED	GWP	CED
Presente studio	Abete bianco	3,8	112	9,9	196	24,6	428	38,2	736
Santi et al (2016) Nord-est Italia	Abete rosso	2,0		11,1		46,5		59,6	
Michelsen et al. (2008) Norvegia	Non specificato	11,4		11,6				23,0*	
Abbas e Handler (2018) USA (MI; TN)	Diverse	23,2	344	19,3	266	-	-	42,5* 47,1*	609* 534*
Valente et al. (2011) Trentino-Alto Adige	Foresta alpina	6,5		3,5**				10,8*	
Scharai-Rad et al. (2002) Germania	Non specificato	-	167	-	269	-	553	-	988

*solamente bosco + trasporto; ** considera trasporto di 30 km come sola andata

I diversi studi analizzati in bibliografia suddividono le fasi di lavoro in maniera diversa al nostro studio e questo rende difficoltosa una comparazione oggettiva tra i dati. Si possono però fare delle comparazioni parziali, prendendo in considerazione le fasi comuni.

I lavori di Michelsen et al., (2008) e Abbas e Handler, (2018), possono essere comparati con il presente studio, solamente per le fasi di bosco e trasporto. I primi due studi riportano una emissione superiore di GWP principalmente a causa delle maggiori distanze di trasporto (150-200 fino a 300 km rispetto agli 80 km del presente studio) e all'allestimento della fase di bosco, dove in molti casi il punto di carico degli autotreni era distante fino ad un massimo di 3 km dal punto di raccolta (Michelsen et al., 2008), rispetto ad un valore medio di 250 m del presente studio.



Dipartimento di Scienze AgroAlimentari, Ambientali e Animali - Università degli Studi di Udine

Lo studio di Valente et al., (2011) effettuato in Trentino-Alto Adige nella zona di Cavalese, mette a confronto il GWP di due metodologie di disboscamento una tradizionale (6,5 kg CO₂ eq. per m³) ed una innovativa (4,4 kg CO₂ eq. per m³) presentando in entrambi i casi emissioni più elevate del presente studio. Mentre il valore più basso (3,5 kg CO₂ eq. per m³) relativo al trasporto è da attribuirsi alla distanza minore (30 km in totale) rispetto a quella dello studio (80 km considerando trasporto con andata e ritorno) tra punto di carico degli autotreni e centro di trasformazione. Infatti se lo stesso dato viene espresso in kg CO₂ eq./m³- km, il valore ottenuto è addirittura superiore (0,117) rispetto al presente studio (0,099).

Lo studio di Santi et al. (2016), riferito alla produzione di materiali da costruzione da abete rosso (MHM), ha utilizzato come unità funzionale kg CO₂ eq per 1 m² di MHM. Tale valore è stato da noi trasformato per 1 m³ di legno, conoscendo il peso e ed il peso specifico dell'MHM, per rendere i valori comparabili al nostro studio. Con queste trasformazioni e cercando di uniformare le attività di trasformazione, il GWP totale è risultato di 59,6 kg di CO₂ per m³ di legno, più elevato rispetto al valore ottenuto nel presente studio (38,2). A questo risultato totale concorre principalmente l'attività di trasformazione (segheria) per ottenere tavole di MHM, nettamente più impattante (46,5 vs 24,6) ed al leggero aumento in GWP del trasporto, dovuto alla maggiore distanza per raggiungere il centro di trasformazione (133 km). Di contro le minori emissioni della fase di bosco evidenziate in Tabella 5 (GWP uguale a 2 contro 3,8 del presente studio) sono invece da imputarsi alla minore distanza considerata tra punto di caduta e punto di raccolta (50 m) contro i 250 m del presente studio.

Il lavoro di Scharai-Rad e Welling (2002) che considera solamente il CED, conclude la fase di trasporto e quella di segheria richiedono più energia rispetto alle condizioni di lavoro riportate in questo studio.

CONCLUSIONI

I valori ottenuti dalla filiera analizzata per l'ottenimento di 1 m³ di legno finito (travatura tipica) ad una umidità commerciale del 15%, sono risultati di 38,2 kg CO₂ eq. come emissioni totali in atmosfera di gas climalteranti (GWP) e di 736 MJ come richiesta energetica (CED). Tali valori indicano una ottima efficienza ambientale ed energetica se confrontato a quanto presente in letteratura sia nazionale che internazionale. Proprio allo scopo di poter confrontare in modo corretto filiere diverse e difficilmente sovrapponibili, abbiamo cercato di scorporare nei vari studi analizzati le stesse singole attività presenti nella presente attività, cioè bosco, trasporto e segheria.

L'elevata efficienza evidenziata dalla presente filiera nelle attività di bosco e di trasporto rispetto agli altri studi analizzati (Tabella 5) evidenzia come la vicinanza della segheria Tarussio rispetto alle aree di disboscamento ed anche la ridotta distanza in bosco tra punto di caduta e strada di esbosco, siano cruciali per ridurre il forte impatto dei trasporti sulle emissioni di gas con effetto serra ed i consumi energetici.

L'impatto ambientale (GWP) della fase segheria del presente studio risulta molto inferiore all'unico dato confrontabile in letteratura (Tabella 5). L'impatto ambientale di tale fase, che risulta la più impattante tra quelle analizzate (bosco e trasporto), è determinato per circa l'80% dal consumo di



energia elettrica, nonostante l'azienda di trasformazione Tarussio (segheria) si approvvigioni per le proprie attività, di energia rinnovabile (idroelettrica). In questo caso a determinare l'impatto ambientale sono le parti non rinnovabili (costruzioni, manutenzione, attrezzature, smaltimento...), che costituiscono la quota preponderante della voce "elettricità", che quindi, nello specifico, non appare ulteriormente comprimibile. Mentre un contributo, pur limitato, potrebbe derivare dalla sostituzione dell'impregnante di sintesi utilizzato (circa 8% del totale dell'attività) con un prodotto più naturale, previa attività di sperimentazione e ricerca.

Va segnalato inoltre come il riutilizzo in bosco dei due coprodotti considerati (corteccia e segatura) come pacciamatura per le piante giovani e come l'apporto di sostanza organica, permettono una riduzione degli impatti di circa un 20% in termini di CO₂ e di un 30% per l'energia. Infatti, LCA svolta senza considerare i coprodotti comporterebbe un CED pari a 963 MJ e di 52,1 kg CO₂ eq. per m³ di travatura prodotta.

8. BIBLIOGRAFIA

- Abbas, D., Handler, R.M., 2018. Life-cycle assessment of forest harvesting and transportation operations in Tennessee. *Journal of Cleaner Production* 176:512-520.
- AIEL, 2009, *Legna e cippato*, Manuale pratico AIEL, 95 pp
- EcoInvent, 2007a, *Implementation of life cycle impact assessment methods*, EcoInvent Report n.3, 139 pp
- EconInvent, 2007b, *Life cycle inventories of wood as fuel and construction material*, EcoInvent Report n.9, 165 pp
- IPCC, 2006, *Guidelines for national greenhouse gas inventories*, versione disponibile on-line, IPCC
- IPCC, 2007, *Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, versione disponibile on-line, IPCC
- Michelsen, O., Solli, C., Strømman A.H. *Environmental Impact and Added Value in Forestry Operations in Norway*. *Journal of Industrial Ecology*. 12:69-81
- Santi, S., Pierobon, F., Corradini, G., Cavalli, R., Zanetti, M., 2016, Massive wood material for sustainable building design: the Massiv-Holz-Mauer wall system. *J Wood Sci* 62:416-428
- Scharai-Rad M., Welling J., 2002, *Environmental and energy balances of wood products and substitutes*. FAO, Roma
- Valente, C., Spinelli, R., Hillring, B.G., 2011, LCA of environmental and socio-economic impacts related to wood energy production in alpine conditions: Valle di Fiemme (Italy) *Journal of Cleaner Production* 19 1931-1938.

Udine, 30/11/2018

Prof. Mario Baldini