

STUDIO DI FILIERA CIPPATO FORESTALE



Autori:

Flavio Scrucca (ENEA)

Caterina Rinaldi (ENEA)

Elisa Morara (Università di Bologna)

Andrea Argnani (AIEL)

Data di redazione: Dicembre 2021

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

Linea di intervento 2: Realizzazione della Banca Dati Italiana LCA

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

Sommario

| | |
|---|----|
| Lista delle Figure | 4 |
| Lista delle Tabelle | 4 |
| Lista degli Acronimi | 5 |
| 1 Sintesi..... | 6 |
| 2 Scopo del documento | 8 |
| 3 Descrizione della filiera..... | 8 |
| 3.1 Prodotti rappresentativi della filiera nazionale..... | 9 |
| 3.2 Impatto socio-economico della filiera | 14 |
| 3.2.1 Produzione nazionale e dati di import-export..... | 14 |
| 3.2.2 Impatto socio-economico e sul territorio..... | 16 |
| 3.3 Impatti ambientali e strumenti di sostenibilità | 18 |
| 3.3.1 Norme tecniche | 20 |
| 3.3.2 Pubblica amministrazione – appalti e forniture verdi di energia da cippato forestale..... | 21 |
| 3.3.3 Principali certificazioni ambientali | 22 |
| 4 Gruppo di lavoro | 26 |
| 5 Ambito di applicazione dello studio | 27 |
| 5.1 Funzione del sistema, unità funzionale e flusso di riferimento..... | 28 |
| 5.2 Confini del sistema | 29 |
| 5.3 Assunzioni e giudizi di valore..... | 31 |
| 5.4 Gestione della multifunzionalità | 32 |
| 5.5 Revisione critica..... | 32 |
| 5.6 Modellizzazione e metodologia di analisi degli impatti | 32 |
| 5.7 Informazioni ambientali aggiuntive..... | 33 |
| 6 Modellazione dei dataset della filiera | 34 |
| 7 Analisi di inventario | 35 |
| 7.1 Assunzioni utilizzate nello studio | 36 |
| 7.2 Descrizione e documentazione processi unitari..... | 37 |
| 7.2.1 Dati cippato di classe A..... | 38 |
| 7.2.2 Dati cippato di classe B..... | 39 |

| | | |
|-------|--|----|
| 7.3 | Sviluppo dei datasets..... | 40 |
| 8 | Valutazione degli impatti ambientali..... | 41 |
| 8.1 | Caratterizzazione..... | 42 |
| 8.1.1 | Caratterizzazione cippato di classe A..... | 42 |
| 8.1.2 | Caratterizzazione cippato di classe B..... | 45 |
| 8.2 | Normalizzazione..... | 48 |
| 8.2.1 | Normalizzazione cippato di classe A..... | 48 |
| 8.2.2 | Normalizzazione cippato di classe B..... | 51 |
| 8.3 | Pesatura..... | 54 |
| 8.3.1 | Pesatura cippato di classe A..... | 54 |
| 8.3.2 | Pesatura cippato di classe B..... | 57 |
| 8.4 | Analisi di sensitività..... | 59 |
| 8.4.1 | Analisi di sensitività cippato di classe A..... | 59 |
| 8.4.2 | Analisi di sensitività cippato di classe B..... | 62 |
| 9 | Interpretazione dei risultati..... | 65 |
| 9.1 | Categorie di impatto rilevanti..... | 66 |
| 9.2 | Fasi del ciclo di vita e processi rilevanti..... | 66 |
| 9.3 | Flussi elementari rilevanti..... | 67 |
| 10 | Conclusioni..... | 68 |
| 11 | Bibliografia..... | 72 |

Lista delle Figure

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Classi di qualità e caratteristiche del cippato forestale (Fonte: AIEL, 2021) | 10 |
| Figura 2 – Diagramma di flusso cippato classe A..... | 30 |
| Figura 3 – Diagramma di flusso cippato classe B..... | 31 |
| Figura 4 – Cippato di classe A – Caratterizzazione: contributo processi all’impatto delle fasi UPSTREAM e CORE | 44 |
| Figura 5 – Cippato di classe B – Caratterizzazione: contributo processi all’impatto delle fasi UPSTREAM e CORE | 47 |
| Figura 6 – Cippato di classe A – Normalizzazione: contributo processi all’impatto delle fasi UPSTREAM e CORE | 50 |
| Figura 7 – Cippato di classe B – Normalizzazione: contributo processi all’impatto delle fasi UPSTREAM e CORE | 53 |
| Figura 8 – Cippato di classe A – Pesatura: contributo processi all’impatto delle fasi UPSTREAM e CORE | 56 |
| Figura 9 – Cippato di classe B – Pesatura: contributo processi all’impatto delle fasi UPSTREAM e CORE | 59 |

Lista delle Tabelle

| | |
|--|----|
| Tabella 1 - Definizione unità funzionale | 28 |
| Tabella 2 – Dati fase UPSTREAM cippato di classe A (UF: 1 t)..... | 38 |
| Tabella 3 – Dati fase CORE cippato di classe A (UF: 1 t)..... | 39 |
| Tabella 4 – Dati fase di distribuzione cippato di classe A (UF: 1 t)..... | 39 |
| Tabella 5 – Dati fase UPSTREAM cippato di classe B (UF: 1 t)..... | 39 |
| Tabella 6 – Dati fase CORE cippato di classe B (UF: 1 t) | 40 |
| Tabella 7 – Dati fase di distribuzione cippato di classe B (UF: 1 t) | 40 |
| Tabella 8 – Cippato di classe A – Caratterizzazione: impatto totale, produzione e distribuzione (UF: 1 t) | 42 |
| Tabella 9 – Cippato di classe A – Caratterizzazione: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 t) | 43 |
| Tabella 10 – Cippato di classe B – Caratterizzazione: impatto totale, produzione e distribuzione (UF: 1 t) .. | 45 |
| Tabella 11 – Cippato di classe B – Caratterizzazione: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 t) | 46 |
| Tabella 12 – Cippato di classe A – Normalizzazione: impatto totale, e produzione e distribuzione (UF: 1 t). 48 | |
| Tabella 13 – Cippato di classe A – Normalizzazione: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 t) | 49 |
| Tabella 14 – Cippato di classe B – Normalizzazione: impatto totale, produzione e distribuzione (UF: 1 t).... | 51 |
| Tabella 15 – Cippato di classe B – Normalizzazione: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 t)..... | 52 |
| Tabella 16 – Cippato di classe A – Pesatura: impatto totale, produzione e distribuzione (UF: 1 t)..... | 54 |
| Tabella 17 – Cippato di classe A – Pesatura: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 t)..... | 55 |
| Tabella 18 – Cippato di classe B – Pesatura: impatto totale, produzione e distribuzione (UF: 1 t) | 57 |
| Tabella 19 – Cippato di classe B – Pesatura: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 t) | 58 |
| Tabella 20 – Cippato di classe A – Sensitività trasporti: scelta del mezzo..... | 60 |
| Tabella 21 – Cippato di classe A – Sensitività trasporti: filiera “lunga” | 61 |
| Tabella 22 – Cippato di classe A – Sensitività lavorazioni “in bosco” | 62 |
| Tabella 23 – Cippato di classe B – Sensitività trasporti: scelta del mezzo..... | 63 |
| Tabella 24 – Cippato di classe B – Sensitività trasporti: filiera “lunga” | 64 |
| Tabella 25 – Cippato di classe B – Sensitività lavorazioni “in bosco” | 65 |

Lista degli Acronimi

| | |
|--------|--|
| AIEL | Associazione Italiana Energie Agroforestali |
| CAM | Criteri Ambientali Minimi |
| ENAMA | Ente Nazionale Meccanizzazione Agricola |
| EPD | Environmental Product Declaration |
| FAO | Food and Agriculture Organization |
| FSC | Forest Stewardship Council |
| GHG | Greenhouse Gas |
| ILUC | Indirect Land Use Change |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| JRC | Joint Research Centre |
| LCA | Life Cycle Assessment |
| LULUCF | Land Use, Land-Use Change and Forestry |
| PEF | Product Environmental Footprint |
| PEFC | Programme for Endorsement of Forest Certification schemes |
| SRF | Short Rotation Forestry |
| UF | Unità Funzionale |
| UNFCCC | Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici |

1 Sintesi

Il presente report riguarda la filiera del cippato forestale e ne fornisce una descrizione a livello generale, delle sue caratteristiche peculiari, dei prodotti rappresentativi al suo interno e delle principali tipologie di impatto (sia ambientale che socio-economico) che la contraddistinguono.

Il Gruppo di Lavoro (GdL) costituito ai fini dello svolgimento del presente studio di filiera vede la partecipazione del mondo dell'Università e della Ricerca (Università degli Studi di Bologna, ENEA), delle Associazioni di Categoria (Associazione Italiana Energie Agroforestali), delle imprese del territorio del Friuli Venezia Giulia (Cigliani Primo, SaDiLegno), regione particolarmente rilevante a livello nazionale per la filiera del legno, nonché di esperti del settore forestale (consulente della rete di imprese 12-to-Many).

All'interno del documento sono presentati anche i risultati di uno specifico studio di ciclo di vita (Life Cycle Assessment, LCA) applicato alla filiera del cippato prodotto in Friuli Venezia Giulia e, quindi, rappresentativi, sia in termini geografici che tecnologici, di una filiera produttiva sviluppata in ambiente montano (caratteristico del Nord-Est del nostro Paese e di altre Regioni italiane in cui la produzione di biomassa legnosa avviene prevalentemente in aree montane o assimilabili). Lo studio ha preso in considerazione due differenti prodotti ritenuti particolarmente rilevanti e rappresentativi e sia in termini di "dimensione geografica" che di "composizione di mercato" ovvero:

- un cippato forestale di buona qualità sulla base della norma UNI ISO 17225-4 e rappresentativo delle classi A1 e A2 da essa individuate, normalmente impiegato in impianti di piccole dimensioni per la produzione di energia termica o a fini cogenerativi (cippato di classe A);
- un cippato di classe B secondo i criteri della norma UNI ISO 17225-4, derivante dai residui delle attività forestali, principalmente impiegato in grandi centrali sia di produzione elettrica che cogenerative.

Lo studio LCA è stato svolto adottando un approccio "cradle-to-user", ovvero considerando tutti i processi fino al cliente finale (compreso il trasporto del cippato all'impianto di produzione di energia, presentato in maniera separata nei risultati) senza includere le fasi di uso e fine vita, utilizzando dati di qualità prevalentemente buona (dati primari raccolti presso le imprese coinvolte

e dati di letteratura e/o di settore rappresentativi di filiere analoghe a quella considerata e delle tecnologie in essa impiegate).

I risultati dello studio LCA, calcolati utilizzando il metodo valutazione degli impatti il metodo EF 3.0, che costituisce il metodo di riferimento dell'iniziativa sull'impronta ambientale della Commissione Europea e restituisce un profilo di impatto completo a livello prodotto, indicano che le categorie di impatto "Climate Change" e "Resource use, fossils" sono le più rilevanti sia per il cippato di classe A che per il cippato di classe B.

Con valori pari a 26,8 kgCO₂eq/t e 451,5 MJ/t (ovvero, 19,3 kgCO₂eq/t e 345,9 MJ/t associati al prodotto finito senza distribuzione) per il cippato di classe A e 26,9 kgCO₂eq/t e 437,9 MJ/t (ovvero, 11 kgCO₂eq/t e 211,8 MJ/t associati al prodotto finito senza distribuzione) per il cippato di classe B, i risultati dello studio risultano essere in linea con quelli presentati in studi analoghi presenti in letteratura.

La produzione del cippato è risultata dunque essere la fase più rilevante in termini di impatto per quanto riguarda il cippato di classe A, mentre per il cippato di classe B è particolarmente significativo il contributo della distribuzione del cippato (viste le distanze più elevate caratteristiche per l'utilizzazione di questo prodotto)

Per la produzione del cippato di classe A, la fase "core" del ciclo di vita, che include al suo interno tutte le operazioni "in bosco" e i trasporti, contribuisce in modo rilevante a tutte le categorie di impatto più o meno direttamente collegate alle emissioni associate all'utilizzo dei combustibili, mentre la fase "upstream" (relativa alla produzione dei materiali in input) contribuisce in maniera rilevante alle rimanenti categorie di impatto.

Per la produzione del cippato di classe B, la rilevanza delle fasi del ciclo di vita rimane sostanzialmente invariata, anche se la fase "upstream" (oggetto di procedure di allocazione dei flussi in input/output, vista la produzione a partire da un sottoprodotto del cippato di classe A) è caratterizzata da un contributo sensibilmente minore all'impatto complessivo.

All'interno delle fasi del ciclo di vita, la produzione del diesel utilizzato nelle varie attrezzature risulta essere il processo più rilevante della fase "upstream sia per il cippato di classe A che per il cippato di classe B, mentre nella fase "core" il processo più rilevante è risultato il trasporto della cippatrice in cantiere.

I flussi elementari più rilevanti sono rappresentati dalle emissioni associate alle operazioni di esbosco, carico e spostamento tronchi e cippatura.

Nell'ambito dello studio LCA è stata svolta anche una analisi di sensitività focalizzata sulla scelta del mezzo di trasporto e sulle distanze di trasporto del cippato presso l'impianto di produzione dell'energia e delle attrezzature necessarie alla cippatura in cantiere, nonché sullo svolgimento delle lavorazioni "in bosco" (abbattimento alberi, esbosco, sramatura, ...).

I risultati di tale analisi di sensitività hanno chiaramente evidenziato come le operazioni di trasporto (in particolare, il trasporto del cippato all'impianto di produzione dell'energia) siano uno degli aspetti fondamentali da tenere in considerazione e valutare attentamente ai fini dell'implementazione di una filiera di produzione sostenibile del cippato.

Nel dettaglio, una filiera di produzione come quella considerata nello studio, con aspetti prevalentemente "locali", è caratterizzata da una maggiore sostenibilità rispetto ad una filiera "lunga", per cui si osserva, nel caso del cippato di classe A, un impatto praticamente doppio per la categoria "Climate Change" (+105,3%) e un incremento particolarmente significativo (+88,9%) per l'impatto associato alla categoria "Resource use, fossils" (per il cippato di classe B, tali incrementi associati di impatto risultano essere ancora più rilevanti).

Si ringraziano le aziende Cigliani Primo ed AIEL per avere contribuito con i dati forniti al presente studio e allo sviluppo dei dataset per la banca dati di Arcadia.

2 Scopo del documento

Il seguente rapporto è stato realizzato all'interno del progetto Arcadia - approccio ciclo di vita nei contratti pubblici e banca dati italiana LCA, finanziato dal PON Governance e Capacità Istituzionali 2014-2020, come output dell'Azione 5 "Analisi e raccolta dati per la costituzione della banca dati". Questo rapporto rientra nella sotto-azione A5.3 "raccolta dati prodotto/servizio lungo il ciclo di vita ed elaborazione dei documenti" e rappresenta lo studio della filiera del cippato forestale.

3 Descrizione della filiera

Le operazioni di manutenzione del bosco e di produzione di legna da ardere svolte dalle aziende forestali generano, durante l'esbosco, anche biomassa, ovvero materiale organico di origine vegetale finalizzato a differenti scopi. Parte di questa biomassa legnosa viene generalmente impiegata per la produzione di cippato, prodotto biocombustibile comunemente utilizzato da centrali di teleriscaldamento, impianti di cogenerazione e piccoli impianti ad uso domestico che,

però, può essere valorizzato anche per altre finalità, quali la costruzione di pannelli di particelle e per la produzione di carta.

In media, la filiera energetica del cippato locale crea da 7 a 15 volte in più di occupazione rispetto alle fonti fossili (AIEL, 2020) e la produzione e l'utilizzo di cippato locale, innesca un meccanismo virtuoso quando la materia prima legnosa proviene da gestione sostenibile del bosco, valorizzando gli scarti della lavorazione del legno e il progresso tecnologico delle moderne caldaie a biomassa.

Il cippato forestale può essere di differenti tipologie, a seconda delle parti di pianta interessate, con differenti caratteristiche e impieghi che possono derivarne, e lo stesso vale per il cippato di origine diversa quale quello prodotto da: scarti dalle segherie nella lavorazione del legno (comparto dell'industria del legno) e scarti dell'agricoltura (potature dei frutteti e vigneti e sottoprodotti agricoli).

Come detto, quindi, differenti possono essere la provenienza e gli utilizzi a cui il cippato può essere destinato, ma ai fini di questo report è presa in esame soprattutto la finalità energetica evidenziando, conseguentemente, anche gli impatti che possono derivarne, sia dal punto di vista socio-economico che da quello ambientale; sottolineando gli aspetti negativi a cui è necessario far fronte, esaltando quelli positivi e descrivendo gli strumenti di sostenibilità di cui è possibile servirsi.

3.1 Prodotti rappresentativi della filiera nazionale

Diversi sono gli assortimenti di cippato ottenibili dai boschi che ricoprono il territorio nazionale, come differenti sono gli utilizzi cui lo stesso può essere destinato (filiera legno-energia come biocombustibile, costruzione di pannelli o produzione di carta), e l'utilizzo a fini energetici incontra sempre maggiore interesse grazie anche ad interventi di agevolazione finanziaria dello Stato Italiano e dell'Unione Europea, volti a promuovere il risparmio energetico ed il consumo locale del legno, soprattutto nelle zone collinari e montane.

Nell'ambito della filiera nazionale, la produzione del cippato forestale consiste in un processo di riduzione del materiale legnoso, volto alla formazione di elementi di vario tipo e forma detto cippato, tramite un'azione meccanica di taglio comunemente nota con il termine di "sminuzzatura" o più precisamente "cippatura" (Bossler-Peverelli e Corgnati, 1997). Tale trasformazione, si distingue quindi dalla frantumazione – effettuata con trituratori per portare alla formazione di scaglie di lunghezza tra 10-80 mm, per una larghezza di 20 mm e uno spessore di qualche millimetro (Hippoliti, 1997) – per la pezzatura ritenuta ideale, che è compresa tra gli 8 e i 30 mm (AIEL, 2020). Un materiale con tali caratteristiche risulta ideale per l'impiego in impianti di media/piccola dimensione, mentre

materiali con pezzature maggiori (“finestra” 45/63 mm) risultano più adatti per l’utilizzo in impianti termoelettrici o di grande dimensione. Per il particolare impiego a fini energetici è sicuramente interessante menzionare anche il cippato ottenuto da biotrituratori, normalmente identificato come “hog fuel”, ovvero come combustibile costituito da scarti non trattati (ad es. segatura), corteccia e materia organica (ad es. residui forestali) risultanti dalla silvicoltura commerciale.

Uno degli aspetti fondamentali nella produzione di biomassa, come il cippato, è la qualità, da questa dipende l'incontro della domanda-offerta con il relativo ritorno economico e a caratterizzarla è il materiale di partenza, in particolar modo il contenuto in ceneri, la pezzatura e il tenore idrico (Secknus, 2007, Brand et al, 2011).

La qualità del cippato viene infatti definita dalla norma tecnica internazionale UNI EN ISO 17225 capitolo 4 che circoscrive tre classi di qualità e le relative caratteristiche (Figura 1).

Le classi di qualità previste dalla norma sono A1, A2, B1 e B2; mentre lo schema di certificazione Biomassplus, nato dal lavoro congiunto tra AIEL ed ENAMA (AIEL, 2021) prevede anche le classi “A1plus” e “A1plus Cippatino” che sono migliorative rispetto alla classe A1 della norma tecnica.

| Classi di qualità secondo la norma ISO 17225-4 | A1plus A1plus Cippatino | A1 | A2 | B |
|--|--|--------------|--------------|--|
| Origine e provenienza | Alberi interi senza radici Tronchi Residui delle utilizzazioni forestali Residui di legno non trattato chimicamente | | | Legno di foresta, di piantagione, e altro legno vergine Residui di legno non trattato chimicamente |
| Contenuto idrico (%) | M10 < 10 | M25 < 25 | M35 < 35 | Deve essere dichiarato il valore massimo |
| Ceneri | A1.0 < 1,0 | A1.0 < 1,0 | A1.5 < 1,5 | A3.0 < 3,0 |
| Potere calorifico netto | Q > 16 MJ/kg Q > 4.5 kWh/kg | Specificare | Specificare | Specificare |
| Densità apparente (kg/m ³) | > 150 | > 150 | > 150 | > 150 |
| Elementi chimici | Non prevista | Non prevista | Non prevista | Analisi chimica secondo norma ISO 17225-4 |

Figura 1 – Classi di qualità e caratteristiche del cippato forestale (Fonte: AIEL, 2021)

La norma, inoltre, definisce anche le diverse classi di pezzatura che sono tre: **P16**, **P31,5** e **P45**.

- La classe **P16** avrà almeno il 60% in peso di scaglie di dimensione comprese tra 3,15 e 16 mm;
- La classe **P31,5** avrà almeno il 60% in peso di scaglie di dimensione comprese tra 3,15 e 31,5 mm;
- La classe **P45** avrà almeno il 60% in peso di scaglie di dimensione comprese tra 3,15 e 45 mm.

La norma tecnica, nella sua prima parte UNI EN ISO 17225-1, identifica anche le origini del materiale e determina le specifiche e la classificazione per biocombustibili solidi costituiti da materiale naturale e trattato derivante da: a) Silvicultura e colture arboree; b) Agricoltura e orticoltura; c) Acquicoltura. Tale parte della Norma rappresenta ormai il riferimento principale per l'identifica dell'origine e della classe del materiale. Tuttavia, in linea generale, a seconda delle parti di albero interessate, il cippato può distinguersi in tre tipologie:

- **cippato classe A1**, generalmente derivante dalla sminuzzatura di solo legno, ovvero di fusti o tronchi con un basso contenuto in corteccia, la norma tecnica prevede un contenuto idrico inferiore al 25% ed un contenuto in ceneri inferiore all'1,5%;
- **cippato classe A2**, derivante da rami e tronchetti con corteccia, da norma tecnica deve avere un contenuto idrico al di sotto del 35% e un contenuto in ceneri al di sotto del 1.5%, normalmente deriva dalle lavorazioni forestali e da quelle industriali;
- **cippato classe B**, contenente anche fogliame (soprattutto aghi), in quanto ottenuto dalla riduzione in cippato di ramaglie, cimali e altre parti con un alto contenuto in contaminanti. La presenza di aghi nel cippato comporta un maggiore contenuto idrico, limite massimo del 55% e un contenuto in ceneri che può raggiungere il 3% lo rende il materiale più di scarsa qualità e normalmente utilizzato in grandi impianti termoelettrici.

In definitiva, quindi, a seconda delle caratteristiche riscontrate e dell'opportuna classificazione come "biocombustibile" o "altro materiale"¹, il legname ridotto in cippato, può trovare diversi impieghi:

- Produzione di pannelli di particelle o di fibre;
- Produzione di carta;
- Utilizzo come combustibile.

Produzione di pannelli di particelle o di fibre (162199, estratto CPA 2008):

Il cippato prodotto in foresta è idoneo, anche se suscettibile di raffinatura e vagliatura, ad un'immissione diretta nel processo produttivo di questi pannelli di diversa densità e con svariati impieghi, da quello del mobile a quello degli isolanti. L'impiego da parte delle aziende del settore, però, è subordinato alla valutazione preliminare di idoneità: dal processo biodegradativo, alla classe

¹ il materiale, a fini IVA, deve essere identificato come biocombustibile o come altro materiale al momento della vendita perché hanno valori IVA differenti (cippato biocombustibile al 10%, il resto al 22%).

di qualità di appartenenza ai costi in relazione alla stagionalità del mercato (Bossler-Peverelli e Corgnati, 1997).

Produzione di carta (171299, estratto CPA 2008):

La possibilità d'impiego nel settore dell'industria cartaria del cippato prodotto direttamente in foresta, anche se in teoria possibile, risulta in pratica limitata sul mercato, in quanto la presenza di corteccia, e ancor più di quella degli aghi, compromettono la qualità del prodotto finito in termini di colorazione e di resistenza meccanica.

Inoltre, poiché i parametri del processo di produzione della carta sono regolati in base alle caratteristiche chimico-meccaniche di una determinata specie legnosa, la composizione del cippato deve essere rigorosamente controllata (Bossler-Peverelli e Corgnati, 1997).

Pertanto, la sola tipologia di cippato idonea per tale lavorazione è il cippato bianco derivante dalla sminuzzatura di solo legno, ovvero di fusti o tronchetti preventivamente scortecciati.

Uso come combustibile (470085, estratto CPA 2008):

Le caratteristiche principali da considerare nell'impiego del legno a fini energetici sono, in ordine d'importanza, le seguenti:

- contenuto idrico del materiale, che anche negli impianti appositamente costruiti per il cippato in foresta non dovrebbe superare il 50% - 60% del peso;
- dimensioni delle particelle, che devono essere omogenee e compatibili con il sistema di alimentazione della centrale termica (dimensioni standard 40 x 20 x 10 mm);
- materiale di origine, da cui dipendono alcune caratteristiche della materia prima molto importanti ai fini energetici
- Contenuto in ceneri che ai fini della classificazione di qualità secondo norma UNI EN ISO non deve superare il 3% s.s.. Qualora questa classificazione non fosse necessaria le ceneri, soprattutto quelle leggere (o flying ashes) devono essere monitorate e ridotte tramite appositi sistemi di filtrazione sotto i limiti imposti dal T.U. ambientale D.lgs 152/2006.

Il cippato di legno, a seconda delle caratteristiche, del materiale di origine e di eventuali lavorazioni, può avere due finalità: produzione di energia elettrica e produzione di energia termica. Entrambe le finalità svolgono un ruolo fondante nella transizione energetica. L'utilizzo termico ricopre il primo

posto come rinnovabile, contribuendo al 24% del fabbisogno nazionale (86 TWh), mentre l'utilizzo elettrico soddisfa il 1,4% totalizzando 4TWh di produzione. (Dati GSE, 2019)

Va sottolineato che in Italia il cippato ad uso domestico (così come altri tipi di cippato) può essere oggetto di certificazione di terza parte nell'ambito di specifici schemi, come ad esempio la certificazione "biomassplus" sviluppata e gestita da AIEL² (Associazione Italiana Energie Agroforestali) i cui audit e controlli sono in capo ad ENAMA³ (Ente Nazionale Meccanizzazione Agricola), ed è dunque un prodotto controllato e a tutti gli effetti analogo ad altre tipologie di biomassa in termini di qualità e omogeneità. Inoltre, essendo derivato da scarti di lavorazioni primarie, il cippato presenta anche altri vantaggi non comuni agli altri di biocombustibili, come ad esempio: ridotte emissioni di polveri sottili, versatilità, risparmio, facile reperibilità, alta resa energetica e supporto alla gestione forestale sostenibile.

Per questo, negli ultimi anni, nonostante un insieme di fattori sfavorevoli come la disinformazione e l'alta concorrenza da parte di altre tipologie di biomassa, che fanno sì che anche i produttori e rivenditori si concentrino nel fornire soluzioni più comuni e richieste, anche le caldaie residenziali a cippato stanno lentamente ritagliandosi la loro fetta di mercato nazionale e troveranno indubbiamente lo spazio che meritano (Agriforenergy 2, 2020).

A livello generale, le principali tecnologie utilizzate per la produzione di energia da cippato, con i relativi mercati di riferimento, sono:

- Grandi centrali elettriche;
- Impianti di teleriscaldamento;
- Mini reti e caldaie a uso domestico.

Inoltre, in funzione del livello qualitativo e della provenienza della materia prima (agroforestale, industriale), il mercato è segmentato differenziando:

- Cippato agroforestale di elevata qualità (A1 e A2) che è indirizzato ai piccoli e medi impianti;
- Cippato agroforestale di bassa qualità (B) che è indirizzato alle centrali elettriche di elevate dimensioni e agli impianti di teleriscaldamento;
- Cippato industriale (segherie) che è indirizzato alle centrali elettriche e al teleriscaldamento (AIEL, 2010) o, se opportunamente trasformato (vagliatura ed essiccazione), anche ad impianti di piccola media taglia.

²<https://www.aielenergia.it/>

³<https://www.enama.it/it/s/index.jsp>

Oltre al cippato forestale, anche i residui derivanti dalle potature urbane e delle coltivazioni legnose agrarie possono costituire una fonte di approvvigionamento di cippato per impieghi ad uso energetico. Seppure al di fuori della filiera oggetto di studio, si evidenzia che il cippato di origine agricola risulta essere una fonte rilevante ai fini della produzione di energia. Considerando, infatti, le sole coltivazioni legnose di natura arborea, è possibile stimare in circa 3,4 milioni di tonnellate la quantità di residui legnosi potenzialmente utilizzabili a fini energetici prodotta ogni anno in Italia (ENAMA, 2011).

3.2 Impatto socio-economico della filiera

3.2.1 Produzione nazionale e dati di import-export

Secondo i dati riportati Global Forest Resource Assessment (2015)⁴ pubblicato dalla Food and Agriculture Organization (FAO) delle Nazioni Unite, il patrimonio forestale italiano corrisponde a poco più di 11 milioni di ettari, che corrisponde a circa il 37% dell'intera superficie nazionale. Tra il 1990 e il 2015 la superficie forestale italiana, comprensiva di bosco e altre terre boscate, è aumentata del 22%, a fronte di un incremento di poco più del 5% rilevato nello stesso arco di tempo per l'intera Unione Europea (UE-28). Da quanto emerge invece dal Rapporto sullo stato delle foreste e del settore forestale in Italia (RAF, 2019), la superficie annualmente sottoposta a utilizzazione risulta inferiore al 2% della superficie forestale totale, con un prelievo legnoso nazionale stimato in circa a 9.000.000 m³/anno nell'ultimo decennio, di cui la maggior parte (66%) è costituito da legna da ardere. Dati analoghi, ma espressi in termini di percentuale di tagli sulla ripresa (ovvero di tagli rispetto alla ricrescita annuale del bosco), mostrano per il nostro Paese valori del 18-34% (a fronte di valori dell'ordine del 62% per l'UE), indicando una situazione in cui l'approvvigionamento in loco è marginale rispetto alle importazioni.

Di fatto quindi, come riportato anche dalla banca dati COMTRADE⁵, banca dati prodotta dall'ufficio statistico dell'ONU contenente le statistiche del commercio internazionale relative a più di 230 Paesi, l'Italia risulta essere uno dei Paesi caratterizzati da un significativo import di prodotti legnosi, piazzandosi in particolare al settimo posto per l'importazione di "legna da ardere (esclusi i rifiuti di

⁴ <http://www.fao.org/forest-resources-assessment/past-assessments/fra-2015/en/>

⁵ <https://comtrade.un.org/pb/>

legno) e carbone di legna” e al sesto posto per l’importazione di “legno in trucioli o particelle e scarti di legno”.

Per quanto riguarda gli impieghi energetici, inoltre, secondo l'Eurobarometro delle biomasse solide 2020, recentemente pubblicato da EurObserv'ER (EurObserv'ER, 2020), consumo di energia da biocombustibili solidi è aumentato del 2,2% nel 2019, raggiungendo i 102,6 Mtep (Milioni di tonnellate equivalenti di petrolio) nei paesi dell'UE28, con l'Italia che rappresenta il quinto consumatore in termini di energia primaria.

In accordo a quanto appena illustrato, considerando i consumi di biomassa legnosa in Italia nell’ordine di circa 20-25 milioni di t/anno, è possibile stimare che circa ai 5-6 milioni di t/anno derivino dalla produzione nazionale di biomassa, ovvero da operazioni di taglio dei boschi e, in misura molto minore, da colture arboree dedicate come il pioppo, mentre i restanti quantitativi (15-20 mln t/anno) sono rappresentati da importazioni.

Da uno studio svolto nel 2012, risulta che la terra arabile in Italia per Short Rotation Forestry⁶ è di circa 5.000 ettari, ed è costituita principalmente da piantagioni di pioppo con un ciclo di taglio di 2 anni e, considerando più nello specifico la filiera del cippato, la produzione corrispondente è di circa 50.000 tonnellate di sostanza secca all'anno che sarà destinata a differenti impieghi (Eurostat, 2012), questo dovuto alla forte concorrenza che la SRF soffre nei confronti di altre colture agricole fortemente più redditizie.

Un utilizzo a cascata del legname nelle attività produttive del paese, facendo fronte ai criteri caratteristici della bioeconomia, favorisce:

- La riduzione dell’intensità d’impiego delle materie prime grezze, che trovandosi alla base della produzione di altri beni dovrebbero subire differenti lavorazioni e processi industriali;
- Il miglioramento dell’efficienza, permettendo di potenziare i risultati ottenuti dai prodotti in utilizzo;
- L’estensione del ciclo di vita dei prodotti, incrementando le fasi di evoluzione degli stessi e consecutivamente il loro utilizzo;
- L’impiego delle biomasse a fini energetici.

Di fatto, però, permane ampiamente presente l’importazione, il che è una condizione paradossale in quanto: da un lato il sistema ha, cosa certamente positiva, un’elevata circolarità, dall’altra c’è

⁶<https://www.pefc.it/>

l'aspetto negativo legato alla non ottimale valorizzazione delle risorse forestali del paese (Marchetti et al., 2018).

Si consideri ad esempio la zona del Triveneto, che attualmente sta recuperando grandi quantità di legname servendosi del materiale legnoso derivante dalla tempesta "Vaia" manifestatasi in modo estremo nel Nord-est italiano, ma allo stesso tempo la "situazione normale" in cui grandi centrali termoelettriche del nostro paese si riforniscono del materiale necessario importandolo dall'estero. Pertanto, per far chiarezza su quelle che è l'evoluzione nell'ambito italiano è necessario considerare anche i dati a livello europeo e secondo l'Eurobarometro delle biomasse solide 2018, recentemente pubblicato da EurObserv'ER, il comparto europeo delle biomasse solide ha sfiorato nel 2017 i 100 Mtep (Milioni di tonnellate equivalenti di petrolio) di energia primaria, derivante da legna, cippato, pellet.

L'Italia è il quarto consumatore in termini di energia primaria, ma non precisamente il più virtuoso. I "Top five" della classifica europea, invece, sono: Germania (12,4 Mtep), Francia (10,8 Mtep), Svezia (9,3 Mtep), Italia (9 Mtep) e Finlandia (8,6 Mtep).

Tutti autosufficienti nella produzione di biomasse, tranne l'Italia e la Germania, che importano rispettivamente 1,3 e 0,4 Mtep (Rosato A., 2017).

3.2.2 Impatto socio-economico e sul territorio

L'Italia rappresenta a tutti gli effetti uno dei più importanti Paesi del mondo nella trasformazione del legname ed utilizzo dei suoi residui e la "filiera legno" nel suo complesso, genera l'1,6% del PIL e dà lavoro ad oltre 300.000 persone, senza considerare l'indotto (ISTAT, 2012).

Per quanto riguarda l'impiego di biomasse ai fini energetici, dati del Ministero dello Sviluppo Economico mostrano come la produzione di energia elettrica da biomasse solide ha generato nel 2018, tramite il complesso degli investimenti e delle spese di O&M, un valore aggiunto per l'intera economia pari 273 milioni di €, con un numero complessivo di 3.767 occupati permanenti (diretti + indiretti). Analogamente, per quanto riguarda la produzione di energia termica, le tecnologie a biomasse solide (stufe e termocamini a pellet e legna), ha generato un valore aggiunto di 1.565 mln €, con un numero di occupati permanenti diretti e indiretti pari a 18.345 (MiSE, 2020). Dati AIEL (AIEL, 2021b) indicano che, considerando l'intera filiera "dal bosco al camino", le imprese coinvolte sono circa 14.000, per un fatturato complessivo di oltre 4 miliardi di euro e circa 72.000 occupati nel settore (43.000 circa diretti e 29.000 circa legati all'indotto).

Tuttavia, dai dati riportati nella sezione precedente, è evidente come la promozione di un uso sostenibile delle risorse legnose nazionali potrebbe avere ulteriori ricadute positive sia in termini economici che occupazionali (oltre che benefici per quel che riguarda lo spopolamento delle aree montane e rurali), nonché promuovere lo sviluppo di un comparto industriale – come è quello della meccanizzazione forestale e della produzione di biocombustibili solidi – in cui il nostro Paese vanta una lunga esperienza e la presenza di importanti realtà settoriali.

L'utilizzo virtuoso e sostenibile del cippato locale, in sostituzione sia del cippato che delle fonti fossili di importazione, come dimostrato da studi abbastanza recenti (Agriforenergy 3, 2015; Neri E. et al., 2014), consente infatti di sostituire energia “a bassa intensità occupazionale” con energia rinnovabile ad “elevata intensità occupazionale”, con conseguenti benefici sociali ed economici ma anche con vantaggi significativi in termini di indipendenza energetica e salvaguardia dei piccoli territori.

Tra l'altro il trasporto della biomassa, per quanto possa in certe condizioni permettere una parziale riduzione dei costi di approvvigionamento della materia prima, è caratterizzato impatti ambientali e incidenti lungo la filiera che aumentano significativamente all'aumentare della distanza che si interpone tra bosco e centrale (Ferreira J. et al., 2014).

In media, è possibile stimare che le filiere bioenergetiche basate su materia prima legnosa locale, creano 7,5 volte più occupazione rispetto all'utilizzo di gasolio e ben 15 volte in più di occupazione rispetto all'utilizzo di combustibili fossili gassosi (GPL e gas naturale) (Agriforenergy 3, 2015).

Pertanto, al fine di ottimizzare l'utilizzo sostenibile della risorsa legnosa, è auspicabile orientare i modelli di sviluppo verso quegli approcci che meglio rappresentano il principio della “generazione distribuita e diffusa”, nell'ottica di minimizzare il trasporto su gomma del legname e di cogliere il più possibile le potenzialità dislocate sul territorio.

A tale riguardo, un'azione strategica è rappresentata anche dalla riduzione della domanda di biomassa, così da poter limitare i quantitativi importati e valorizzare al meglio le risorse interne per soddisfare i fabbisogni. Tale riduzione è strettamente legata alla diminuzione dei consumi energetici e, quindi, all'efficienza energetica di edifici ed impianti. In quest'ottica, si pensi ad esempio che una graduale sostituzione dei vecchi impianti di riscaldamento con altri tecnologicamente più avanzati, sia caldaie centralizzate sia apparecchi domestici, potrebbe portare ad aumentare i rendimenti di combustione da una media del 50% circa a valori prossimi al 90% per tecnologie di nuova generazione (Agriforenergy, 3-4, 2018), con conseguente notevole risparmio di combustibile.

3.3 Impatti ambientali e strumenti di sostenibilità

Il principale beneficio di carattere ambientale derivante dall'impiego delle biomasse ai fini energetici è connesso alla sostituzione delle fonti fossili con fonti rinnovabili. Ciò si traduce sia in una riduzione dell'impiego di fonti fossili, che per loro natura sono esauribili, sia in termini di riduzione delle emissioni inquinanti prodotte dal processo di combustione (Guercio A., 2011). Infatti, sebbene anche la combustione delle biomasse generi emissioni inquinanti in atmosfera, in linea generale, esse sono generalmente in quantità minore e di natura differente rispetto a quelle generate dalla combustione delle fonti fossili. Per tale motivo l'impiego di biomasse sono stato indicato come una delle strategie per la mitigazione dei cambiamenti climatici in atto e, più in generale, per la riduzione degli impatti ambientali connessi all'impiego delle fonti energetiche di origine fossile.

Le biomasse possono contribuire alla mitigazione degli effetti dell'aumento della concentrazione di anidride carbonica (CO₂) in atmosfera in due modi:

- Sostituendo le fonti fossili nella produzione di energia;
- Immagazzinando la CO₂ atmosferica nei tessuti, le biomasse contribuiscono infatti alla sottrazione dell'anidride carbonica atmosferica e alla fissazione del carbonio nei tessuti vegetali, sia negli apparati epigei (tronchi, steli) sia negli apparati ipogei (apparati radicali annuali o perenni) per effetto fotosintetico.

Le biomasse sono fonti energetiche considerate neutrali ai fini dell'effetto serra in quanto la loro combustione non comporta un incremento della concentrazione atmosferica di CO₂. Il ciclo della CO₂ è infatti chiuso, poiché la quantità di anidride carbonica emessa in fase di combustione equivale a quella assorbita dai vegetali durante il processo di crescita, pertanto il bilancio diretto è neutro (Guercio A., 2011).

A tal riguardo, è bene sottolineare che l'assunzione di "carbon neutrality" è utilizzata anche ai fini degli inventari nazionali dei gas a effetto serra della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) e, sulla base delle indicazioni del gruppo di esperti intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC), le emissioni e gli assorbimenti di CO₂ forestali sono stimati sulla base delle variazioni dei pool di carbonio (biomassa viva, lettiera, suolo, prodotti in legno) e contabilizzate nel settore Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF) (Virdis M. et al., 2007). Tuttavia, negli ultimi anni il concetto di neutralità della CO₂ delle biomasse è stato rivisto e analizzato con maggior dettaglio, mettendo in evidenza gli aspetti indiretti (uso del suolo), logistici e di

trasporto, che essendo a tutti gli effetti sorgenti di emissione di CO₂, vanno comunque considerati nel bilancio totale di emissioni di gas serra in atmosfera.

Tali aspetti risultano rilevanti anche per quanto concerne la filiera del cippato forestale. I principali fattori di emissione, infatti, sono rappresentati dalle macchine impiegate nelle fasi di taglio, allestimento (sramatura, depezzatura, scortecciatura), concentramento (trasporto fino al punto di raccolta per il trasferimento fuori foresta) ed esbosco.

In modo particolare, l'impatto che maggiormente ripercuote sull'ambiente è quello del trasporto di tale biomassa e i contributi sono dovuti a (Viridis M. et al., 2007):

- densità del cippato trasportato;
- modalità di trasporto;
- capacità dei singoli mezzi e distanza tra il luogo di produzione e il sito destinazione.

Per questo, anche ai fini di contenimento dell'impatto ambientale, lo sviluppo di filiere locali in grado di produrre, trasformare e consumare la biomassa in ambiti territoriali quanto più circoscritti risulta particolarmente strategico.

Tuttavia, uno studio del JRC del 2014 "Carbon accounting of forest bioenergy" (JRC, 2014), evidenzia che nel caso di utilizzo di biomassa legnosa a fini bioenergetici in relazione alla volontà di ridurre le emissioni europee di CO₂, l'assunzione di "carbon neutrality" non sarebbe in generale più così valida in quanto la raccolta di legna per bioenergia provoca una diminuzione dello stock di carbonio forestale, non recuperabile in breve tempo a causa del ciclo di vita della vegetazione. Ciò porta ad un aumento temporaneo della CO₂ atmosferica nel breve-medio periodo e conseguente riscaldamento globale. Lo stesso avviene nel caso in cui la CO₂ emessa sia molto di più di quella fissata nello stesso periodo, cioè nel caso in cui il tasso di prelievo di risorsa biomassa sia superiore al suo tasso di rinnovo.

Inoltre, l'assunto della neutralità carbonica, come per tutti gli altri combustibili, andrebbe qualificato sulla base di una analisi di ciclo di vita del prodotto o della sua "carbon footprint", che consideri non solo le emissioni dirette e quelle indirette (Indirect Land Use Change o ILUC) ma anche quelle effettuate per produrlo e nel trasportarlo.

Pertanto, è ragionevole affermare che l'utilizzo dei biocombustibili legnosi a scopo energetico è anch'esso responsabile di emissioni di CO₂ e di polveri sottili (Johnson E., 2009, Bracmort K., 2015) e anche il recente report inerente i dati ambientali della filiera dall'esbosco alla produzione di energia sviluppato da AIEL (AIEL, 2020) evidenzia emissioni non neutrali. Dai dati raccolti relativi ai consumi per la produzione e l'utilizzo di cippato di legno, dalla pianta fino alla bocca della caldaia, è

emerso come il cantiere forestale (abbattimento ed esbosco) all'interno della filiera di produzione sia responsabile di circa il 20% delle emissioni totali. È necessario comunque sottolineare, anche in accordo a quanto precedentemente esposto, che il parametro più critico su cui è fondamentale agire è il trasporto, che dipende direttamente dalla logistica, ovvero dalle distanze fra cantiere, centro di stoccaggio e impianto di utilizzo finale: l'emissione di CO₂ imputabile al trasporto varia, infatti, dal 22% al 52% sul totale delle emissioni (AIEL, 2020).

Anche dal punto di vista ambientale, pertanto, è evidente che il sostegno alla produzione di cippato dovrebbe essere indirizzato alla produzione interna e locale, in modo da produrre benefici per una miglior gestione delle aree forestali italiane, e per la creazione di filiere il più possibile corte (Agriforenergy, 2/2020).

3.3.1 Norme tecniche

Nell'ambito del quadro definito dal D. Lgs, 152/2006 e, in particolare, dalla parte V relativa alla tutela dell'aria e alla riduzione delle emissioni in atmosfera – che si divide in tre titoli, uno dei quali specificatamente mirato alla disciplina degli impianti termici civili con potenza nominale inferiore ai 3 MW – allo stato attuale, le normative tecniche di riferimento per i combustibili solidi sono il pacchetto normativo UNI EN ISO 17225 (“Biocombustibili solidi - Specifiche e classificazione del combustibile” e il pacchetto normativo UNI EN 15234 (“Biocombustibili solidi - Assicurazione di qualità del combustibile”).

Con particolare riferimento al cippato, i riferimenti sono costituiti da:

- UNI EN ISO 17225-4 (UNI, 2021): versione ufficiale della norma europea EN ISO 17225-4, la norma determina le specifiche e la classificazione del cippato di legno, riferendosi solo al cippato di legno ottenuto dalle seguenti materie prime:
 - » Bosco, piantagione e altro legno vergine;
 - » Prodotti e residui dell'industria di lavorazione del legno;
 - » Legno da recupero non trattato chimicamente;
- UNI EN 15234-3 (UNI, 2012): norma che definisce le procedure per rispettare i requisiti di qualità (controllo di qualità) e descrive le misure per assicurare in maniera adeguata che le specifiche, descritte nella UNI EN 14961-3 e poi modificate e assorbite dalla UNI EN ISO 17225, siano rispettate (assicurazione di qualità). La norma interessa tutta la filiera produttiva, dalla fornitura della materia prima al punto di consegna all'utente finale e, in particolare, il cippato presenta una suddivisione in 4 classi: A1, A2, B1 e B2, tutte relative al

combustibile per uso non industriale. Per ogni classe definisce delle specifiche chimico-fisiche sulla base di alcune grandezze considerate rilevanti.

3.3.2 Pubblica amministrazione – appalti e forniture verdi di energia da cippato forestale

Le possibilità d'impiego del cippato, come in precedenza evidenziato, possono essere molteplici e ad oggi, il suo utilizzo, rientra anche nell'interesse della pubblica amministrazione per appalti e forniture verdi di energia.

Il Green Public Procurement, ovvero Acquisti Verdi nella Pubblica Amministrazione, è uno strumento di politica ambientale che intende favorire lo sviluppo di un mercato di prodotti e servizi a ridotto impatto ambientale, contribuendo, in modo determinante, al raggiungimento degli obiettivi delle principali strategie europee (EAI, 2019) e l'Italia è stato il primo paese europeo a rendere obbligatorio il GPP negli acquisti pubblici, con l'individuazione di "criteri ambientali minimi" (CAM).

Tali "Criteri Ambientali Minimi" (CAM) rappresentano i requisiti ambientali definiti per le varie fasi del processo di acquisto nella pubblica amministrazione, volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo tutto il suo ciclo di vita. La loro applicazione sistematica ed omogenea consente di diffondere le tecnologie ambientali e i prodotti ambientalmente preferibili, inducendo gli operatori economici meno virtuosi ad adeguarsi alle nuove richieste della pubblica amministrazione (EAI, 2019).

In Italia, l'efficacia dei CAM è stata assicurata grazie all'art. 18 della L. 221/2015 e, successivamente, all'art. 34 recante "Criteri di sostenibilità energetica e ambientale" del D.lgs. 50/2016 "Codice degli appalti" (modificato dal D.lgs 56/2017), che ne hanno reso obbligatoria l'applicazione da parte di tutte le stazioni appaltanti. Tali criteri, aventi lo scopo di rendere "verdi" gli appalti, costituiscono il riferimento per le stazioni appaltanti che vogliono ottemperare a quanto previsto dall'art. 68, c.1, del D.Lgs. 163/06 che stabilisce le "Specifiche tecniche" (PAN GPP, 2015).

Nel PAN GPP uno degli oggetti d'appalto presenti nella categoria "Servizi urbani e al territorio" prevede la progettazione di spazi ricreativi e fornitura dei relativi articoli a minori impatti ambientali, all'interno del quale rientra anche l'utilizzo del cippato. Infatti, per quanto previsto dalla sezione "specifiche tecniche" gli spazi destinati a parchi gioco, dovranno essere allestiti con elementi in legno, a base di legno o composti anche da legno, conformi ai criteri ambientali precedentemente descritti e/o in plastica, in gomma, in miscele plastica-gomma, in miscele plastica-legno. Ma, in particolare, le piattaforme antitrauma devono essere realizzate preferibilmente con materiali

naturali derivanti da operazioni di recupero, per esempio pavimentazioni antitrauma realizzate con cippato di diversa origine o con corteccia (PAN GPP, 2015).

Allo stesso modo, sempre previsto dal PAN GPP vi è l'oggetto di un ulteriore appalto che si occupa della dell'affidamento del servizio di illuminazione e forza motrice negli edifici. Quest'ultimo prevede che l'appaltatore non fornisca energia elettrica utilizzando combustibili fossili solidi, ma la fornitura annuale deve essere costituita almeno per il 30% da energia da fonti rinnovabili, le cui fonti energetiche rinnovabili costituite da biomassa o biogas devono essere prodotte in una filiera corta che non disti per oltre un raggio di 70 km dall'impianto per l'energia (CAM).

3.3.3 Principali certificazioni ambientali

Le certificazioni ed etichette ambientali forniscono al consumatore (finale o intermedio) informazioni sulla qualità ambientale del prodotto, del servizio offerto o del complesso delle attività di produzione e commercializzazione dell'organizzazione.

Pur non avendo il cippato forestale una sua etichetta di qualità ambientale specifica, diverse sono le certificazioni e sistemi di etichettatura di interesse per il settore e per la risorsa naturale di cui è costituito. Nel caso del cippato forestale, risulta infatti particolarmente rilevante la sostenibilità dell'utilizzo della risorsa "foresta". La "gestione forestale sostenibile" viene definita sulla base di criteri e indicatori, ovvero parametri qualitativi e quantitativi che, periodicamente valutati (misurati o osservati), permettano di analizzare le performance ambientali e la sostenibilità dei sistemi di gestione forestale.

Tra le certificazioni maggiormente rilevanti per il settore forestale si riscontrano PEFC e FSC, che sono anche quelle più diffuse in Italia.

Lo **schema di certificazione forestale PEFC** è un'iniziativa promossa da proprietari forestali e dal settore dell'industria, a partire dal 1998, in alternativa ad altri sistemi di certificazione, ritenuti inadeguati soprattutto per la certificazione delle proprietà forestali di ridotta dimensione. Il fine dell'iniziativa volontaria è quello di fornire un quadro di riferimento comune per garantire il riconoscimento delle diverse forme di gestione forestale sostenibile a livello nazionale e regionale. Tale sistema ha, dunque, l'obiettivo di fornire al consumatore la garanzia che i prodotti contrassegnati PEFC provengano da proprietà, imprese ed enti che applicano una gestione forestale particolarmente attenta agli aspetti ambientali, sociali ed economici. In particolare, la certificazione PEFC, nella fase produttiva si caratterizza con lo schema GFS - Gestione Forestale Sostenibile (Sustainably Managed Forest) e l'organizzazione che intende certificarsi deve implementare un

sistema gestionale che si faccia carico dei criteri e degli indicatori PEFC. Nella fase di trasformazione del prodotto certificato, invece, con lo schema CoC - Catena di Custodia (Chain of Custody) e l'organizzazione che intende certificarsi deve garantire la rintracciabilità della materia prima legno certificata all'interno del processo di trasformazione, e mantenere inequivocabile la provenienza da foreste certificate (www.pefc.it).

FSC (Forest Stewardship Council) è un'organizzazione internazionale non governativa, indipendente e senza scopo di lucro, nata nel 1993 per promuovere la gestione responsabile di foreste e piantagioni. Include tra i suoi membri ONG e gruppi ambientalisti, sociali, proprietari forestali, industrie che commerciano e lavorano il legno e la carta per un totale di quasi 900 membri. Il marchio FS, dunque, identifica i prodotti contenenti legno proveniente da foreste gestite in maniera corretta e responsabile secondo rigorosi standard ambientali, sociali ed economici. FSC Italia nasce nel 2001 e ha assunto un ruolo di primo piano nel mercato dei prodotti forestali quali legno, carta e prodotti non legnosi (come ad esempio il sughero), collocando il nostro paese al quinto posto nella classifica internazionale di certificazioni FSC della Catena di Custodia. In particolare FSC si caratterizza di due tipi di certificazione: la certificazione di Gestione forestale, per proprietari e gestori forestali, e la certificazione di Catena di custodia, per imprese di trasformazione e/o commercio di prodotti forestali (www.fsc-italia.it).

Confrontando nel dettaglio PEFC e FSC è possibile rilevare similitudini e differenza tra i due sistemi, infatti, entrambi evidenziano l'obiettivo di promuovere una gestione sostenibile del patrimonio boschivo del pianeta e per fare questo si sono dotati di uno strumento pratico: un sistema di certificazione volontario e indipendente, specifico per il settore forestale e i prodotti che derivano dalle foreste.

Allo stesso modo però mostrano delle divergenze, infatti, differiscono per il livello delle pratiche di gestione forestale che deve essere raggiunto e due sono le tipologie di standard che possono essere perseguiti:

- Standard di prestazione che identificano i livelli o risultati che devono essere raggiunti nella gestione di una foresta;
- Standard di sistema in cui non viene definito un livello minimo di risultati, ma degli obiettivi e il modo con il quale l'organizzazione intende raggiungerli.

A tal riguardo, FSC rientra in uno standard che definisce dei livelli di prestazione applicati da punto di vista internazionale e valido in tutti i paesi in cui le aziende o gli enti che decidono di adottare

questo schema. PEFC, invece, approva e riconosce schemi nazionali e contiene elementi propri di uno standard di sistema.

Attualmente in Italia sono certificati 954.465 ettari di foresta, che corrispondono all' 8,5% della superficie totale a bosco; 889.032 con lo schema PEFC⁷ e 65.433 con quello FSC⁸ (PEFC-FSC, 2020).

Riguardo gli ettari di foreste certificate PEFC, comprensivi di boschi e pioppeti, si identifica nel 2020 un incremento di 8.000 ettari rispetto all'anno precedente. La parte più consistente della certificazione è rappresentata dal Trentino Alto-Adige, con 555.997 ettari, seguito da Friuli Venezia Giulia, con 92.016 ettari, e Veneto, con 74.360 ettari. Seguono quindi Lombardia, Piemonte, Toscana, Emilia Romagna, Basilicata, Marche e Umbria.

Risulta positivo anche il saldo delle aree certificate FSC in Italia, che sale a 65.433 ettari (+2,6%), per un totale di 18 certificati e ben 216 aziende coinvolte. Tra le regioni con maggior copertura troviamo Trentino-Alto Adige, Lombardia e Toscana; il Friuli-Venezia Giulia ospita invece il maggior numero di organizzazioni certificate per la gestione forestale responsabile.

Per quanto riguarda le certificazioni/etichette di prodotto, anche in un'ottica di supportare azioni di economia circolare, risultano di particolare rilevanza quelle basate su un approccio di ciclo di vita (ENEA, 2019):

- Etichette di tipo I (ISO 14024): Etichette ambientali sottoposte a certificazione di parte terza (es. Ecolabel), le quali dichiarano una superiorità ambientale del prodotto/servizio, attraverso il rispetto di criteri prefissati e valori soglia minimi;
- Etichette di tipo II (ISO 14021): Autodichiarazione da parte del produttore e si riferiscono ad una precisa caratteristica del prodotto. Non è richiesta una verifica di parte terza delle informazioni riportate;
- Etichette di tipo III (ISO 14025): L'etichetta viene definita 'Dichiarazione Ambientale di Prodotto' e viene realizzata sulla base di specifiche 'regole' per consentire il confronto degli aspetti ambientali di prodotti simili.

Il Life Cycle Assessment (LCA) è un metodo standardizzato dalle Norme UNI ISO 14040 (UNI, 2021) e 14044 (UNI, 2018) riconosciuto a livello internazionale come strumento funzionale per valutare i potenziali impatti ambientali del ciclo di vita di un prodotto, che pone l'attenzione sulla

⁷<https://www.pefc.it/>

⁸<https://it.fsc.org/it-it/certificazione>

caratterizzazione di tutti i flussi in entrata e in uscita, in termini di materiali, energia, rifiuti ed emissioni, e degli impatti ambientali associati, lungo l'intero ciclo di vita. Esso può quindi supportare l'analisi degli impatti e dei benefici associati alle soluzioni circolari con l'obiettivo di aumentare la sostenibilità degli attuali modelli di produzione e consumo (EAI,2019).

Uno studio di Life Cycle Assessment (LCA) o di Product Environmental Footprint (PEF), elemento cardine per la costruzione di un mercato unico per i prodotti verdi secondo il metodo sviluppato dalla Commissione Europea, consente di quantificare e valutare le performances ambientali di un prodotto con l'obiettivo di migliorare gli impatti sul ciclo di vita, dando una misura, tra i vari impatti ambientali, anche della sua Carbon Footprint (impatto ambientale in termini di riscaldamento globale dai un prodotto/servizio lungo il suo ciclo di vita) (EAI,2019).

Per quanto riguarda nel dettaglio la Carbon footprint, le Norme, i sistemi di certificazione e gli standard tecnici sono diversi, ed i principali riferimenti per classificazione, quantificazione e rendicontazione delle emissioni sono rappresentati dal:

- Greenhouse Gas Protocol Protocol (GHG protocol, 2015) e dalla ISO 14064 (UNI, 2019) per le organizzazioni;
- dall'ISO 14067 (2018) e PAS 2050 (2011) per il prodotto;

e permettono di dichiarare tramite una verifica di parte terza, il quantitativo di emissioni di carbonio equivalente potenzialmente emesso dal prodotto e dall'organizzazione lungo l'intero ciclo di vita.

In conclusione, un'opportunità per il settore è anche lo schema nazionale Made Green in Italy del Ministero della Transizione Ecologica ⁹, definito il 2 febbraio 2016 con l'entrata in vigore del Collegato ambientale alla Legge di stabilità 2016 (Legge 221/15) per legare la dichiarazione di sostenibilità dei prodotti alla loro "italianità ed entrato in vigore a giugno 2018. Tale schema, ed il marchio collegato, vogliono infatti rappresentare uno strumento per incrementare la competitività del sistema produttivo italiano nel contesto della crescente domanda di prodotti a elevato valore ambientale sui mercati nazionali e internazionali e, essendo applicabile anche ai semilavorati e ai prodotti intermedi, potrebbe rappresentare una potenziale certificazione di sostenibilità e qualità per il cippato forestale.

⁹MiTE – Ministero della Transizione Ecologica (<https://www.minambiente.it/>)

4 Gruppo di lavoro

Nella tabella sottostante è riportato il gruppo di lavoro che ha contribuito al presente studio.

| Nome | Ente/ impresa | Tipologia | Sito web/contatti |
|--|--|--------------------------------------|--|
| Caterina Rinaldi (coordinatrice attività Legno Arredo progetto Arcadia) | ENEA | Centro di ricerca | https://risorse.sostenibilita.enea.it/structure/rise caterina.rinaldi@enea.it tel: 051-6098388 |
| Flavio Scrucca (responsabile studio di filiera del cippato) | ENEA | Centro di ricerca | https://sostenibilita.enea.it/structure/sec/flavio.scrucca@enea.it tel: +39 0831 201 592 cell: +39 349 3530876 |
| Elisa Morara (supporto all'analisi ambientale ed economica del settore) | Università di Bologna | Università | https://www.unibo.it/it/elisa.morara5@studio.unibo.it |
| Andrea Argnani | AIEL - Associazione Italiana Energie Agroforestali | Associazione di categoria | https://www.aielenergia.it/gruppo-home-GPPB argnani.aiel@cia.it Tel +39 049 88 30 722 Cell +39 347 21 20 140 |
| Cigliani Mirco | Cigliani Primo | Impresa | https://ciglianiprimo.it ciglianimirco@libero.it Tel: 3382531855 |
| Samuele Giacometti | SaDiLegno | Impresa | www.sadilegno.it www.12tomany.net lacasa@sadilegno.it tel: 347 6093050 |
| Verio Solari | 12-to-Many | Consulente (Dottore forestale) | www.12tomany.net verio@uomoeoforesta.it |

Le aziende hanno scelto di partecipare al progetto ARCADIA e fornire il loro contributo allo studio di filiera, sia ai fini della valutazione/miglioramento delle prestazioni ambientali dei propri prodotti, anche in ottica di un possibile ottenimento di etichette ambientali (EPD, Made Green in Italy, ...), che per ragioni di visibilità nella banca dati e in altre iniziative di disseminazione legate alla partecipazione al progetto. Ci sono però anche ragioni specifiche legate a caratteristiche peculiari della filiera a supporto della volontà delle aziende di partecipare alle attività progettuali.

Per quanto riguarda il cippato forestale, in particolare, gran parte del prodotto utilizzato ai fini energetici è ad oggi di importazione, in particolare proveniente dall'Austria e dai paesi ex-Yugoslavia ed è caratterizzato da prezzi estremamente concorrenziali.

In tale contesto, la produzione di cippato forestale a livello locale (per arrivare poi anche ad un livello nazionale) come prodotto di qualità e con caratteristiche di sostenibilità “dichiarate”, assume quindi un interesse crescente e particolarmente strategico ai fini della penetrazione sul mercato. Allo stesso modo, l’implementazione di nuovi business legati alla valorizzazione di tale prodotto di qualità in una filiera corta legno-energia (ad esempio, attraverso l’impiego del medesimo in impianti di produzione di proprietà della stessa azienda produttrice per fornire un “servizio energia a km0”, valorizzazione del cippato in impianti di proprietà per la produzione e vendita diretta di calore) risulta di grande interesse per le imprese.

Inoltre, sempre nell’ottica di implementazione di una filiera legno-energia corta e sostenibile, l’analisi dell’impatto ambientale tramite metodologia LCA è stata individuata come strategica per la valutazione di fasi specifiche del processo produttivo (ad es. trasporto del combustibile “cippato forestale”) e la simulazione specifica di diversi scenari di riferimento per le medesime.

5 Ambito di applicazione dello studio

Il presente studio riguarda la filiera del cippato forestale prodotto in Friuli Venezia Giulia e, pertanto, può essere considerato rappresentativo, sia in termini geografici che tecnologici, di una filiera produttiva sviluppata in ambiente montano. Tale situazione è da ritenersi caratteristica del Nord-Est del nostro Paese, dove si trovano le più importanti fustaie produttive di legname da lavoro (legname da trancia e da sega, per paste e altro legname per uso industriale), ovvero di altre Regioni italiane in cui la produzione di biomassa legnosa avviene prevalentemente in aree montane (o assimilabili). Lo studio, in particolare, prende in considerazione due differenti prodotti ritenuti rappresentativi e particolarmente rilevanti per la filiera in relazione ad alcune sue caratteristiche peculiari, quali la “dimensione geografica” (carattere generalmente “locale”) e la “composizione di mercato” (ovvero, tipologie di prodotto più vendute ed utilizzate).

Il primo prodotto considerato è un **cippato di classe A**, ovvero un cippato forestale prodotto da tronchi o ramaglia priva di foglia e grossa dimensione (nel caso specifico di legno di abete), ritenuto di buona qualità sulla base della norma UNI ISO 17225-4 e rappresentativo delle classi A1 e A2 da essa individuate. Tale cippato è normalmente impiegato in impianti di piccole dimensioni, principalmente per la produzione di energia termica ma anche a fini cogenerativi.

Il secondo prodotto è invece un **cippato di classe B** secondo i criteri della norma UNI ISO 17225-4, ovvero un materiale che non subisce alcun tipo di lavorazione ulteriore oltre alla semplice cippatura, caratterizzato da un elevato contenuto idrico ed in ceneri. Tale cippato è principalmente impiegato

in grandi centrali (sia di produzione elettrica che cogenerative), in virtù sia della sua disponibilità in maggiori quantità e a costi inferiori, che della capacità di questi grandi impianti di compensare la scarsa qualità del combustibile grazie alla presenza di idonei sistemi di filtraggio dei prodotti gassosi della combustione.

Lo studio LCA è stato sviluppato in conformità alle norme ISO 14040-14044 (UNI, 2018; UNI, 2021), modellando il ciclo di vita dei prodotti in modo “attribuzionale”, ovvero riproducendo la catena di fornitura esistente e utilizzando processi di background rappresentativi del mix di consumo del mercato medio (JRC, 2010).

5.1 Funzione del sistema, unità funzionale e flusso di riferimento

L’unità funzionale (UF) utilizzata ai fini dello studio dei due prodotti considerati è **1 tonnellata di cippato**, disponibile all’impianto di produzione dell’energia. È stata scelta tale UF in quanto la tonnellata è una unità comunemente utilizzata come riferimento nel settore forestale e, in particolare, per i combustibili legnosi. Tale UF è stata utilizzata in vari studi identificati nella letteratura esistente e, inoltre, è ritenuta più idonea anche dalle aziende e dagli esperti di settore coinvolti nello studio di filiera.

Tale scelta è inoltre in linea con alcuni documenti metodologici relativi ai prodotti forestali disponibili, ovvero alle regole di categoria di prodotto “Basic products from forestry” (EPD, 2020), applicabile ai prodotti e le materie prime ottenute dalle attività forestali come legname, pasta di legno e combustibili legnosi.

In Tabella 1 sono riportati i dettagli relativi alla definizione dell’unità funzionale utilizzata nello studio.

Tabella 1 - Definizione unità funzionale

| Aspetti chiave | Dettagli da chiarire | Definizione UF dello studio |
|--|--|---|
| <i>Funzione fornita</i> | <i>Che cosa?</i> | Combustibile solido disponibile all’impianto di produzione dell’energia |
| <i>La quantità della funzione fornita</i> | <i>Quanto?</i> | 1 tonnellata |
| <i>Il livello di qualità della funzione atteso</i> | <i>Quanto bene la funzione viene espletata? (Non sempre applicabile/definibile)</i> | Qualità conforme alla UNI ISO 17225-4 |
| <i>La durata del prodotto</i> | <i>Per quanto tempo la funzione è espletata? (Non sempre applicabile/definibile)</i> | Non applicabile |

5.2 Confini del sistema

Ai fini dello studio LCA di filiera si è adottato un approccio “cradle-to-user”, ovvero un approccio che considera tutti i processi fino al “cancello aziendale” e la distribuzione del prodotto (mantenuta separata nell’analisi e nella presentazione dei risultati), e non le successive fasi di uso e fine vita (ad es. eventuali ulteriori lavorazioni/trattamenti eseguiti presso la centrale di produzione dell’energia e il processo di combustione del cippato nello specifico impianto). Tale scelta dei confini del sistema, che vanno dalla fase “in bosco” fino alla fase di consegna al cliente finale (centrale di produzione dell’energia) e, quindi, l’inclusione delle operazioni di trasporto per la distribuzione è ritenuta rilevante per le attività delle aziende di produzione del cippato e risponde al crescente interesse del mercato per una filiera di produzione locale e per una filiera legno-energia “corta”.

È esclusa dai confini del sistema la produzione di tutte le attrezzature e i macchinari utilizzati per le diverse attività del cantiere forestale. Vista la natura di tali oggetti, è più che ragionevole ipotizzare che il contributo fornito in termini di impatto al singolo cantiere sia trascurabile e, inoltre, la scelta, è in linea con alcuni documenti metodologici relativi ai prodotti forestali disponibili in letteratura (EPD, 2020; SCS, 2016). In accordo a tale scelta metodologica sono stati esclusi anche tutti i contributi delle infrastrutture relative ai dataset di background, ovvero tutti i contributi derivanti dalle infrastrutture incluse di default all’interno dei processi del database Ecoinvent utilizzati nel modello di calcolo.

Inoltre, in accordo con le indicazioni contenute nei documenti metodologici sopra citati, sono escluse anche le operazioni “accessorie”, quali i viaggi di lavoro e gli spostamenti degli operatori verso il cantiere forestale.

Per quanto riguarda la fase cosiddetta di “upstream”, sono stati esclusi l’accrescimento delle piante fino al momento del taglio e la produzione di fertilizzanti e pesticidi. In caso di una corretta gestione forestale è infatti ragionevole ipotizzare che il bosco si rigeneri naturalmente, attraverso una cosiddetta “rinnovazione naturale”, in cui la fase di taglio utilizza il soprassuolo esistente innesca la rinnovazione di quello futuro (tipo di governo del bosco compatibile con la produzione di legna da ardere o assortimenti vari di modeste dimensioni). Allo stesso modo, compatibilmente con tale modalità di gestione, è ipotizzabile che la crescita del bosco non richieda molte operazioni e un particolare uso di sostanze chimiche. Inoltre, in accordo ai documenti metodologici relativi ai prodotti forestali reperiti (EPD, 2020), gli impatti legati a cambiamenti nell'uso del suolo verificatisi più di 20 anni prima della valutazione non sono da considerare nello studio.

Compatibilmente con le scelte appena discusse, per la fase cosiddetta di “core”, sono state escluse tutte le lavorazioni connesse alla coltivazione e all’applicazione di fertilizzanti e pesticidi, così come la manutenzione delle attrezzature utilizzate in bosco. In quanto non sempre rilevanti, viste le diverse modalità di esbosco possibili e l’assenza di dati sia primari che secondari specifici, è stata esclusa dai confini del sistema anche la realizzazione e manutenzione della viabilità di cantiere.

Inoltre, sempre considerando una gestione forestale sostenibile, è lecito ipotizzare che lo stock di carbonio forestale associato all’accrescimento delle piante sia in equilibrio con le emissioni derivanti dal cambiamento di uso del suolo, ovvero che le emissioni e le rimozioni di anidride carbonica biogenica da e verso lo stock di carbonio forestale causate dalle attività di gestione forestale abbiano la stessa entità e, quindi, che le emissioni nette di anidride carbonica biogenica siano pari a zero (EPD, 2020).

Sulla base delle scelte appena descritte, nelle seguenti Figure sono forniti i diagrammi di flusso dettagliati dei due prodotti considerati nello studio (il trasporto all’impianto di produzione dell’energia è evidenziato in rosso nelle Figure in quanto ne è data evidenza separata nell’analisi e nella presentazione dei risultati).

Va precisato che, dal momento che la produzione del cippato di classe B è stata considerata come eseguita a partire da un sottoprodotto della produzione del cippato di classe A (rami derivati dalle operazioni di sramatura e depezzamento), ad esso sono stati associati flussi di input output della fase upstream e core tramite procedure di allocazione.

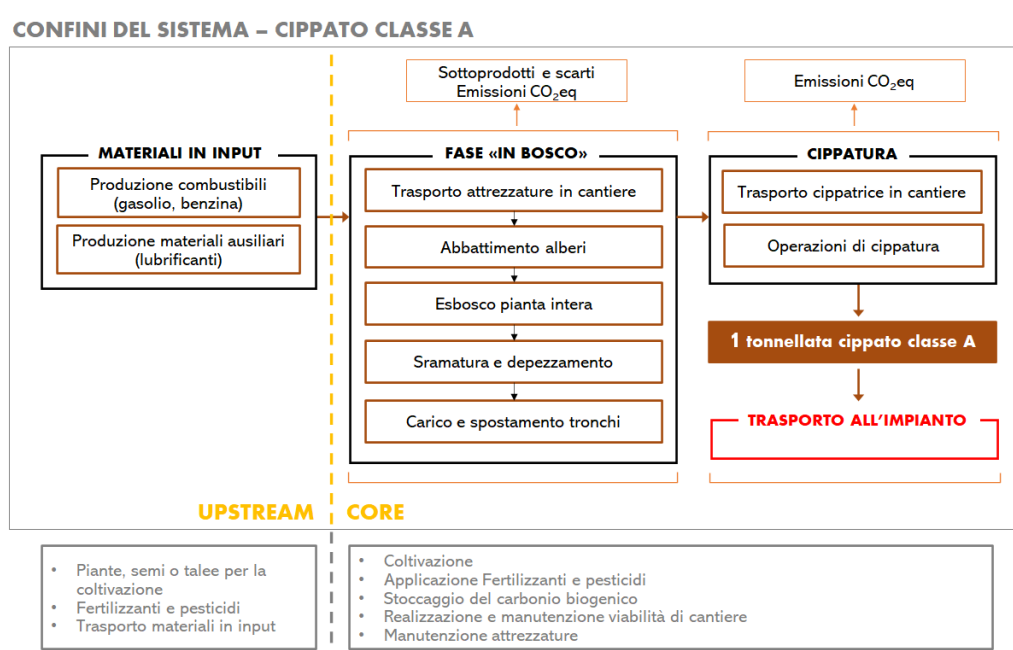


Figura 2 – Diagramma di flusso cippato classe A

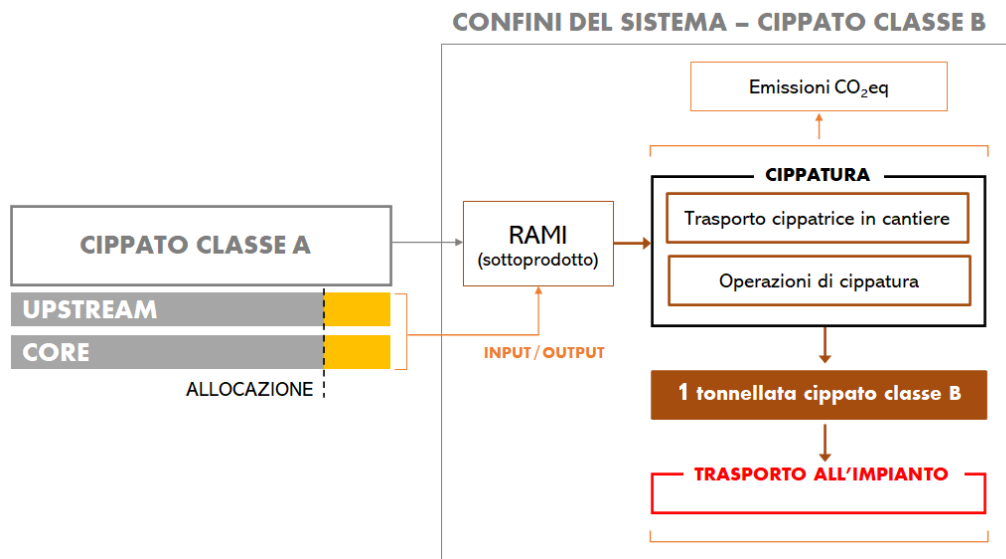


Figura 3 – Diagramma di flusso cippato classe B

5.3 Assunzioni e giudizi di valore

La modellazione del sistema analizzato è stata eseguita facendo ricorso sia a dati primari disponibili a livello di filiera, raccolti presso le imprese coinvolte nel GdL e relativi alla Regione Friuli Venezia Giulia, che a dati di letteratura e/o di settore rappresentativi di filiere di altre Regioni ritenute analoghe a quella considerata per caratteristiche dell'area geografica in cui si sviluppano (ambiente montano e assimilabile) e delle tecnologie in essa impiegate (tipologie di macchinari, attrezzature, ...).

I dati di inventario relativi alle quantità fisiche di materiali impiegati nei diversi processi sono dunque da ritenersi ragionevolmente rappresentativi della filiera oggetto di studio, in quanto a tutti gli effetti considerabili come dati medi della medesima.

La modellazione dei processi di trasporto è stata eseguita sulla base delle quantità fisiche (peso trasportato) e delle distanze medie, desunte da dati caratteristici di filiere di altre Regioni ritenute regionali analoghe a quella considerata.

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

- buona l'affidabilità dei dati (i dati sono in parte calcolati o provenienti da letteratura, ma tutti controllati da esperti);
- accettabile la rappresentatività temporale dei dati (nessun dato si riferisce a un periodo antecedente di 5 anni lo studio di filiera);

- buona la rappresentatività geografica dei dati (i dati riferiti a luoghi diversi da quello indicato nello studio di filiera, su base di giudizio esperto, sono del tutto rappresentativi del luogo geografico);
- molto buona la rappresentatività tecnologica dei dati (i dati descrivono in modo dettagliato la tecnologia attualmente presente sul mercato per la filiera di riferimento).

5.4 Gestione della multifunzionalità

Non sono individuabili problemi di multifunzionalità per i prodotti oggetto di analisi nel presente studio di filiera. Il cippato di classe B da rami, rappresenta infatti un prodotto realizzato da materiale residuo che non sarebbe altrimenti utilizzato per altri scopi diversi da quello energetico. Inoltre, la contestualizzazione della produzione di cippato all'interno di interventi di gestione forestale sostenibili, consente di ritenere anche il legname utilizzato per la produzione di cippato di classe A unicamente e correttamente destinato a tale funzione.

La multifunzionalità "interna" al sistema, ovvero la produzione di cippato di classe B a partire da un sottoprodotto della produzione del cippato di classe A, è stata gestita attraverso procedure di allocazione su base volume, facendo riferimento ai dati disponibili per altre filiere incluse nel progetto ARCADIA (semilavorati in legno massello per l'edilizia) risultati in linea con la letteratura, secondo cui i rami rappresentano l'8% del volume di legname destinato all'abbattimento (si veda anche paragrafo 7.1). L'allocazione ha riguardato tutti i flussi in input e output connessi alle fasi "in bosco", mentre alle operazioni di carico e spostamento dei tronchi e al processo di cippatura dei rami sono stati assegnati i dati medi di filiera reperiti per tali operazioni (in quanto lavorazioni aggiuntive rispetto alla produzione del cippato di classe A).

5.5 Revisione critica

Il presente studio di filiera ed il relativo modello LCA nel software SimaPro sono stati messi a disposizione per la revisione di parte terza, prevista all'interno del progetto Arcadia.

5.6 Modellizzazione e metodologia di analisi degli impatti

È stato scelto di utilizzare come metodo valutazione degli impatti il metodo EF 3.0 (Zampori e Pant, 2019), che costituisce il metodo di valutazione dell'iniziativa della Commissione Europea sull'impronta ambientale (EC, 2017) e che comprende caratterizzazione, normalizzazione e ponderazione.

Per lo svolgimento dello studio è stato utilizzato il software SimaPro versione 9 (SimaPro) contenente la banca dati commerciale Ecoinvent 3 (Wernet et al., 2016), da cui sono stati selezionati tutti i datasets utilizzati nella modellazione oltre a quelli della Banca Dati Italiana LCA del progetto Arcadia.

5.7 Informazioni ambientali aggiuntive

A livello globale la deforestazione è un problema concreto, anche se negli ultimi anni secondo i dati FAO (FAO, 2020) procede ad un ritmo più lento, con 10 mln ha all'anno convertiti ad altri usi nel periodo 2015-2020 rispetto ai 12 mln ha all'anno dei cinque anni precedenti. L'agricoltura e l'allevamento intensivi sono generalmente riconosciuti come la principale causa della deforestazione, ma anche il settore forestale ne è responsabile, attraverso la creazione di piantagioni e lo sfruttamento eccessivo del legname. Se la gestione del bosco da cui proviene il legno non è eseguita in maniera corretta è quindi possibile che l'attività di taglio del legname provochi sfruttamento eccessivo dell'area e un disboscamento non controllato, con una conseguente riduzione dell'assorbimento di CO₂ e perdita di biodiversità.

Considerato inoltre che le sostanze nutritive negli alberi sono localizzate principalmente nelle foglie, negli aghi e nei rami, lo sfruttamento di questi ultimi ai fini della produzione di cippato forestale può generare l'asportazione eccessiva di biomassa, che altrimenti resterebbe all'interno dell'ecosistema forestale garantendo l'apporto di nutrienti (Lutz, 2013). La biomassa legnosa non vivente lasciata a terra costituisce infatti parte della cosiddetta necromassa, il cui ruolo all'interno dell'ecosistema foresta è legato a diversi aspetti che vanno dal miglioramento della diversità naturale (costituendo riparo e sostentamento per numerose specie di organismi), allo stoccaggio e lento rilascio del carbonio e dei nutrienti e al rilascio (a seguito di decomposizione) di sostanze utili al suolo, alla sua fertilità e alla sua conservazione (Carbone, 2011).

Uno dei principali impatti "ecologici" associato all'utilizzazione forestale a "raccolta totale della pianta" è quindi la perdita di biodiversità e fertilità degli ecosistemi forestali.

D'altro canto, anche un'omogeneizzazione strutturale e compositiva dei popolamenti forestali, generalmente associata ad uno sfruttamento dei boschi per finalità commerciali, può in alcuni contesti esercitare effetti negativi a carico della biodiversità. Allo stesso modo, l'incuria e l'abbandono del bosco possono comportare degrado e banalizzazione di alcuni habitat, rendendoli non più idonei alla conservazione di comunità ricche e diversificate, con conseguente inefficace

protezione del suolo e perdita di conservazione della biodiversità (Marchetti et al., 2018; Legambiente, 2019).

Pertanto, se la produzione di cippato forestale a scopo energetico non è correttamente progettata ed eseguita, gli impatti ambientali possono essere tutt'altro che trascurabili; ma se invece essa è frutto di interventi di gestione forestale attentamente pianificati e controllati, l'impatto che la filiera ha sul bosco è da considerarsi positivo in termini di conservazione della diversità biologica dei suoli e di mantenimento dei servizi ecosistemici forniti dalle foreste.

Oltre agli impatti di tipo più "naturalistico" appena menzionati, è da evidenziare che la produzione di cippato forestale può generare anche altri impatti ambientali non valutabili tramite l'LCA, quali ad esempio l'emissione di polveri e l'inquinamento diretto del suolo (ad es. per perdite di carburanti ed oli), o altri impatti di tipo estetico-paesaggistico. Tuttavia, anche tali impatti possono essere considerati non rilevanti per la filiera se le operazioni associate alla produzione del cippato sono svolte in modo adeguato.

Alla luce di quanto detto è necessario sottolineare che la produzione di cippato forestale e, in particolare di quello derivante dalla gestione della biomassa "residua" delle operazioni in bosco (cippato di classe B prodotto da rami), è di norma inserita in interventi di gestione forestale opportunamente concepiti e realizzati, che non comportano dunque impatti rilevanti sugli ecosistemi forestali. Anzi, come evidenziato anche in letteratura (ad es. Magnani e Cantoni, 2005) la gestione sostenibile delle foreste e l'uso di biomasse legnose per la produzione di energia e di prodotti rinnovabili rappresentano probabilmente il più rilevante contributo degli ecosistemi forestali alla riduzione della concentrazione atmosferica di gas serra, non andando al contempo ad intaccare la capacità degli ecosistemi forestali di immagazzinare carbonio atmosferico nelle piante e nei suoli.

Si sottolinea che tutti gli effetti della gestione forestale non direttamente valutabili con metodologia LCA non sono stati oggetto di indagini nel presente studio di filiera.

6 Modellazione dei dataset della filiera

Il modello scelto per la creazione dei dataset per la banca dati di Arcadia è di tipo "attribuzionale", ovvero un modello che riproduce la catena di fornitura del prodotto oggetto di analisi utilizzando dati ed eventuali processi di background rappresentativi di una situazione media del mercato di riferimento. I dataset che saranno creati a partire dal presente studio di filiera sono relativi alla sola produzione, ovvero si riferiscono al prodotto in forma disponibile sul mercato (c.d. "market for") e

non includono dunque tutti i trasporti del prodotto finito alla sua destinazione finale di uso. Sono, invece, in linea generale incluse le operazioni di trasporto relative alla fase di produzione. Questa scelta è legata alle finalità di utilizzo della banca dati di Arcadia da parte di possibili utenti, che potranno associare ai dataset trasporti e/o utilizzi specifici del cippato.

Nonostante quanto appena esposto, le operazioni di trasporto, incluse quelle relative al prodotto finito presentate separatamente, rappresentano oggetto di analisi del presente studio e, in particolare, dell'analisi di sensitività.

I trasporti, infatti, costituiscono il principale parametro che caratterizza la filiera del cippato in termini di "caratteristiche geografiche" (filiera locale e non) e rappresentano anche il principale elemento di incertezza nell'ambito del presente studio LCA in quanto oggetto di assunzioni. In particolare, ai fini dell'analisi di sensitività, si è focalizzata l'attenzione sulla scelta del dataset di background per la modellazione del mezzo di trasporto, ma anche sul trasporto del cippato presso l'impianto di produzione dell'energia e sul trasporto delle attrezzature necessarie alla cippatura in cantiere (infatti, le distanze in gioco per tale fase possono variare in maniera apprezzabile nel caso di lavorazione da parte di terzisti o di lavorazione interna all'azienda che gestisce il cantiere forestale).

Una ulteriore analisi di sensitività è stata eseguita sulle operazioni "in bosco", operazioni rilevanti ai fini dell'impatto ambientale complessivo del processo di produzione del cippato forestale e per le quali si è notata una variabilità apprezzabile dei dati di inventario reperiti dalle varie fonti consultate. In questo caso, l'attenzione è stata posta esclusivamente sulle lavorazioni eseguite con le diverse attrezzature, e sono quindi state escluse dall'analisi le operazioni di trasporto in cantiere delle medesime, considerate invariate.

7 Analisi di inventario

Ai fini della raccolta dei dati primari presso le aziende, a seguito di una attenta analisi della filiera e di confronti interni al GdL, sono state messe a punto delle specifiche schede in grado di semplificare e sistematizzare la raccolta stessa. Tali schede di raccolta dati, predisposte su fogli di calcolo Microsoft Excel, sono dunque state condivise con le aziende e contestualmente è stata avviata una formazione "on the job" ai tecnici/referenti delle imprese riguardante la metodologia LCA e le modalità operative per effettuare la raccolta dei dati lungo la filiera.

La raccolta dei dati secondari, ovvero dei dati di letteratura e/o settore, è invece stata svolta sulla base di una revisione sistematica di report di settore, report di progetti preesistenti, studi LCA, Dichiarazioni Ambientali di Prodotto e altra bibliografia tecnico-scientifica, e di una analisi della relativa disponibilità/qualità dei dati relativi a materiali/componenti/processi in tali documenti contenuti.

Le principali carenze di dati primari hanno riguardato il processo di cippatura e, in particolare:

- trasporto in cantiere delle attrezzature per la cippatura;
- consumi energetici del processo di cippatura;
- trasporto del cippato agli impianti di produzione dell'energia.

I dati secondari contenuti nei documenti reperiti dalla revisione sistematica della letteratura, così come l'esistenza di processi condivisi (e, quindi, di dati di inventario analoghi) con altre filiere oggetto di valutazione nell'ambito delle attività progettuali (in particolare, filiera dei semilavorati in legno massello per l'edilizia), hanno tuttavia consentito di sopperire in maniera ragionevole a tali carenze di informazioni.

7.1 Assunzioni utilizzate nello studio

Come già accennato, le principali assunzioni utilizzate nello studio riguardano i processi di trasporto associati al cantiere di produzione del cippato forestale. A tale riguardo, in particolare, non è stato possibile reperire dati primari, e si è dunque proceduto attraverso ipotesi sulle distanze in gioco basate sulle evidenze della letteratura consultata, per i seguenti processi:

- Trasporto delle attrezzature necessarie alla cippatura presso il cantiere: è stata ipotizzata una distanza media di 50 km, per una cippatrice del peso di 16,5 tonnellate;
- Trasporto del cippato all'impianto di produzione dell'energia: è stato considerato un mezzo della portata di 16 tonnellate, una distanza media di 70 km per il cippato di classe A e una distanza media di 150 km per il cippato di classe B.

Tali assunzioni sono basate sulla letteratura tecnico-scientifica di riferimento e di dati caratteristici di filiera regionali analoghe e, in particolare, su:

- studi relativi a filiere regionali analoghe a quella oggetto di studio che indicano distanze medie variabili tra i 15 e gli 85 km (Botta e Derchi, 2012), distanze dell'ordine di 30 km come raggio di azione per le cippatrici di medie dimensioni (Veneto Agricoltura, 2010) e di 30-40

km come distanze massime ai fini di un contenimento razionale dei costi (Veneto Agricoltura, s.d.)

- studi sui cantieri forestali che indicano una distanza di trasferimento della cippatrice in giornata pari a 50 km (Grigolato et al., 2020);
- schede tecniche cippatrici (ad es. Pezzolato, 2021; Gandini, 2021);
- pubblicazioni scientifiche che forniscono distanze medie per il trasporto variabili tra 38 e 100 km (Ferreira et al., 2014; Perić et al., 2020)

Il materiale per la produzione del cippato di classe B, ovvero i rami derivati dalle operazioni di sramatura e depezzamento, è stato considerato come un sottoprodotto della produzione del cippato di classe A e, quindi, ad essi sono stati associati flussi tramite procedure di allocazione. In particolare, i flussi di input e output associati alla produzione dei rami sono stati calcolati con una allocazione su base volume, facendo riferimento ai dati disponibili per la filiera dei semilavorati in legno massello per l'edilizia che indicano che i rami rappresentano l'8% del volume di legname destinato all'abbattimento (valore in linea con alcuni documenti che indicano il volume di legna minuta e ramaglia nell'ordine del 6-8% (CBC, 2012) e documenti (Brun et al., 2003; Fonti e Giudici, 2001) che quantificano le perdite di lavorazione in ramaglia e cimoli nell'ordine del 15%). Alle operazioni di carico e spostamento dei tronchi, così come al processo di cippatura dei rami, sono invece stati assegnati i dati medi di filiera reperiti per tali operazioni (come da diagramma di flusso, infatti, esse rappresentano lavorazioni aggiuntive rispetto alla produzione del cippato di classe A, visto che i rami potrebbero anche essere lasciati in bosco senza essere processati).

7.2 Descrizione e documentazione processi unitari

Nelle seguenti Tabelle è riportata una breve descrizione di tutti i processi/flussi coinvolti nel ciclo di vita dei prodotti oggetto di studio e tutti i dati relativi ai processi unitari¹⁰ utilizzati nello studio di filiera, con una chiara identificazione della tipologia di dato di inventario (dati primari/secondari) e della banca dati (e relativi dataset) di riferimento.

Le Tabelle sono divise per tipologia di prodotto considerato (cippato di classe A e classe B) e per fasi del ciclo di vita (UPSTREAM e CORE) e i dati sono riferiti all'UF (1 tonnellata di cippato), dando

¹⁰ Un processo unitario è l'elemento più piccolo preso in considerazione nell'inventario del ciclo di vita per il quale sono quantificati i dati di input e output (basato su ISO 14040: 2006).

evidenza in maniera separata della distribuzione del prodotto al cliente finale (centrale di produzione dell'energia).

I dati primari direttamente raccolti si riferiscono ad un cantiere forestale gestito nell'anno 2021, per un quantitativo totale di legname lavorato pari a 797 tonnellate, flusso di riferimento complessivo per le operazioni del cantiere e, quindi, nel caso specifico per le operazioni di trasporto dei mezzi in cantiere. Di questo quantitativo complessivo di legname, 403 tonnellate sono state lavorate esattamente secondo le fasi descritte nelle tabelle di inventario, e rappresentano quindi il flusso di riferimento per tutte le operazioni "in bosco", dall'abbattimento degli alberi fino al carico e spostamento dei tronchi (le restanti 394 tonnellate sono state invece lavorate in modo diverso e, in particolare, è stata differente la fase di sramatura e depezzamento, svolta tramite escavatore con processore in grado di movimentare e sezionare i tronchi).

Per quanto riguarda la fase di cippatura e, in particolare, il trasporto della cippatrice in cantiere, in assenza di dati primari, l'allocazione all'unità funzionale è stata eseguita considerando il flusso di riferimento di 403 tonnellate, che rappresenta un quantitativo di legname lavorato compatibile con le dimensioni e la produttività della macchina ipotizzata.

7.2.1 Dati cippato di classe A

Tabella 2 – Dati fase UPSTREAM cippato di classe A (UF: 1 t)

| Flussi/processi in input/output | Valore | Unità di misura | Tipologia dato | Dataset di riferimento | Banca dati |
|--|--------|-----------------|----------------|--|---------------|
| Produzione gasolio utilizzato per: Trasporto mezzi in cantiere | 0,023 | kg | Primario | Diesel {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |
| Produzione gasolio utilizzato per: Esbosco | 1,464 | kg | Primario | Diesel {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |
| Produzione gasolio utilizzato per: Carico e spostamento tronchi | 1,573 | kg | Primario | Diesel {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |
| Produzione gasolio utilizzato per: Cippatura | 2,392 | kg | Primario | Diesel {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |
| Produzione benzina utilizzata per: Abbattimento alberi | 0,310 | kg | Primario | Petrol, unleaded {RER} market for Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |
| Produzione lubrificante utilizzato per: Abbattimento alberi | 0,106 | kg | Primario | Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |
| Produzione benzina utilizzata per: Sramatura e depezzamento | 0,973 | kg | Primario | Petrol, unleaded {RER} market for Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |
| Produzione lubrificante utilizzato per: Sramatura e depezzamento | 0,045 | kg | Primario | Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |

Tabella 3 – Dati fase CORE cippato di classe A (UF: 1 t)

| Flussi/processi in input/output | Valore | Unità di misura | Tipologia dato | Dataset di riferimento | Banca dati |
|----------------------------------|--------|----------------------|----------------|--|---------------|
| Trasporto mezzi in cantiere | 0,082 | kgCO ₂ eq | Secondario | NA | NA |
| Abbattimento alberi | 0,720 | kgCO ₂ eq | Secondario | NA | NA |
| Esbosco | 6,623 | kgCO ₂ eq | Secondario | NA | NA |
| Sramatura e depezzamento | 0,224 | kgCO ₂ eq | Secondario | NA | NA |
| Carico e spostamento tronchi | 4,481 | kgCO ₂ eq | Secondario | NA | NA |
| Cippatura | 3,855 | kgCO ₂ eq | Secondario | NA | NA |
| Trasporto cippatrice in cantiere | 2,05 | tkm | Secondario | Transport, freight, lorry, unspecified {RER} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |

Tabella 4 – Dati fase di distribuzione cippato di classe A (UF: 1 t)

| Flussi/processi in input/output | Valore | Unità di misura | Tipologia dato | Dataset di riferimento | Banca dati |
|-----------------------------------|--------|-----------------|----------------|--|---------------|
| Trasporto del cippato in centrale | 70 | tkm | Secondario | Transport, freight, lorry, unspecified {RER} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |

7.2.2 Dati cippato di classe B

Tabella 5 – Dati fase UPSTREAM cippato di classe B (UF: 1 t)

| Flussi/processi in input/output | Valore | Unità di misura | Tipologia dato | Dataset di riferimento | Banca dati |
|--|--------|-----------------|----------------|--|---------------|
| Produzione gasolio utilizzato per: Trasporto mezzi in cantiere | 0,002 | kg | Primario | Diesel {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |
| Produzione gasolio utilizzato per: Esbosco | 0,126 | kg | Primario | Diesel {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |
| Produzione gasolio utilizzato per: Carico e spostamento tronchi | 1,573 | kg | Primario | Diesel {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |
| Produzione gasolio utilizzato per: Cippatura | 2,392 | kg | Primario | Diesel {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |
| Produzione benzina utilizzata per: Abbattimento alberi | 0,062 | kg | Primario | Petrol, unleaded {RER} market for Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |
| Produzione lubrificante utilizzato per: Abbattimento alberi | 0,009 | kg | Primario | Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |
| Produzione benzina utilizzata per: Sramatura e depezzamento | 0,084 | kg | Primario | Petrol, unleaded {RER} market for Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |
| Produzione lubrificante utilizzato per: Sramatura e depezzamento | 0,004 | kg | Primario | Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |

Tabella 6 – Dati fase CORE cippato di classe B (UF: 1 t)

| Flussi/processi in input/output | Valore | Unità di misura | Tipologia dato | Dataset di riferimento | Banca dati |
|----------------------------------|--------|----------------------|----------------|--|---------------|
| Trasporto mezzi in cantiere | 0,007 | kgCO ₂ eq | Secondario | NA | NA |
| Abbattimento alberi | 0,062 | kgCO ₂ eq | Secondario | NA | NA |
| Esbosco | 0,569 | kgCO ₂ eq | Secondario | NA | NA |
| Sramatura e depezzamento | 0,019 | kgCO ₂ eq | Secondario | NA | NA |
| Carico e spostamento tronchi | 4,481 | kgCO ₂ eq | Secondario | NA | NA |
| Cippatura | 3,855 | kgCO ₂ eq | Secondario | NA | NA |
| Trasporto cippatrice in cantiere | 2,05 | tkm | Secondario | Transport, freight, lorry, unspecified {RER} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |

Tabella 7 – Dati fase di distribuzione cippato di classe B (UF: 1 t)

| Flussi/processi in input/output | Valore | Unità di misura | Tipologia dato | Dataset di riferimento | Banca dati |
|-----------------------------------|--------|-----------------|----------------|--|---------------|
| Trasporto del cippato in centrale | 150 | tkm | Secondario | Transport, freight, lorry, unspecified {RER} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U | Ecoinvent 3.7 |

Si sottolinea che le emissioni espresse in unità di massa di CO₂eq riportate nelle tabelle di inventario sono da considerarsi come valori medi rappresentativi delle diverse operazioni caratteristiche della filiera, in quanto risultanti da calcoli diretti tramite metodologia IPCC (IPCC, 2006) sulla base dei dati primari raccolti sui consumi di combustibili e/o reperiti da studi di letteratura esistenti e/o derivanti da medie di entrambe le tipologie di stima e, comunque, coerenti in termini di tipologia di flusso (in ogni caso, anidride carbonica equivalente).

7.3 Sviluppo dei datasets

I dataset che sono stati sviluppati a seguito del presente studio, in quanto di interesse generale per la filiera del legno per i possibili utenti della banca dati e basati su dati solidi caratterizzati da una rappresentatività molto buona, sia primari che secondari, fanno riferimento ai seguenti processi:

- Produzione legname in tronchi di abete;
- Produzione cippato forestale classe A di abete;
- Produzione cippato forestale classe B di abete.

Nello sviluppo dei dataset di filiera sono stati utilizzati senza alcuna modifica processi del database Ecoinvent e, quindi, sono incluse le infrastrutture di background in essi contenute di default (restano

invece escluse le infrastrutture del sistema di foreground, ovvero le attrezzature e macchinari del cantiere forestale).

8 Valutazione degli impatti ambientali

Secondo le indicazioni della Norma ISO 14040, la fase di valutazione degli impatti ha lo scopo di evidenziare l'entità delle modificazioni ambientali che si generano a seguito dei rilasci nell'ambiente e del consumo di risorse provocati sistema di prodotto in esame. Tale fase, consiste quindi nell'imputare i consumi e le emissioni a specifiche categorie di impatto, riferibili ad effetti ambientali conosciuti, e nel quantificare l'entità del contributo che il processo arreca agli effetti considerati.

La valutazione degli impatti in accordo alla ISO 14040 si articola nelle seguenti fasi obbligatorie:

- Classificazione: assegnazione dei dati raccolti nell'inventario ad una o più categorie d'impatto ambientale selezionate;
- Caratterizzazione: calcolo dei risultati di ogni indicatore di categoria, è determinato il contributo relativo di ogni sostanza emessa o risorsa usata;
- Valutazione vera e propria dell'impatto.

Come fasi opzionali della valutazione degli impatti di ciclo di vita, sono invece indicate dalla ISO 14040 le operazioni di normalizzazione, raggruppamento e ponderazione (pesatura).

Ai fini del presente studio LCA di filiera è stato utilizzato utilizzare il metodo valutazione degli impatti il metodo EF 3.0 (Zampori e Pant, 2019) e i risultati delle fasi appena descritte sono riportate nei paragrafi successivi per entrambi i prodotti oggetto di studio.

Si evidenzia che i risultati ottenuti dalla fase di normalizzazione, che riflettono gli oneri imputabili al prodotto oggetto di studio rispetto all'unità di riferimento, sono adimensionali e, nell'ambito dello specifico metodo di calcolo degli impatti, i fattori di normalizzazione sono espressi pro capite sulla base di un valore globale.

Tutti i risultati di seguito presentati sono stati calcolati escludendo, oltre alle infrastrutture di foreground (attrezzature e macchinari del cantiere forestale), anche tutti i contributi delle infrastrutture relative ai dataset di background, ovvero tutti i contributi derivanti dalle infrastrutture incluse di default all'interno dei processi del database Ecoinvent utilizzati nel modello di calcolo.

8.1 Caratterizzazione

8.1.1 Caratterizzazione cippato di classe A

Tabella 8 – Cippato di classe A – Caratterizzazione: impatto totale, produzione e distribuzione (UF: 1 t)

| n. | Categoria di impatto | Unità di misura | PRODUZIONE | DISTRIBUZIONE | TOT |
|----|---|-----------------|------------|---------------|-----------|
| 1 | Climate change | kg CO2 eq | 1,93E+01 | 7,43E+00 | 2,68E+01 |
| 2 | Ozone depletion | kg CFC11 eq | 5,63E-06 | 1,73E-06 | 7,36E-06 |
| 3 | Ionising radiation | kBq U-235 eq | 1,56E+00 | 4,74E-01 | 2,03E+00 |
| 4 | Photochemical ozone formation | kg NMVOC eq | 2,49E-02 | 4,44E-02 | 6,93E-02 |
| 5 | Particulate matter | disease inc. | 2,18E-07 | 6,61E-07 | 8,79E-07 |
| 6 | Human toxicity, non-cancer | CTUh | 3,66E-08 | 8,62E-08 | 1,23E-07 |
| 7 | Human toxicity, cancer | CTUh | 7,50E-10 | 1,53E-09 | 2,28E-09 |
| 8 | Acidification | mol H+ eq | 4,07E-02 | 3,97E-02 | 8,04E-02 |
| 9 | Eutrophication, freshwater | kg P eq | 1,53E-04 | 3,27E-05 | 1,86E-04 |
| 10 | Eutrophication, marine | kg N eq | 4,74E-03 | 1,56E-02 | 2,03E-02 |
| 11 | Eutrophication, terrestrial | mol N eq | 5,19E-02 | 1,71E-01 | 2,23E-01 |
| 12 | Ecotoxicity, freshwater | CTUe | 1,15E+02 | 4,31E+01 | 1,58E+02 |
| 13 | Land use | Pt | 1,29E+00 | 3,36E-01 | 1,63E+00 |
| 14 | Water use | m3 depriv. | -3,95E-02 | -2,24E-02 | -6,18E-02 |
| 15 | Resource use, fossils | MJ | 3,46E+02 | 1,06E+02 | 4,51E+02 |
| 16 | Resource use, minerals and metals | kg Sb eq | 1,42E-06 | 3,16E-07 | 1,73E-06 |
| 17 | Climate change – Fossil | kg CO2 eq | 1,93E+01 | 7,43E+00 | 2,68E+01 |
| 18 | Climate change – Biogenic | kg CO2 eq | 1,65E-03 | 4,00E-04 | 2,05E-03 |
| 19 | Climate change – Land use and LU change | kg CO2 eq | 2,89E-04 | 5,64E-05 | 3,46E-04 |
| 20 | Human toxicity, non-cancer – organics | CTUh | 2,38E-09 | 1,39E-08 | 1,63E-08 |
| 21 | Human toxicity, non-cancer – inorganics | CTUh | 1,27E-08 | 1,58E-08 | 2,85E-08 |
| 22 | Human toxicity, non-cancer – metals | CTUh | 2,20E-08 | 5,65E-08 | 7,85E-08 |
| 23 | Human toxicity, cancer – organics | CTUh | 2,56E-10 | 1,21E-09 | 1,47E-09 |
| 24 | Human toxicity, cancer – inorganics | CTUh | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 25 | Human toxicity, cancer – metals | CTUh | 4,94E-10 | 3,13E-10 | 8,07E-10 |
| 26 | Ecotoxicity, freshwater – organics | CTUe | 2,21E+01 | 6,81E+00 | 2,89E+01 |
| 27 | Ecotoxicity, freshwater – inorganics | CTUe | 5,67E+01 | 1,74E+01 | 7,42E+01 |
| 28 | Ecotoxicity, freshwater – metals | CTUe | 3,62E+01 | 1,88E+01 | 5,51E+01 |

Tabella 9 – Cippato di classe A – Caratterizzazione: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 t)

| n. | Categoria di impatto | Unità di misura | UPSTREAM | CORE | DISTRIBUZIONE |
|----|---|-----------------|-----------|-----------|---------------|
| 1 | Climate change | kg CO2 eq | 3,13E+00 | 1,62E+01 | 7,43E+00 |
| 2 | Ozone depletion | kg CFC11 eq | 5,58E-06 | 5,06E-08 | 1,73E-06 |
| 3 | Ionising radiation | kBq U-235 eq | 1,55E+00 | 1,39E-02 | 4,74E-01 |
| 4 | Photochemical ozone formation | kg NMVOC eq | 2,36E-02 | 1,30E-03 | 4,44E-02 |
| 5 | Particulate matter | disease inc. | 1,99E-07 | 1,94E-08 | 6,61E-07 |
| 6 | Human toxicity, non-cancer | CTUh | 3,41E-08 | 2,52E-09 | 8,62E-08 |
| 7 | Human toxicity, cancer | CTUh | 7,05E-10 | 4,47E-11 | 1,53E-09 |
| 8 | Acidification | mol H+ eq | 3,95E-02 | 1,16E-03 | 3,97E-02 |
| 9 | Eutrophication, freshwater | kg P eq | 1,52E-04 | 9,58E-07 | 3,27E-05 |
| 10 | Eutrophication, marine | kg N eq | 4,28E-03 | 4,56E-04 | 1,56E-02 |
| 11 | Eutrophication, terrestrial | mol N eq | 4,69E-02 | 5,01E-03 | 1,71E-01 |
| 12 | Ecotoxicity, freshwater | CTUe | 1,14E+02 | 1,26E+00 | 4,31E+01 |
| 13 | Land use | Pt | 1,28E+00 | 9,83E-03 | 3,36E-01 |
| 14 | Water use | m3 depriv. | -3,88E-02 | -6,55E-04 | -2,24E-02 |
| 15 | Resource use, fossils | MJ | 3,43E+02 | 3,09E+00 | 1,06E+02 |
| 16 | Resource use, minerals and metals | kg Sb eq | 1,41E-06 | 9,25E-09 | 3,16E-07 |
| 17 | Climate change – Fossil | kg CO2 eq | 3,12E+00 | 1,62E+01 | 7,43E+00 |
| 18 | Climate change – Biogenic | kg CO2 eq | 1,64E-03 | 1,17E-05 | 4,00E-04 |
| 19 | Climate change – Land use and LU change | kg CO2 eq | 2,88E-04 | 1,65E-06 | 5,64E-05 |
| 20 | Human toxicity, non-cancer – organics | CTUh | 1,97E-09 | 4,08E-10 | 1,39E-08 |
| 21 | Human toxicity, non-cancer – inorganics | CTUh | 1,22E-08 | 4,64E-10 | 1,58E-08 |
| 22 | Human toxicity, non-cancer – metals | CTUh | 2,03E-08 | 1,66E-09 | 5,65E-08 |
| 23 | Human toxicity, cancer – organics | CTUh | 2,20E-10 | 3,55E-11 | 1,21E-09 |
| 24 | Human toxicity, cancer – inorganics | CTUh | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 25 | Human toxicity, cancer – metals | CTUh | 4,85E-10 | 9,18E-12 | 3,13E-10 |
| 26 | Ecotoxicity, freshwater – organics | CTUe | 2,19E+01 | 1,99E-01 | 6,81E+00 |
| 27 | Ecotoxicity, freshwater – inorganics | CTUe | 5,62E+01 | 5,10E-01 | 1,74E+01 |
| 28 | Ecotoxicity, freshwater – metals | CTUe | 3,57E+01 | 5,52E-01 | 1,88E+01 |

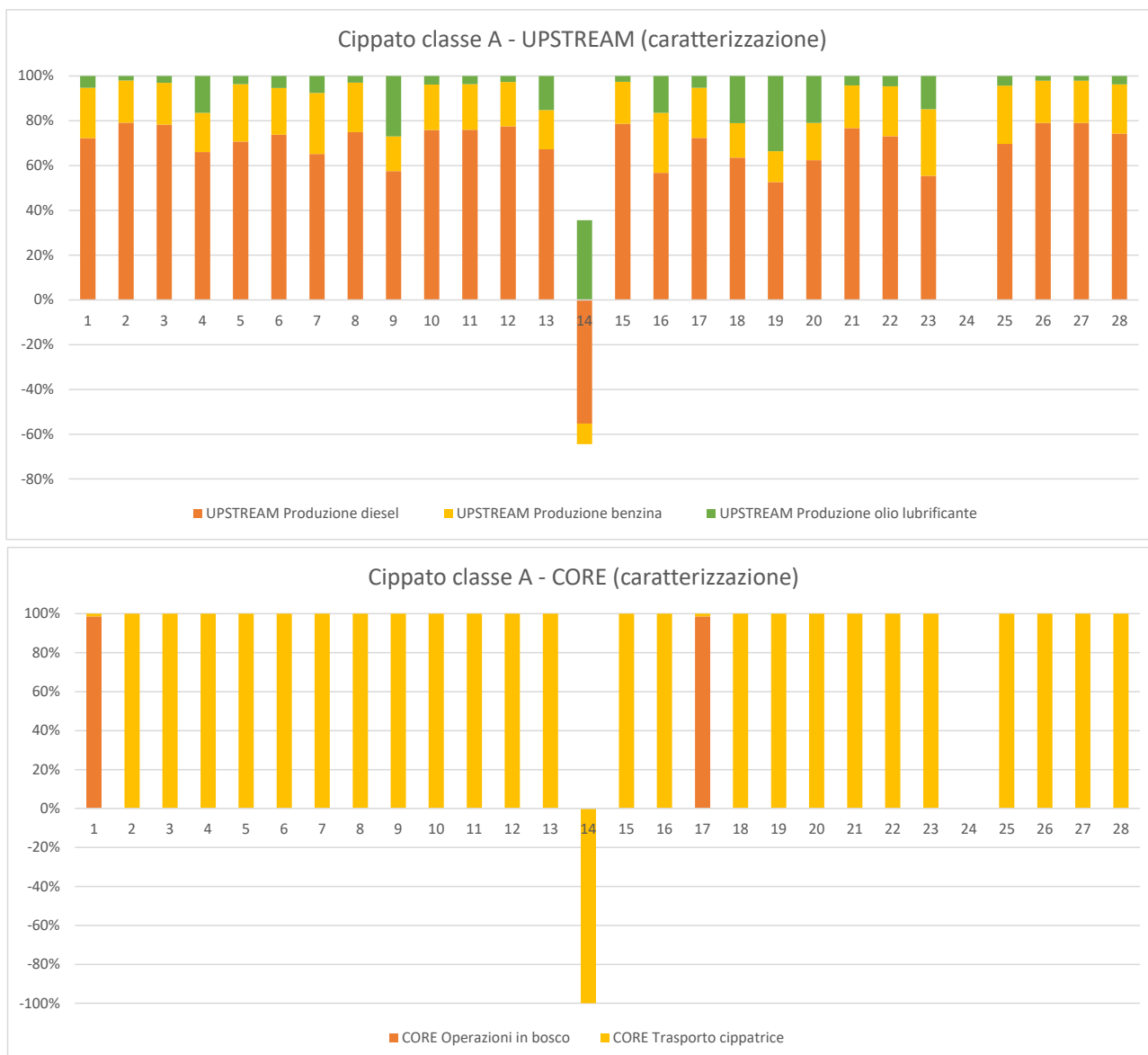


Figura 4 – Cippato di classe A – Caratterizzazione: contributo processi all'impatto delle fasi UPSTREAM e CORE

8.1.2 Caratterizzazione cippato di classe B

Tabella 10 – Cippato di classe B – Caratterizzazione: impatto totale, produzione e distribuzione (UF: 1 t)

| n. | Categoria di impatto | Unità di misura | PRODUZIONE | DISTRIBUZIONE | TOT |
|----|---|-----------------|------------|---------------|-----------|
| 1 | Climate change | kg CO2 eq | 1,10E+01 | 1,59E+01 | 2,69E+01 |
| 2 | Ozone depletion | kg CFC11 eq | 3,46E-06 | 3,70E-06 | 7,17E-06 |
| 3 | Ionising radiation | kBq U-235 eq | 9,52E-01 | 1,01E+00 | 1,97E+00 |
| 4 | Photochemical ozone formation | kg NMVOC eq | 1,37E-02 | 9,51E-02 | 1,09E-01 |
| 5 | Particulate matter | disease inc. | 1,30E-07 | 1,42E-06 | 1,55E-06 |
| 6 | Human toxicity, non-cancer | CTUh | 2,22E-08 | 1,85E-07 | 2,07E-07 |
| 7 | Human toxicity, cancer | CTUh | 4,11E-10 | 3,27E-09 | 3,68E-09 |
| 8 | Acidification | mol H+ eq | 2,43E-02 | 8,50E-02 | 1,09E-01 |
| 9 | Eutrophication, freshwater | kg P eq | 7,23E-05 | 7,01E-05 | 1,42E-04 |
| 10 | Eutrophication, marine | kg N eq | 2,98E-03 | 3,34E-02 | 3,64E-02 |
| 11 | Eutrophication, terrestrial | mol N eq | 3,27E-02 | 3,66E-01 | 3,99E-01 |
| 12 | Ecotoxicity, freshwater | CTUe | 6,97E+01 | 9,23E+01 | 1,62E+02 |
| 13 | Land use | Pt | 6,92E-01 | 7,19E-01 | 1,41E+00 |
| 14 | Water use | m3 depriv. | -5,33E-02 | -4,79E-02 | -1,01E-01 |
| 15 | Resource use, fossils | MJ | 2,12E+02 | 2,26E+02 | 4,38E+02 |
| 16 | Resource use, minerals and metals | kg Sb eq | 6,60E-07 | 6,77E-07 | 1,34E-06 |
| 17 | Climate change – Fossil | kg CO2 eq | 1,10E+01 | 1,59E+01 | 2,69E+01 |
| 18 | Climate change – Biogenic | kg CO2 eq | 8,46E-04 | 8,57E-04 | 1,70E-03 |
| 19 | Climate change – Land use and LU change | kg CO2 eq | 1,27E-04 | 1,21E-04 | 2,48E-04 |
| 20 | Human toxicity, non-cancer – organics | CTUh | 1,39E-09 | 2,98E-08 | 3,12E-08 |
| 21 | Human toxicity, non-cancer – inorganics | CTUh | 7,75E-09 | 3,39E-08 | 4,17E-08 |
| 22 | Human toxicity, non-cancer – metals | CTUh | 1,33E-08 | 1,21E-07 | 1,34E-07 |
| 23 | Human toxicity, cancer – organics | CTUh | 1,36E-10 | 2,60E-09 | 2,73E-09 |
| 24 | Human toxicity, cancer – inorganics | CTUh | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 25 | Human toxicity, cancer – metals | CTUh | 2,75E-10 | 6,71E-10 | 9,47E-10 |
| 26 | Ecotoxicity, freshwater – organics | CTUe | 1,36E+01 | 1,46E+01 | 2,82E+01 |
| 27 | Ecotoxicity, freshwater – inorganics | CTUe | 3,49E+01 | 3,74E+01 | 7,22E+01 |
| 28 | Ecotoxicity, freshwater – metals | CTUe | 2,12E+01 | 4,04E+01 | 6,16E+01 |

Tabella 11 – Cippato di classe B – Caratterizzazione: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 t)

| n. | Categoria di impatto | Unità di misura | UPSTREAM | CORE | DISTRIBUZIONE |
|----|---|-----------------|-----------|-----------|---------------|
| 1 | Climate change | kg CO2 eq | 1,77E+00 | 9,21E+00 | 1,59E+01 |
| 2 | Ozone depletion | kg CFC11 eq | 3,41E-06 | 5,06E-08 | 3,70E-06 |
| 3 | Ionising radiation | kBq U-235 eq | 9,38E-01 | 1,39E-02 | 1,01E+00 |
| 4 | Photochemical ozone formation | kg NMVOC eq | 1,24E-02 | 1,30E-03 | 9,51E-02 |
| 5 | Particulate matter | disease inc. | 1,11E-07 | 1,94E-08 | 1,42E-06 |
| 6 | Human toxicity, non-cancer | CTUh | 1,97E-08 | 2,52E-09 | 1,85E-07 |
| 7 | Human toxicity, cancer | CTUh | 3,66E-10 | 4,47E-11 | 3,27E-09 |
| 8 | Acidification | mol H+ eq | 2,31E-02 | 1,16E-03 | 8,50E-02 |
| 9 | Eutrophication, freshwater | kg P eq | 7,13E-05 | 9,58E-07 | 7,11E-05 |
| 10 | Eutrophication, marine | kg N eq | 2,53E-03 | 4,56E-04 | 3,34E-02 |
| 11 | Eutrophication, terrestrial | mol N eq | 2,77E-02 | 5,01E-03 | 3,66E-01 |
| 12 | Ecotoxicity, freshwater | CTUe | 6,84E+01 | 1,26E+00 | 9,25E+01 |
| 13 | Land use | Pt | 6,82E-01 | 9,83E-03 | 9,52E-01 |
| 14 | Water use | m3 depriv. | -5,27E-02 | -6,55E-04 | -4,48E-02 |
| 15 | Resource use, fossils | MJ | 2,09E+02 | 3,09E+00 | 2,26E+02 |
| 16 | Resource use, minerals and metals | kg Sb eq | 6,51E-07 | 9,25E-09 | 6,97E-07 |
| 17 | Climate change – Fossil | kg CO2 eq | 1,77E+00 | 9,21E+00 | 1,59E+01 |
| 18 | Climate change – Biogenic | kg CO2 eq | 8,34E-04 | 1,17E-05 | 7,39E-04 |
| 19 | Climate change – Land use and LU change | kg CO2 eq | 1,25E-04 | 1,65E-06 | 1,41E-04 |
| 20 | Human toxicity, non-cancer – organics | CTUh | 9,87E-10 | 4,08E-10 | 2,98E-08 |
| 21 | Human toxicity, non-cancer – inorganics | CTUh | 7,28E-09 | 4,64E-10 | 3,39E-08 |
| 22 | Human toxicity, non-cancer – metals | CTUh | 1,16E-08 | 1,66E-09 | 1,21E-07 |
| 23 | Human toxicity, cancer – organics | CTUh | 1,00E-10 | 3,55E-11 | 2,59E-09 |
| 24 | Human toxicity, cancer – inorganics | CTUh | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 7,56E-18 |
| 25 | Human toxicity, cancer – metals | CTUh | 2,66E-10 | 9,18E-12 | 6,73E-10 |
| 26 | Ecotoxicity, freshwater – organics | CTUe | 1,34E+01 | 1,99E-01 | 1,46E+01 |
| 27 | Ecotoxicity, freshwater – inorganics | CTUe | 3,44E+01 | 5,10E-01 | 3,74E+01 |
| 28 | Ecotoxicity, freshwater – metals | CTUe | 2,07E+01 | 3,45E-02 | 4,05E+01 |

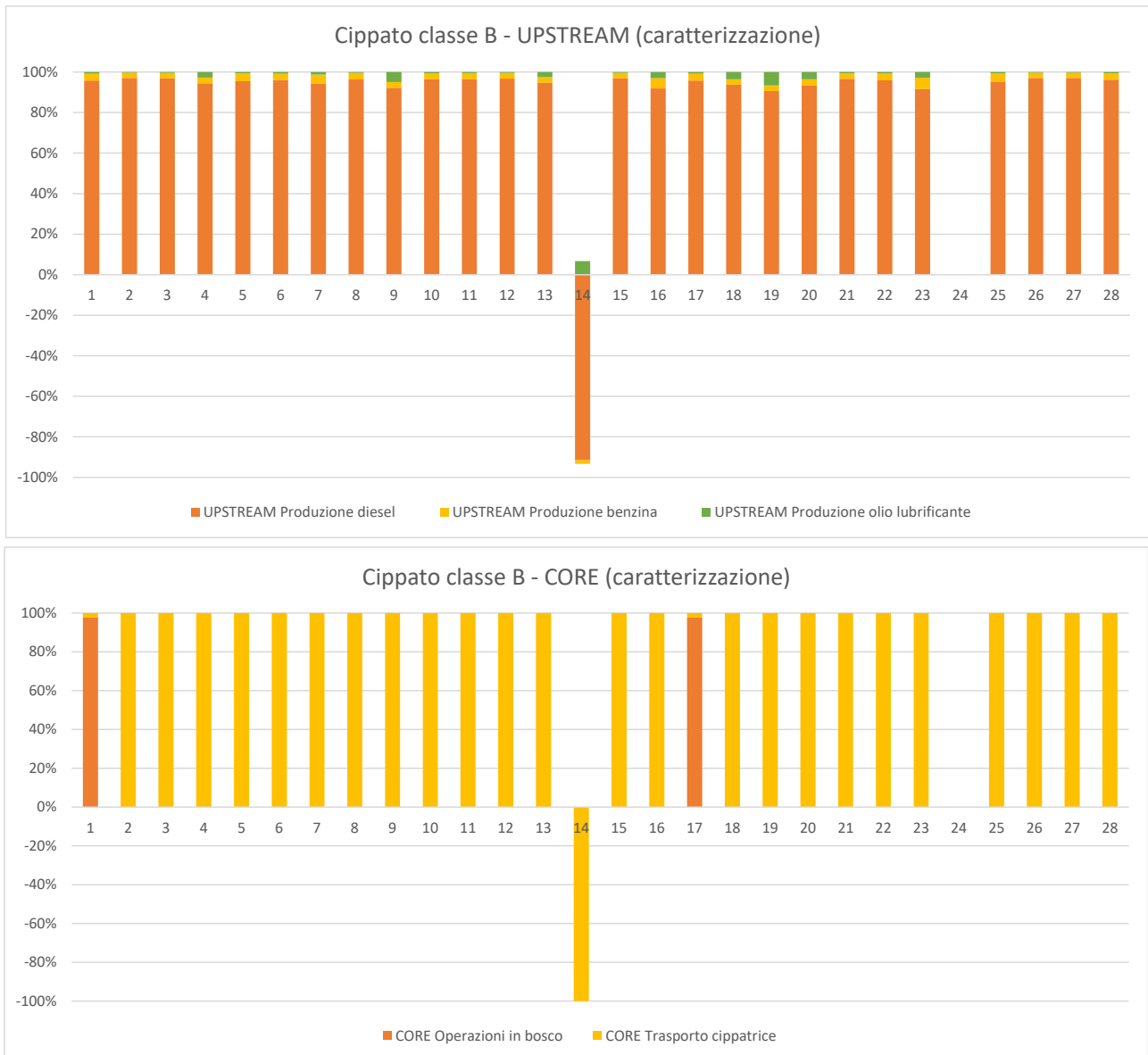


Figura 5 – Cippato di classe B – Caratterizzazione: contributo processi all’impatto delle fasi UPSTREAM e CORE

8.2 Normalizzazione

8.2.1 Normalizzazione cippato di classe A

Tabella 12 – Cippato di classe A – Normalizzazione: impatto totale, e produzione e distribuzione (UF: 1 t)

| n. | Categoria di impatto | Unità di misura | UPSTREAM | DISTRIBUZIONE | TOT |
|----|---|-----------------|-----------|---------------|-----------|
| 1 | Climate change | - | 2,39E-03 | 9,18E-04 | 3,31E-03 |
| 2 | Ozone depletion | - | 1,05E-04 | 3,22E-05 | 1,37E-04 |
| 3 | Ionising radiation | - | 3,70E-04 | 1,12E-04 | 4,82E-04 |
| 4 | Photochemical ozone formation | - | 6,13E-04 | 1,09E-03 | 1,71E-03 |
| 5 | Particulate matter | - | 3,67E-04 | 1,11E-03 | 1,48E-03 |
| 6 | Human toxicity, non-cancer | - | 1,60E-04 | 3,75E-04 | 5,35E-04 |
| 7 | Human toxicity, cancer | - | 4,44E-05 | 9,03E-05 | 1,35E-04 |
| 8 | Acidification | - | 7,33E-04 | 7,14E-04 | 1,45E-03 |
| 9 | Eutrophication, freshwater | - | 9,54E-05 | 2,03E-05 | 1,16E-04 |
| 10 | Eutrophication, marine | - | 2,43E-04 | 7,97E-04 | 1,04E-03 |
| 11 | Eutrophication, terrestrial | - | 2,94E-04 | 9,68E-04 | 1,26E-03 |
| 12 | Ecotoxicity, freshwater | - | 2,69E-03 | 1,01E-03 | 3,70E-03 |
| 13 | Land use | - | 1,57E-06 | 4,10E-07 | 1,98E-06 |
| 14 | Water use | - | -3,44E-06 | -1,95E-06 | -5,39E-06 |
| 15 | Resource use, fossils | - | 5,32E-03 | 1,62E-03 | 6,94E-03 |
| 16 | Resource use, minerals and metals | - | 2,22E-05 | 4,96E-06 | 2,72E-05 |
| 17 | Climate change – Fossil | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 18 | Climate change – Biogenic | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 19 | Climate change – Land use and LU change | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 20 | Human toxicity, non-cancer – organics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 21 | Human toxicity, non-cancer – inorganics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 22 | Human toxicity, non-cancer – metals | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 23 | Human toxicity, cancer – organics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 24 | Human toxicity, cancer – inorganics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 25 | Human toxicity, cancer – metals | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 26 | Ecotoxicity, freshwater – organics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 27 | Ecotoxicity, freshwater – inorganics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 28 | Ecotoxicity, freshwater – metals | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

Tabella 13 – Cippato di classe A – Normalizzazione: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 t)

| n. | Categoria di impatto | Unità di misura | UPSTREAM | CORE | DISTRIBUZIONE |
|----|---|-----------------|-----------|-----------|---------------|
| 1 | Climate change | - | 3,86E-04 | 2,00E-03 | 9,18E-04 |
| 2 | Ozone depletion | - | 1,04E-04 | 9,43E-07 | 3,22E-05 |
| 3 | Ionising radiation | - | 3,67E-04 | 3,29E-06 | 1,12E-04 |
| 4 | Photochemical ozone formation | - | 5,81E-04 | 3,20E-05 | 1,09E-03 |
| 5 | Particulate matter | - | 3,34E-04 | 3,25E-05 | 1,11E-03 |
| 6 | Human toxicity, non-cancer | - | 1,49E-04 | 1,10E-05 | 3,75E-04 |
| 7 | Human toxicity, cancer | - | 4,17E-05 | 2,64E-06 | 9,03E-05 |
| 8 | Acidification | - | 7,12E-04 | 2,09E-05 | 7,14E-04 |
| 9 | Eutrophication, freshwater | - | 9,48E-05 | 5,96E-07 | 2,03E-05 |
| 10 | Eutrophication, marine | - | 2,19E-04 | 2,34E-05 | 7,97E-04 |
| 11 | Eutrophication, terrestrial | - | 2,65E-04 | 2,83E-05 | 9,68E-04 |
| 12 | Ecotoxicity, freshwater | - | 2,67E-03 | 2,96E-05 | 1,01E-03 |
| 13 | Land use | - | 1,56E-06 | 1,20E-08 | 4,10E-07 |
| 14 | Water use | - | -3,38E-06 | -5,71E-08 | -1,95E-06 |
| 15 | Resource use, fossils | - | 5,27E-03 | 4,75E-05 | 1,62E-03 |
| 16 | Resource use, minerals and metals | - | 2,21E-05 | 1,45E-07 | 4,96E-06 |
| 17 | Climate change – Fossil | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 18 | Climate change – Biogenic | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 19 | Climate change – Land use and LU change | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 20 | Human toxicity, non-cancer – organics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 21 | Human toxicity, non-cancer – inorganics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 22 | Human toxicity, non-cancer – metals | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 23 | Human toxicity, cancer – organics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 24 | Human toxicity, cancer – inorganics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 25 | Human toxicity, cancer – metals | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 26 | Ecotoxicity, freshwater – organics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 27 | Ecotoxicity, freshwater – inorganics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 28 | Ecotoxicity, freshwater – metals | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |



Figura 6 – Cippato di classe A – Normalizzazione: contributo processi all’impatto delle fasi UPSTREAM e CORE

8.2.2 Normalizzazione cippato di classe B

Tabella 14 – Cippato di classe B – Normalizzazione: impatto totale, produzione e distribuzione (UF: 1 t)

| n. | Categoria di impatto | Unità di misura | PRODUZIONE | DISTRIBUZIONE | TOT |
|----|---|-----------------|------------|---------------|-----------|
| 1 | Climate change | - | 1,36E-03 | 1,97E-03 | 3,32E-03 |
| 2 | Ozone depletion | - | 6,46E-05 | 6,90E-05 | 1,34E-04 |
| 3 | Ionising radiation | - | 2,26E-04 | 2,40E-04 | 4,66E-04 |
| 4 | Photochemical ozone formation | - | 3,37E-04 | 2,34E-03 | 2,68E-03 |
| 5 | Particulate matter | - | 2,18E-04 | 2,38E-03 | 2,60E-03 |
| 6 | Human toxicity, non-cancer | - | 9,66E-05 | 8,04E-04 | 9,01E-04 |
| 7 | Human toxicity, cancer | - | 2,43E-05 | 1,93E-04 | 2,18E-04 |
| 8 | Acidification | - | 4,37E-04 | 1,53E-03 | 1,97E-03 |
| 9 | Eutrophication, freshwater | - | 4,50E-05 | 4,36E-05 | 8,86E-05 |
| 10 | Eutrophication, marine | - | 1,53E-04 | 1,71E-03 | 1,86E-03 |
| 11 | Eutrophication, terrestrial | - | 1,85E-04 | 2,07E-03 | 2,26E-03 |
| 12 | Ecotoxicity, freshwater | - | 1,63E-03 | 2,16E-03 | 3,80E-03 |
| 13 | Land use | - | 8,44E-07 | 8,78E-07 | 1,72E-06 |
| 14 | Water use | - | -4,65E-06 | -4,18E-06 | -8,83E-06 |
| 15 | Resource use, fossils | - | 3,26E-03 | 3,48E-03 | 6,73E-03 |
| 16 | Resource use, minerals and metals | - | 1,04E-05 | 1,06E-05 | 2,10E-05 |
| 17 | Climate change – Fossil | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 18 | Climate change – Biogenic | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 19 | Climate change – Land use and LU change | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 20 | Human toxicity, non-cancer – organics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 21 | Human toxicity, non-cancer – inorganics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 22 | Human toxicity, non-cancer – metals | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 23 | Human toxicity, cancer – organics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 24 | Human toxicity, cancer – inorganics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 25 | Human toxicity, cancer – metals | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 26 | Ecotoxicity, freshwater – organics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 27 | Ecotoxicity, freshwater – inorganics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 28 | Ecotoxicity, freshwater – metals | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

Tabella 15 – Cippato di classe B – Normalizzazione: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 t)

| n. | Categoria di impatto | Unità di misura | UPSTREAM | CORE | DISTRIBUZIONE |
|----|---|-----------------|-----------|-----------|---------------|
| 1 | Climate change | - | 2,19E-04 | 1,14E-03 | 1,97E-03 |
| 2 | Ozone depletion | - | 6,36E-05 | 9,43E-07 | 6,90E-05 |
| 3 | Ionising radiation | - | 2,22E-04 | 3,29E-06 | 2,41E-04 |
| 4 | Photochemical ozone formation | - | 3,05E-04 | 3,20E-05 | 2,34E-03 |
| 5 | Particulate matter | - | 1,86E-04 | 3,25E-05 | 2,38E-03 |
| 6 | Human toxicity, non-cancer | - | 8,56E-05 | 1,10E-05 | 8,04E-04 |
| 7 | Human toxicity, cancer | - | 2,17E-05 | 2,64E-06 | 1,93E-04 |
| 8 | Acidification | - | 4,16E-04 | 2,09E-05 | 1,53E-03 |
| 9 | Eutrophication, freshwater | - | 4,44E-05 | 5,96E-07 | 4,42E-05 |
| 10 | Eutrophication, marine | - | 1,29E-04 | 2,34E-05 | 1,71E-03 |
| 11 | Eutrophication, terrestrial | - | 1,57E-04 | 2,83E-05 | 2,07E-03 |
| 12 | Ecotoxicity, freshwater | - | 1,60E-03 | 2,96E-05 | 2,17E-03 |
| 13 | Land use | - | 8,32E-07 | 1,20E-08 | 1,16E-06 |
| 14 | Water use | - | -4,59E-06 | -5,71E-08 | -3,91E-06 |
| 15 | Resource use, fossils | - | 3,21E-03 | 4,75E-05 | 3,48E-03 |
| 16 | Resource use, minerals and metals | - | 1,02E-05 | 1,45E-07 | 1,10E-05 |
| 17 | Climate change – Fossil | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 18 | Climate change – Biogenic | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 19 | Climate change – Land use and LU change | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 20 | Human toxicity, non-cancer – organics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 21 | Human toxicity, non-cancer – inorganics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 22 | Human toxicity, non-cancer – metals | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 23 | Human toxicity, cancer – organics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 24 | Human toxicity, cancer – inorganics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 25 | Human toxicity, cancer – metals | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 26 | Ecotoxicity, freshwater – organics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 27 | Ecotoxicity, freshwater – inorganics | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 28 | Ecotoxicity, freshwater – metals | - | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |



Figura 7 – Cippato di classe B – Normalizzazione: contributo processi all’impatto delle fasi UPSTREAM e CORE

8.3 Pesatura

8.3.1 Pesatura cippato di classe A

Tabella 16 – Cippato di classe A – Pesatura: impatto totale, produzione e distribuzione (UF: 1 t)

| n. | Categoria di impatto | Unità di misura | PRODUZIONE | DISTRIBUZIONE | TOT |
|----|---|-----------------|------------|---------------|-----------|
| 1 | Climate change | mPt | 1,16E+00 | 6,21E-01 | 1,78E+00 |
| 2 | Ozone depletion | mPt | 5,03E-01 | 1,93E-01 | 6,96E-01 |
| 3 | Ionising radiation | mPt | 6,62E-03 | 2,03E-03 | 8,65E-03 |
| 4 | Photochemical ozone formation | mPt | 1,85E-02 | 5,62E-03 | 2,42E-02 |
| 5 | Particulate matter | mPt | 2,93E-02 | 5,22E-02 | 8,15E-02 |
| 6 | Human toxicity, non-cancer | mPt | 3,29E-02 | 9,95E-02 | 1,32E-01 |
| 7 | Human toxicity, cancer | mPt | 2,93E-03 | 6,90E-03 | 9,84E-03 |
| 8 | Acidification | mPt | 9,45E-04 | 1,92E-03 | 2,87E-03 |
| 9 | Eutrophication, freshwater | mPt | 4,54E-02 | 4,43E-02 | 8,97E-02 |
| 10 | Eutrophication, marine | mPt | 2,67E-03 | 5,70E-04 | 3,24E-03 |
| 11 | Eutrophication, terrestrial | mPt | 7,18E-03 | 2,36E-02 | 3,08E-02 |
| 12 | Ecotoxicity, freshwater | mPt | 1,09E-02 | 3,59E-02 | 4,68E-02 |
| 13 | Land use | mPt | 5,17E-02 | 1,94E-02 | 7,11E-02 |
| 14 | Water use | mPt | 1,25E-04 | 3,25E-05 | 1,57E-04 |
| 15 | Resource use, fossils | mPt | -2,93E-04 | -1,66E-04 | -4,59E-04 |
| 16 | Resource use, minerals and metals | mPt | 4,43E-01 | 1,35E-01 | 5,78E-01 |
| 17 | Climate change – Fossil | mPt | 1,68E-03 | 3,75E-04 | 2,05E-03 |
| 18 | Climate change – Biogenic | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 19 | Climate change – Land use and LU change | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 20 | Human toxicity, non-cancer – organics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 21 | Human toxicity, non-cancer – inorganics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 22 | Human toxicity, non-cancer – metals | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 23 | Human toxicity, cancer – organics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 24 | Human toxicity, cancer – inorganics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 25 | Human toxicity, cancer – metals | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 26 | Ecotoxicity, freshwater – organics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 27 | Ecotoxicity, freshwater – inorganics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 28 | Ecotoxicity, freshwater – metals | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

Tabella 17 – Cippato di classe A – Pesatura: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 t)

| n. | Categoria di impatto | Unità di misura | UPSTREAM | CORE | DISTRIBUZIONE |
|----|---|-----------------|-----------|-----------|---------------|
| 1 | Climate change | mPt | 7,22E-01 | 4,34E-01 | 6,21E-01 |
| 2 | Ozone depletion | mPt | 8,13E-02 | 4,21E-01 | 1,93E-01 |
| 3 | Ionising radiation | mPt | 6,56E-03 | 5,95E-05 | 2,03E-03 |
| 4 | Photochemical ozone formation | mPt | 1,84E-02 | 1,65E-04 | 5,62E-03 |
| 5 | Particulate matter | mPt | 2,78E-02 | 1,53E-03 | 5,22E-02 |
| 6 | Human toxicity, non-cancer | mPt | 3,00E-02 | 2,91E-03 | 9,95E-02 |
| 7 | Human toxicity, cancer | mPt | 2,73E-03 | 2,02E-04 | 6,90E-03 |
| 8 | Acidification | mPt | 8,89E-04 | 5,63E-05 | 1,92E-03 |
| 9 | Eutrophication, freshwater | mPt | 4,41E-02 | 1,30E-03 | 4,43E-02 |
| 10 | Eutrophication, marine | mPt | 2,66E-03 | 1,67E-05 | 5,70E-04 |
| 11 | Eutrophication, terrestrial | mPt | 6,49E-03 | 6,91E-04 | 2,36E-02 |
| 12 | Ecotoxicity, freshwater | mPt | 9,84E-03 | 1,05E-03 | 3,59E-02 |
| 13 | Land use | mPt | 5,12E-02 | 5,68E-04 | 1,94E-02 |
| 14 | Water use | mPt | 1,24E-04 | 9,52E-07 | 3,25E-05 |
| 15 | Resource use, fossils | mPt | -2,88E-04 | -4,86E-06 | -1,66E-04 |
| 16 | Resource use, minerals and metals | mPt | 4,39E-01 | 3,95E-03 | 1,35E-01 |
| 17 | Climate change – Fossil | mPt | 1,67E-03 | 1,10E-05 | 3,75E-04 |
| 18 | Climate change – Biogenic | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 19 | Climate change – Land use and LU change | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 20 | Human toxicity, non-cancer – organics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 21 | Human toxicity, non-cancer – inorganics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 22 | Human toxicity, non-cancer – metals | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 23 | Human toxicity, cancer – organics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 24 | Human toxicity, cancer – inorganics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 25 | Human toxicity, cancer – metals | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 26 | Ecotoxicity, freshwater – organics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 27 | Ecotoxicity, freshwater – inorganics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 28 | Ecotoxicity, freshwater – metals | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |



Figura 8 – Cippato di classe A – Pesatura: contributo processi all’impatto delle fasi UPSTREAM e CORE

8.3.2 Pesatura cippato di classe B

Tabella 18 – Cippato di classe B – Pesatura: impatto totale, produzione e distribuzione (UF: 1 t)

| n. | Categoria di impatto | Unità di misura | PRODUZIONE | DISTRIBUZIONE | TOT |
|----|---|-----------------|------------|---------------|-----------|
| 1 | Ozone depletion | mPt | 6,81E-01 | 1,33E+00 | 2,01E+00 |
| 2 | Ionising radiation | mPt | 2,86E-01 | 4,14E-01 | 7,00E-01 |
| 3 | Photochemical ozone formation | mPt | 4,07E-03 | 4,35E-03 | 8,43E-03 |
| 4 | Particulate matter | mPt | 1,13E-02 | 1,20E-02 | 2,34E-02 |
| 5 | Human toxicity, non-cancer | mPt | 1,61E-02 | 1,12E-01 | 1,28E-01 |
| 6 | Human toxicity, cancer | mPt | 1,96E-02 | 2,13E-01 | 2,33E-01 |
| 7 | Acidification | mPt | 1,78E-03 | 1,48E-02 | 1,66E-02 |
| 8 | Eutrophication, freshwater | mPt | 5,18E-04 | 4,12E-03 | 4,64E-03 |
| 9 | Eutrophication, marine | mPt | 2,71E-02 | 9,49E-02 | 1,22E-01 |
| 10 | Eutrophication, terrestrial | mPt | 1,26E-03 | 1,22E-03 | 2,48E-03 |
| 11 | Ecotoxicity, freshwater | mPt | 4,52E-03 | 5,06E-02 | 5,51E-02 |
| 12 | Land use | mPt | 6,87E-03 | 7,69E-02 | 8,38E-02 |
| 13 | Water use | mPt | 3,13E-02 | 4,15E-02 | 7,29E-02 |
| 14 | Resource use, fossils | mPt | 6,70E-05 | 6,97E-05 | 1,37E-04 |
| 15 | Resource use, minerals and metals | mPt | -3,96E-04 | -3,55E-04 | -7,51E-04 |
| 16 | Climate change – Fossil | mPt | 2,71E-01 | 2,89E-01 | 5,60E-01 |
| 17 | Climate change – Biogenic | mPt | 7,83E-04 | 8,03E-04 | 1,59E-03 |
| 18 | Climate change – Land use and LU change | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 19 | Human toxicity, non-cancer – organics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 20 | Human toxicity, non-cancer – inorganics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 21 | Human toxicity, non-cancer – metals | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 22 | Human toxicity, cancer – organics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 23 | Human toxicity, cancer – inorganics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 24 | Human toxicity, cancer – metals | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 25 | Ecotoxicity, freshwater – organics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 26 | Ecotoxicity, freshwater – inorganics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 27 | Ecotoxicity, freshwater – metals | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 28 | Ecotoxicity, freshwater – metals | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

Tabella 19 – Cippato di classe B – Pesatura: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 t)

| n. | Categoria di impatto | Unità di misura | UPSTREAM | CORE | DISTRIBUZIONE |
|----|---|-----------------|-----------|-----------|---------------|
| 1 | Ozone depletion | mPt | 4,60E-02 | 2,40E-01 | 4,14E-01 |
| 2 | Ionising radiation | mPt | 4,02E-03 | 5,95E-05 | 4,35E-03 |
| 3 | Photochemical ozone formation | mPt | 1,11E-02 | 1,65E-04 | 1,21E-02 |
| 4 | Particulate matter | mPt | 1,46E-02 | 1,53E-03 | 1,12E-01 |
| 5 | Human toxicity, non-cancer | mPt | 1,67E-02 | 2,91E-03 | 2,13E-01 |
| 6 | Human toxicity, cancer | mPt | 1,57E-03 | 2,02E-04 | 1,48E-02 |
| 7 | Acidification | mPt | 4,61E-04 | 5,63E-05 | 4,12E-03 |
| 8 | Eutrophication, freshwater | mPt | 2,58E-02 | 1,30E-03 | 9,49E-02 |
| 9 | Eutrophication, marine | mPt | 1,24E-03 | 1,67E-05 | 1,24E-03 |
| 10 | Eutrophication, terrestrial | mPt | 3,83E-03 | 6,91E-04 | 5,06E-02 |
| 11 | Ecotoxicity, freshwater | mPt | 5,82E-03 | 1,05E-03 | 7,69E-02 |
| 12 | Land use | mPt | 3,08E-02 | 5,68E-04 | 4,16E-02 |
| 13 | Water use | mPt | 6,61E-05 | 9,52E-07 | 9,22E-05 |
| 14 | Resource use, fossils | mPt | -3,91E-04 | -4,86E-06 | -3,33E-04 |
| 15 | Resource use, minerals and metals | mPt | 2,67E-01 | 3,95E-03 | 2,89E-01 |
| 16 | Climate change – Fossil | mPt | 7,72E-04 | 1,10E-05 | 8,27E-04 |
| 17 | Climate change – Biogenic | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 18 | Climate change – Land use and LU change | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 19 | Human toxicity, non-cancer – organics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 20 | Human toxicity, non-cancer – inorganics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 21 | Human toxicity, non-cancer – metals | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 22 | Human toxicity, cancer – organics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 23 | Human toxicity, cancer – inorganics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 24 | Human toxicity, cancer – metals | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 25 | Ecotoxicity, freshwater – organics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 26 | Ecotoxicity, freshwater – inorganics | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 27 | Ecotoxicity, freshwater – metals | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 28 | Ecotoxicity, freshwater – metals | mPt | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |



Figura 9 – Cippato di classe B – Pesatura: contributo processi all’impatto delle fasi UPSTREAM e CORE

8.4 Analisi di sensitività

8.4.1 Analisi di sensitività cippato di classe A

L’analisi di sensitività condotta sui i trasporti si è focalizzata sulla valutazione delle variazioni sui risultati indotte dalla:

- scelta di un di dataset di background differente per la modellazione del mezzo di trasporto utilizzato per la distribuzione del cippato, adottando in particolare il dataset *Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro4 {RER} | market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4 | Cut-off, U*, invece del dataset *Transport, freight, lorry, unspecified {RER} | market for transport, freight, lorry, unspecified | Cut-off, U*;

- scelta di una filiera “lunga”, per cui le lavorazioni di cippatura sono ipotizzate come svolte da terzi, con distanze in gioco maggiori rispetto ai dati di filiera sia per il trasporto delle attrezzature che del cippato, adottando in particolare una distanza di 80 km per il trasporto della cippatrice in cantiere e di 250 km per la distribuzione del cippato.

Tabella 20 – Cippato di classe A – Sensività trasporti: scelta del mezzo

| Categoria di impatto | Unità di misura | Impatto totale studio di filiera | Impatto totale con trasporto tramite mezzo 7.5-16t EURO4 | Variazione |
|---|-----------------|----------------------------------|--|------------|
| Climate change | kg CO2 eq | 2,68E+01 | 3,15E+01 | +17,8% |
| Ozone depletion | kg CFC11 eq | 7,36E-06 | 8,46E-06 | +15,0% |
| Ionising radiation | kBq U-235 eq | 2,03E+00 | 2,34E+00 | +14,9% |
| Photochemical ozone formation | kg NMVOC eq | 6,93E-02 | 8,15E-02 | +17,7% |
| Particulate matter | disease inc. | 8,79E-07 | 9,31E-07 | +5,8% |
| Human toxicity, non-cancer | CTUh | 1,23E-07 | 1,37E-07 | +11,2% |
| Human toxicity, cancer | CTUh | 2,28E-09 | 1,67E-09 | -26,5% |
| Acidification | mol H+ eq | 8,04E-02 | 9,48E-02 | +18,0% |
| Eutrophication, freshwater | kg P eq | 1,86E-04 | 2,07E-04 | +11,2% |
| Eutrophication, marine | kg N eq | 2,03E-02 | 2,46E-02 | +20,8% |
| Eutrophication, terrestrial | mol N eq | 2,23E-01 | 2,70E-01 | +21,0% |
| Ecotoxicity, freshwater | CTUe | 1,58E+02 | 1,82E+02 | +14,9% |
| Land use | Pt | 1,63E+00 | 1,84E+00 | +13,2% |
| Water use | m3 depriv. | -6,18E-02 | -7,61E-02 | +23,1% |
| Resource use, fossils | MJ | 4,51E+02 | 5,19E+02 | +14,9% |
| Resource use, minerals and metals | kg Sb eq | 1,73E-06 | 1,93E-06 | +11,7% |
| Climate change - Fossil | kg CO2 eq | 2,68E+01 | 3,15E+01 | +17,8% |
| Climate change - Biogenic | kg CO2 eq | 2,05E-03 | 2,31E-03 | +12,5% |
| Climate change - Land use and LU change | kg CO2 eq | 3,46E-04 | 3,82E-04 | +10,4% |
| Human toxicity, non-cancer - organics | CTUh | 1,63E-08 | 7,66E-09 | -53,0% |
| Human toxicity, non-cancer - inorganics | CTUh | 2,85E-08 | 3,74E-08 | +31,0% |
| Human toxicity, non-cancer - metals | CTUh | 7,85E-08 | 9,22E-08 | +17,4% |
| Human toxicity, cancer - organics | CTUh | 1,47E-09 | 7,32E-10 | -50,2% |
| Human toxicity, cancer - inorganics | CTUh | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,0% |
| Human toxicity, cancer - metals | CTUh | 8,07E-10 | 9,41E-10 | +16,5% |
| Ecotoxicity, freshwater - organics | CTUe | 2,89E+01 | 3,32E+01 | +14,9% |
| Ecotoxicity, freshwater - inorganics | CTUe | 7,42E+01 | 8,53E+01 | +15,0% |
| Ecotoxicity, freshwater - metals | CTUe | 5,51E+01 | 6,32E+01 | +14,8% |

Tabella 21 – Cippato di classe A – Sensitività trasporti: filiera “lunga”

| Categoria di impatto | Unità di misura | Impatto totale studio di filiera | Impatto totale filiera “lunga” | Variazione |
|---|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|------------|
| Climate change | kg CO2 eq | 2,68E+01 | 5,49E+01 | +105,3% |
| Ozone depletion | kg CFC11 eq | 7,36E-06 | 1,39E-05 | +89,3% |
| Ionising radiation | kBq U-235 eq | 2,03E+00 | 3,84E+00 | +88,6% |
| Photochemical ozone formation | kg NMVOC eq | 6,93E-02 | 2,34E-01 | +237,6% |
| Particulate matter | disease inc. | 8,79E-07 | 3,32E-06 | +277,9% |
| Human toxicity, non-cancer | CTUh | 1,23E-07 | 4,42E-07 | +259,7% |
| Human toxicity, cancer | CTUh | 2,28E-09 | 7,93E-09 | +248,5% |
| Acidification | mol H+ eq | 8,04E-02 | 2,28E-01 | +183,8% |
| Eutrophication, freshwater | kg P eq | 1,86E-04 | 3,14E-04 | +68,8% |
| Eutrophication, marine | kg N eq | 2,03E-02 | 7,79E-02 | +283,4% |
| Eutrophication, terrestrial | mol N eq | 2,23E-01 | 8,55E-01 | +283,5% |
| Ecotoxicity, freshwater | CTUe | 1,58E+02 | 3,21E+02 | +103,1% |
| Land use | Pt | 1,63E+00 | 2,92E+00 | +79,6% |
| Water use | m3 depriv. | -6,18E-02 | -1,43E-01 | +131,1% |
| Resource use, fossils | MJ | 4,51E+02 | 8,53E+02 | +88,9% |
| Resource use, minerals and metals | kg Sb eq | 1,73E-06 | 2,97E-06 | +71,3% |
| Climate change - Fossil | kg CO2 eq | 2,68E+01 | 5,49E+01 | +105,3% |
| Climate change - Biogenic | kg CO2 eq | 2,05E-03 | 3,60E-03 | +75,5% |
| Climate change - Land use and LU change | kg CO2 eq | 3,46E-04 | 5,69E-04 | +64,5% |
| Human toxicity, non-cancer - organics | CTUh | 1,63E-08 | 6,77E-08 | +315,3% |
| Human toxicity, non-cancer - inorganics | CTUh | 2,85E-08 | 8,73E-08 | +206,2% |
| Human toxicity, non-cancer - metals | CTUh | 7,85E-08 | 2,88E-07 | +266,4% |
| Human toxicity, cancer - organics | CTUh | 1,47E-09 | 5,95E-09 | +305,1% |
| Human toxicity, cancer - inorganics | CTUh | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,0% |
| Human toxicity, cancer - metals | CTUh | 8,07E-10 | 1,98E-09 | +145,6% |
| Ecotoxicity, freshwater - organics | CTUe | 2,89E+01 | 5,48E+01 | +89,7% |
| Ecotoxicity, freshwater - inorganics | CTUe | 7,42E+01 | 1,40E+02 | +89,4% |
| Ecotoxicity, freshwater - metals | CTUe | 5,51E+01 | 1,26E+02 | +128,7% |

L’analisi di sensitività condotta sulle operazioni “in bosco”, processi rilevanti ai fini dell’impatto ambientale complessivo è stata focalizzata sulle lavorazioni eseguite con le diverse attrezzature, facendo riferimento ai dati medi statistici per esse, identificati come di “letteratura”, reperiti da (Argnani, 2019).

Tabella 22 – Cippato di classe A – Sensitività lavorazioni “in bosco”

| Categoria di impatto | Unità di misura | Lavorazioni filiera | Lavorazioni "letteratura" | Variazione |
|---|-----------------|---------------------|---------------------------|------------|
| Climate change | kg CO2 eq | 1,91E+01 | 2,49E+01 | +30,1% |
| Ozone depletion | kg CFC11 eq | 5,58E-06 | 5,40E-06 | -3,2% |
| Ionising radiation | kBq U-235 eq | 1,55E+00 | 1,48E+00 | -4,3% |
| Photochemical ozone formation | kg NMVOC eq | 2,36E-02 | 1,94E-02 | -17,9% |
| Particulate matter | disease inc. | 1,99E-07 | 1,77E-07 | -11,2% |
| Human toxicity, non-cancer | CTUh | 3,41E-08 | 3,12E-08 | -8,5% |
| Human toxicity, cancer | CTUh | 7,05E-10 | 5,87E-10 | -16,8% |
| Acidification | mol H+ eq | 3,95E-02 | 3,67E-02 | -7,1% |
| Eutrophication, freshwater | kg P eq | 1,52E-04 | 1,15E-04 | -24,6% |
| Eutrophication, marine | kg N eq | 4,28E-03 | 4,02E-03 | -6,2% |
| Eutrophication, terrestrial | mol N eq | 4,69E-02 | 4,41E-02 | -6,0% |
| Ecotoxicity, freshwater | CTUe | 1,14E+02 | 1,09E+02 | -4,5% |
| Land use | Pt | 1,28E+00 | 1,08E+00 | -15,8% |
| Water use | m3 depriv. | -3,88E-02 | -8,35E-02 | +115,2% |
| Resource use, fossils | MJ | 3,43E+02 | 3,30E+02 | -3,8% |
| Resource use, minerals and metals | kg Sb eq | 1,41E-06 | 1,05E-06 | -25,5% |
| Climate change - Fossil | kg CO2 eq | 1,91E+01 | 2,49E+01 | +30,1% |
| Climate change - Biogenic | kg CO2 eq | 1,64E-03 | 1,30E-03 | -21,0% |
| Climate change - Land use and LU change | kg CO2 eq | 2,88E-04 | 1,94E-04 | -32,4% |
| Human toxicity, non-cancer - organics | CTUh | 1,97E-09 | 1,53E-09 | -22,3% |
| Human toxicity, non-cancer - inorganics | CTUh | 1,22E-08 | 1,15E-08 | -5,8% |
| Human toxicity, non-cancer - metals | CTUh | 2,03E-08 | 1,86E-08 | -8,7% |
| Human toxicity, cancer - organics | CTUh | 2,20E-10 | 1,59E-10 | -27,7% |
| Human toxicity, cancer - inorganics | CTUh | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,0% |
| Human toxicity, cancer - metals | CTUh | 4,85E-10 | 4,28E-10 | -11,8% |
| Ecotoxicity, freshwater - organics | CTUe | 2,19E+01 | 2,11E+01 | -3,3% |
| Ecotoxicity, freshwater - inorganics | CTUe | 5,62E+01 | 5,44E+01 | -3,2% |
| Ecotoxicity, freshwater - metals | CTUe | 3,57E+01 | 3,31E+01 | -7,3% |

8.4.2 Analisi di sensitività cippato di classe B

L'analisi di sensitività condotta sui i trasporti si è focalizzata sulla valutazione delle variazioni sui risultati indotte dalla:

- scelta di un di dataset di background differente per la modellazione del mezzo di trasporto utilizzato per la distribuzione del cippato, adottando in particolare il dataset *Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro4 {RER}* | market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4 | Cut-off, U, invece del dataset *Transport, freight, lorry, unspecified {RER}* | market for transport, freight, lorry, unspecified | Cut-off, U;

- una filiera di produzione “lunga”, per cui tutte le lavorazioni sono ipotizzate come svolte nell’ambito di un raggio di azione considerato rappresentativo di una scala geografica “extra-regionale”, adottando in particolare una distanza di 80 km per il trasporto della cippatrice in cantiere e di 500 km per la distribuzione del cippato.

Tabella 23 – Cippato di classe B – Sensitività trasporti: scelta del mezzo

| Categoria di impatto | Unità di misura | Impatto totale studio di filiera | Impatto totale con trasporto tramite mezzo 7.5-16t EURO4 | Variazione |
|---|-----------------|----------------------------------|--|------------|
| Climate change | kg CO2 eq | 2,69E+01 | 3,71E+01 | +37,9% |
| Ozone depletion | kg CFC11 eq | 7,17E-06 | 9,53E-06 | +33,0% |
| Ionising radiation | kBq U-235 eq | 1,97E+00 | 2,62E+00 | +33,0% |
| Photochemical ozone formation | kg NMVOC eq | 1,09E-01 | 1,35E-01 | +24,2% |
| Particulate matter | disease inc. | 1,55E-06 | 1,66E-06 | +7,1% |
| Human toxicity, non-cancer | CTUh | 2,07E-07 | 2,36E-07 | +14,3% |
| Human toxicity, cancer | CTUh | 3,68E-09 | 2,39E-09 | -35,1% |
| Acidification | mol H+ eq | 1,09E-01 | 1,40E-01 | +28,4% |
| Eutrophication, freshwater | kg P eq | 1,42E-04 | 1,87E-04 | +31,5% |
| Eutrophication, marine | kg N eq | 3,64E-02 | 4,54E-02 | +24,9% |
| Eutrophication, terrestrial | mol N eq | 3,99E-01 | 4,99E-01 | +25,1% |
| Ecotoxicity, freshwater | CTUe | 1,62E+02 | 2,12E+02 | +31,2% |
| Land use | Pt | 1,41E+00 | 1,87E+00 | +32,6% |
| Water use | m3 depriv. | -1,01E-01 | -1,32E-01 | +30,3% |
| Resource use, fossils | MJ | 4,38E+02 | 5,83E+02 | +33,0% |
| Resource use, minerals and metals | kg Sb eq | 1,34E-06 | 1,77E-06 | +32,4% |
| Climate change - Fossil | kg CO2 eq | 2,69E+01 | 3,71E+01 | +37,9% |
| Climate change - Biogenic | kg CO2 eq | 1,70E-03 | 2,25E-03 | +32,2% |
| Climate change - Land use and LU change | kg CO2 eq | 2,48E-04 | 3,25E-04 | +31,2% |
| Human toxicity, non-cancer - organics | CTUh | 3,12E-08 | 1,27E-08 | -59,3% |
| Human toxicity, non-cancer - inorganics | CTUh | 4,17E-08 | 6,06E-08 | +45,5% |
| Human toxicity, non-cancer - metals | CTUh | 1,34E-07 | 1,64E-07 | +21,8% |
| Human toxicity, cancer - organics | CTUh | 2,73E-09 | 1,16E-09 | -57,7% |
| Human toxicity, cancer - inorganics | CTUh | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,0% |
| Human toxicity, cancer - metals | CTUh | 9,47E-10 | 1,23E-09 | +30,2% |
| Ecotoxicity, freshwater - organics | CTUe | 2,82E+01 | 3,74E+01 | +32,7% |
| Ecotoxicity, freshwater - inorganics | CTUe | 7,22E+01 | 9,61E+01 | +33,0% |
| Ecotoxicity, freshwater - metals | CTUe | 6,16E+01 | 7,90E+01 | +28,3% |

Tabella 24 – Cippato di classe B – Sensitività trasporti: filiera “lunga”

| Categoria di impatto | Unità di misura | Impatto totale studio di filiera | Impatto totale filiera “lunga” | Variazione |
|---|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|------------|
| Climate change | kg CO2 eq | 2,69E+01 | 8,49E+01 | +315,7% |
| Ozone depletion | kg CFC11 eq | 7,17E-06 | 2,05E-05 | +286,2% |
| Ionising radiation | kBq U-235 eq | 1,97E+00 | 6,79E+00 | +345,4% |
| Photochemical ozone formation | kg NMVOC eq | 1,09E-01 | 4,83E-01 | +443,9% |
| Particulate matter | disease inc. | 1,55E-06 | 6,80E-06 | +440,0% |
| Human toxicity, non-cancer | CTUh | 2,07E-07 | 9,87E-07 | +477,3% |
| Human toxicity, cancer | CTUh | 3,68E-09 | 3,45E-08 | +937,7% |
| Acidification | mol H+ eq | 1,09E-01 | 4,37E-01 | +400,2% |
| Eutrophication, freshwater | kg P eq | 1,42E-04 | 4,70E-03 | +3275,8% |
| Eutrophication, marine | kg N eq | 3,64E-02 | 1,55E-01 | +426,7% |
| Eutrophication, terrestrial | mol N eq | 3,99E-01 | 1,70E+00 | +425,2% |
| Ecotoxicity, freshwater | CTUe | 1,62E+02 | 9,02E+02 | +556,6% |
| Land use | Pt | 1,41E+00 | 9,11E+02 | +55442,0% |
| Water use | m3 depriv. | -1,01E-01 | 3,31E+00 | -3371,5% |
| Resource use, fossils | MJ | 4,38E+02 | 1,34E+03 | +305,5% |
| Resource use, minerals and metals | kg Sb eq | 1,34E-06 | 2,09E-04 | +15415,8% |
| Climate change - Fossil | kg CO2 eq | 2,69E+01 | 8,49E+01 | +315,5% |
| Climate change - Biogenic | kg CO2 eq | 1,70E-03 | 2,11E-02 | +1328,9% |
| Climate change - Land use and LU change | kg CO2 eq | 2,48E-04 | 2,47E-02 | +9219,7% |
| Human toxicity, non-cancer - organics | CTUh | 3,12E-08 | 1,25E-07 | +400,6% |
| Human toxicity, non-cancer - inorganics | CTUh | 4,17E-08 | 2,00E-07 | +479,9% |
| Human toxicity, non-cancer - metals | CTUh | 1,34E-07 | 6,65E-07 | +494,3% |
| Human toxicity, cancer - organics | CTUh | 2,73E-09 | 1,67E-08 | +613,4% |
| Human toxicity, cancer - inorganics | CTUh | 0,00E+00 | 1,24E-16 | 0,0% |
| Human toxicity, cancer - metals | CTUh | 9,47E-10 | 1,77E-08 | +1870,5% |
| Ecotoxicity, freshwater - organics | CTUe | 2,82E+01 | 8,12E+01 | +288,2% |
| Ecotoxicity, freshwater - inorganics | CTUe | 7,22E+01 | 2,63E+02 | +364,6% |
| Ecotoxicity, freshwater - metals | CTUe | 6,12E+01 | 5,58E+02 | +911,3% |

L’analisi di sensitività condotta sulle operazioni “in bosco”, processi rilevanti ai fini dell’impatto ambientale complessivo è stata focalizzata sulle lavorazioni eseguite con le diverse attrezzature, facendo riferimento ai dati medi statistici per esse, identificati come di “letteratura”, reperiti da (Argnani, 2019).

Tabella 25 – Cippato di classe B – Sensitività lavorazioni “in bosco”

| Categoria di impatto | Unità di misura | Lavorazioni filiera | Lavorazioni "letteratura" | Variazione |
|---|-----------------|---------------------|---------------------------|------------|
| Climate change | kg CO2 eq | 1,08E+01 | 1,08E+01 | +0,1% |
| Ozone depletion | kg CFC11 eq | 3,41E-06 | 2,91E-06 | -14,8% |
| Ionising radiation | kBq U-235 eq | 9,38E-01 | 7,99E-01 | -14,9% |
| Photochemical ozone formation | kg NMVOC eq | 1,24E-02 | 1,04E-02 | -16,1% |
| Particulate matter | disease inc. | 1,11E-07 | 9,47E-08 | -14,4% |
| Human toxicity, non-cancer | CTUh | 1,97E-08 | 1,68E-08 | -14,4% |
| Human toxicity, cancer | CTUh | 3,66E-10 | 3,08E-10 | -15,8% |
| Acidification | mol H+ eq | 2,31E-02 | 1,96E-02 | -14,9% |
| Eutrophication, freshwater | kg P eq | 7,13E-05 | 5,84E-05 | -18,2% |
| Eutrophication, marine | kg N eq | 2,53E-03 | 2,18E-03 | -13,7% |
| Eutrophication, terrestrial | mol N eq | 2,77E-02 | 2,39E-02 | -13,7% |
| Ecotoxicity, freshwater | CTUe | 6,84E+01 | 5,82E+01 | -14,9% |
| Land use | Pt | 6,82E-01 | 5,69E-01 | -16,5% |
| Water use | m3 depriv. | -5,27E-02 | -4,83E-02 | -8,2% |
| Resource use, fossils | MJ | 2,09E+02 | 1,78E+02 | -14,8% |
| Resource use, minerals and metals | kg Sb eq | 6,51E-07 | 5,32E-07 | -18,4% |
| Climate change - Fossil | kg CO2 eq | 1,08E+01 | 1,08E+01 | 0,1% |
| Climate change - Biogenic | kg CO2 eq | 8,34E-04 | 6,89E-04 | -17,4% |
| Climate change - Land use and LU change | kg CO2 eq | 1,25E-04 | 1,01E-04 | -19,8% |
| Human toxicity, non-cancer - organics | CTUh | 9,87E-10 | 8,47E-10 | -14,1% |
| Human toxicity, non-cancer - inorganics | CTUh | 7,28E-09 | 6,21E-09 | -14,7% |
| Human toxicity, non-cancer - metals | CTUh | 1,16E-08 | 9,96E-09 | -14,3% |
| Human toxicity, cancer - organics | CTUh | 1,00E-10 | 8,42E-11 | -15,8% |
| Human toxicity, cancer - inorganics | CTUh | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,0% |
| Human toxicity, cancer - metals | CTUh | 2,66E-10 | 2,24E-10 | -15,7% |
| Ecotoxicity, freshwater - organics | CTUe | 1,34E+01 | 1,14E+01 | -14,8% |
| Ecotoxicity, freshwater - inorganics | CTUe | 3,44E+01 | 2,93E+01 | -14,7% |
| Ecotoxicity, freshwater - metals | CTUe | 2,07E+01 | 1,75E+01 | -15,2% |

9 Interpretazione dei risultati

L'interpretazione di uno studio di ciclo di vita, svolta sulla base di una analisi critica dei risultati delle fasi precedenti, è finalizzata a comprendere la ragionevolezza del risultato finale di tutto l'impatto ambientale, trarre le conclusioni, spiegare le limitazioni dei risultati ottenuti, nonché alla possibilità di fornire delle raccomandazioni sulla base degli stessi risultati.

Le evidenze dell'interpretazione dei risultati del presente studio LCA di filiera, svolta in accordo alle indicazioni della ISO 14040, sono riportate nei paragrafi successivi.

9.1 Categorie di impatto rilevanti

Come emerge chiaramente dai risultati della valutazione degli impatti, in particolare dalle Tabelle 6 e 7, le categorie di più rilevanti sia per il cippato di classe A che per il cippato di classe B sono: “Climate Change” e “Resource use, fossils”.

Tale evidenza è diretta conseguenza della natura del processo produttivo del cippato forestale, le cui lavorazioni non prevedono l’impiego di particolari input oltre ai combustibili (gasolio e benzina) e agli oli lubrificanti utilizzati congiuntamente ad essi all’interno delle diverse attrezzature.

Ulteriore ragione della rilevanza preponderante di tali categorie di impatto, risiede nella natura dei dati disponibili e delle elaborazioni svolte sulla base di essi. I dati relativi ai consumi di combustibili sono infatti per la maggior parte primari o, comunque, caratterizzati da una rappresentatività molto buona e la stima delle emissioni a partire da tali dati ha riguardato solo i principali gas ad effetto serra (CO₂, CH₄ e N₂O), per il calcolo dei quali si dispone di una metodologia consolidata (IPCC, 2006), tralasciando altre emissioni che potrebbero essere non trascurabili ed avere effetti apprezzabili anche su altre categorie di impatto.

9.2 Fasi del ciclo di vita e processi rilevanti

A livello di fasi del ciclo di vita, come si può notare nelle Tabelle 8 e 9, la produzione del cippato di classe A contribuisce in maniera significativa a diverse categorie di impatto e, in particolare, alla categoria “Climate change – Fossil” con un contributo del 72%, alle categorie “Climate change – Biogenic” e “Climate change – Land use and LU change” con valori rispettivamente dell’81% e dell’84%, nonché alla categoria “Resource use, fossils” con un valore del 77%. La distribuzione del prodotto rappresenta invece la fase più rilevante per altre categorie di impatto più o meno direttamente influenzate dalle emissioni associate all’utilizzo di combustibili per le operazioni di trasporto, quali: “Human toxicity, cancer - organics” e “Human toxicity, non-cancer - organics”, con contributi rispettivamente pari all’85% e all’83%.

La fase “core” è la principale responsabile dell’impatto generato dalla produzione del cippato per la categoria “Climate change – Fossil”. Tale evidenza è essenzialmente conseguenza della natura delle operazioni svolte in bosco, caratterizzate dall’utilizzo di combustibili (gasolio e benzina) nelle varie attrezzature, e della metodologia di stima delle conseguenti emissioni dirette (che rappresentano, l’84% dell’impatto della produzione e il 61% dell’impatto totale) focalizzata sui gas serra. La fase

“upstream” contribuisce invece in maniera rilevante all’impatto generato dalla produzione per tutte le altre categorie di impatto, con contributi variabili dall’83% al 99%.

Il dettaglio dei contributi dei vari processi alle fasi “upstream” e “core” (vedi Figure 4, 6 e 8) indica come particolarmente rilevanti, praticamente per tutte le categorie di impatto, il processo di produzione del diesel e il processo di trasporto della cippatrice in cantiere.

Per quanto riguarda il cippato di classe B, come emerge dalle Tabelle 10 e 11, vista la natura di sottoprodotto dei rami e, quindi, le operazioni di allocazione già descritte, la produzione fornisce un contributo minore all’impatto di ciclo di vita e diviene invece particolarmente rilevante il contributo della distribuzione del prodotto al cliente finale (in virtù delle distanze in gioco più elevate). In particolare, la distribuzione è responsabile del 50% o più dell’impatto totale praticamente per tutte le categorie, con contributi che arrivano anche al 92-95% (come, ad esempio, per le categorie “Particulate matter” e “Human toxicity, cancer – organics”).

La fase “core” è anche in questo caso la principale responsabile dell’impatto generato dalla produzione del cippato per la categoria “Climate change – Fossil”, anche se il suo contributo all’impatto totale per tale categoria (34%) risulta meno rilevante. Anche la fase “upstream” mantiene la sua rilevanza all’interno della produzione per tutte le altre categorie di impatto, con contributi variabili dal 71% al 99%, ma fornisce un contributo significativamente minore all’impatto totale e rilevante solo per un numero limitato di categorie di impatto, ovvero: “Climate change – Biogenic”, “Eutrophication, freshwater”, per le quali contribuisce rispettivamente con il 53% e il 50%.

Il dettaglio dei contributi dei vari processi alle fasi “upstream” e “core” (vedi Figure 5, 7 e 9) conferma anche per il cippato di classe B come particolarmente rilevanti, praticamente per tutte le categorie di impatto, il processo di produzione del diesel e il processo di trasporto della cippatrice in cantiere.

9.3 Flussi elementari rilevanti

Il consumo di combustibili è chiaramente emerso come l’aspetto maggiormente rilevante in termini di uso di materiali e, in particolare, il diesel è risultato il prodotto più rilevante in termini di consumo, sia per il cippato di classe A che per il cippato di classe B. Tale rilevanza è da associare sia ai consumi apprezzabilmente più elevati tale combustibile rispetto agli altri materiali in input (benzina e olio lubrificante), nonostante l’impatto specifico legato alla produzione del diesel (ad es. kgCO₂eq/kg) sia leggermente più basso di quello degli altri materiali. A conferma di quanto appena detto, una

analisi dell'inventario condotta in termini di risorse per la fase "upstream", ha identificato come flusso più rilevante in termini di materie prime (96% sul totale dell'inventario) la sostanza "Oil, crude".

A livello di flussi elementari in output dal sistema, i flussi più rilevanti per il cippato di classe A sono invece associati alla fase "core" e, in particolare, risultano essere le emissioni associate alle operazioni di esbosco, carico e spostamento tronchi e cippatura. Tale rilevanza è legata alle caratteristiche delle attrezzature (consumi specifici) e delle operazioni stesse (durata) che danno origine a valori di consumo dei combustibili (e relative emissioni) apprezzabilmente più elevati rispetto ad altre lavorazioni.

Per quanto riguarda invece la fase "core" del cippato di classe B, vista la natura di sottoprodotto dei rami perde rilevanza la fase di esbosco (associata ad essi tramite allocazione, in quanto operazione strettamente connessa alla produzione del cippato di classe A) e i flussi in output più rilevanti in assoluto sono le emissioni associate al carico e spostamento dei rami e alla cippatura.

10 Conclusioni

Nel presente report, a seguito di una descrizione della filiera del cippato forestale, delle sue caratteristiche peculiari, dei prodotti rappresentativi e delle principali tipologie di impatto (sia ambientale che socio-economico) che la contraddistinguono, sono presentati i risultati di uno specifico studio LCA applicato alla filiera stessa. Lo studio è stato svolto sulla base i dati relativi alla regione Friuli Venezia Giulia e può quindi essere considerato rappresentativo, sia in termini geografici che tecnologici, di una filiera produttiva sviluppata in ambiente montano (situazione del Nord-Est del nostro Paese, ovvero di altre Regioni italiane in cui la produzione di biomassa legnosa avviene prevalentemente in aree montane o assimilabili). All'interno della filiera, in particolare, sono stati presi in considerazione due differenti prodotti ritenuti rappresentativi e particolarmente rilevanti in termini di "dimensione geografica" (carattere generalmente "locale") e "composizione di mercato" (ovvero, tipologie di prodotto più vendute ed utilizzate):

- un cippato forestale di buona qualità sulla base della norma UNI ISO 17225-4 e rappresentativo delle classi A1 e A2 da essa individuate, normalmente impiegato in impianti di piccole dimensioni per la produzione di energia termica o a fini cogenerativi (cippato di classe A);

- un cippato di classe B secondo i criteri della norma UNI ISO 17225-4, derivante dai residui delle attività forestali, principalmente impiegato in grandi centrali sia di produzione elettrica che cogenerative.

Lo studio LCA è stato svolto adottando un approccio “cradle-to-user”, ovvero un approccio che considera tutti i processi fino alla consegna al cliente finale e non le successive fasi di uso e fine vita, utilizzando dati di qualità prevalentemente buona, ovvero dati primari disponibili a livello di filiera raccolti presso le imprese coinvolte e dati di letteratura e/o di settore rappresentativi di filiere regionali analoghe a quella considerata e delle tecnologie in essa impiegate. È stato considerato inoltre il trasporto del cippato alla centrale di produzione di energia, mantenendo distinta tale fase di distribuzione nell’analisi e nella presentazione dei risultati.

La principale limitazione dello studio è legata alla carenza di dati primari per il processo di cippatura (trasporto in cantiere delle attrezzature, consumi energetici del processo di cippatura, trasporto del cippato agli impianti di produzione dell’energia), anche se i dati secondari che hanno consentito di sopperire a tale carenza sono ritenuti di qualità buona.

I risultati dello studio LCA, ottenuti tramite metodo valutazione degli impatti il metodo EF 3.0, che costituisce il metodo di valutazione dell’iniziativa della Commissione Europea sull’impronta ambientale e consente di ottenere un profilo di impatto completo a livello prodotto, indicano che:

- la produzione del cippato è la fase più rilevante in termini di impatto per quanto riguarda il cippato di classe A, mentre per il cippato di classe B diviene particolarmente significativo il contributo della distribuzione del cippato (viste le distanze più elevate caratteristiche per l’utilizzazione di questo prodotto);
- le categorie di impatto “Climate Change” e “Resource use, fossils” sono le più rilevanti sia per il cippato di classe A che per il cippato di classe B;
- per la produzione del cippato di classe A, la fase “core” del ciclo di vita fornisce un contributo rilevante a tutte le categorie di impatto più o meno direttamente collegate alle emissioni associate all’utilizzo dei combustibili, mentre la fase “upstream” contribuisce in maniera rilevante alle rimanenti categorie di impatto;
- per la produzione del cippato di classe B, che avviene a partire da un sottoprodotto (rami) di quello di classe A, la fase “core” è comunque la principale responsabile degli impatti per le

categorie collegate alle emissioni associate all'utilizzo dei combustibili e la fase "upstream" mantiene la sua rilevanza per tutte le altre categorie di impatto;

- nell'ambito della fase "upstream", la produzione del diesel utilizzato nelle varie attrezzature risulta essere il processo più rilevante sia per il cippato di classe A che per il cippato di classe B, mentre nella fase "core" il processo più rilevante è risultato il trasporto della cippatrice in cantiere, per la maggior parte delle categorie di impatto;
- in termini di flussi elementari, i più rilevanti sono rappresentati dalle emissioni associate alle operazioni carico e spostamento tronchi e cippatura (per il cippato di classe A è significativo anche l'esbosco).

I risultati, facendo riferimento alla categoria di impatto "Climate Change", che rappresenta una delle più rilevanti, hanno evidenziato:

- un impatto complessivo pari a 26,76 kgCO₂eq/t per il cippato di classe A, di cui 19,3 kgCO₂eq/t associate alla sua produzione e 7,43 kgCO₂eq/t alla sua distribuzione;
- un impatto complessivo pari a 26,91 kgCO₂eq/t per il cippato di classe A, di cui 10,98 kgCO₂eq/t associate alla sua produzione e 15,93 kgCO₂eq/t alla sua distribuzione;

Nonostante il confronto con la letteratura esistente sia complicato a causa delle differenze anche sostanziali nelle caratteristiche delle filiere e delle modalità di svolgimento delle operazioni al loro interno, così come nelle specie di legno processato, i risultati ottenuti risultano essere sostanzialmente in linea con quelli di studi analoghi, dai quali emergono valori confrontabili per le principali categorie di impatto (ad es. impatto variabile da circa 26 a circa 36 kgCO₂eq/t con essiccazione in forno ottenuti da Schweier et al., 2016; impatto dell'ordine di 26-27 kgCO₂eq/t indicati da Grigolato et al., 2020; range di impatto per la fase di raccolta di 15,7-18,2 kgCO₂eq/t con essiccazione in forno calcolati da Fiala e Bacenetti, 2012) ed indicazioni del tutto analoghe sulle fasi e i processi più rilevanti (fasi di esbosco, cippatura e trasporto identificati in linea generale come quelle caratterizzata dai principali contributi all'impatto).

L'analisi di sensitività svolta focalizzando l'attenzione sulle scelte di modellazione del mezzo di trasporto per la distribuzione del cippato (mezzo da 7.5-16 tonnellate EURO4, invece del mezzo generico con caratteristiche non specificate) ha evidenziato come la scelta del mezzo di trasporto

risultati particolarmente rilevante ai fini dell'impatto di ciclo di vita, generando variazioni significative in tutte le categorie di impatto. In particolare, si è osservato che:

- per il cippato di classe A le variazioni associate alle categorie più rilevanti, ovvero "Climate Change" e "Resource use, fossils", sono risultate rispettivamente pari a +17,8% e +14,9%;
- per il cippato di classe B le variazioni associate alle categorie più rilevanti, ovvero "Climate Change" e "Resource use, fossils", sono ancora più rilevanti e rispettivamente pari a +37,9% e +33,0%.

L'analisi di sensitività svolta invece sul trasporto del cippato presso l'impianto di produzione dell'energia e sul trasporto delle attrezzature necessarie alla cippatura in cantiere, identificati come i principali parametri di incertezza che possono variare in maniera significativa a seconda delle "caratteristiche" delle lavorazioni (interne all'azienda che gestisce il cantiere forestale o svolte da parte di terzi), ha evidenziato chiaramente come la distribuzione del prodotto sia uno degli aspetti chiave in ottica di impatto di ciclo di vita, mostrando che:

- per il cippato di classe A una filiera "lunga" genera un impatto praticamente doppio per la categoria "Climate Change" (+105,3%) e un incremento particolarmente significativo per l'impatto associato alla categoria "Resource use, fossils" (+88,9%);
- per il cippato di classe B, nel caso di filiera "lunga", gli incrementi associati a tali categorie di impatto risultano essere ancora più significativi (+315,7% e +305,5% rispettivamente per le categorie "Climate Change" e "Resource use, fossils").

Una ulteriore analisi di sensitività è stata eseguita sulle operazioni "in bosco", essendo esse rilevanti ai fini dell'impatto ambientale complessivo del processo di produzione del cippato forestale ed avendo riscontrato per esse una variabilità sensibile dei dati di inventario tra le varie fonti consultate. L'analisi è in questo caso stata focalizzata esclusivamente sulle lavorazioni eseguite con le diverse attrezzature (escludendo quindi state le operazioni di trasporto in cantiere delle medesime) e i risultati ottenuti mostrano che:

- gli impatti ambientali ottenuti dallo studio di filiera sono confrontabili con quelli calcolati attraverso l'utilizzo di dati statistici di letteratura specifici per le diverse attrezzature, con delle variazioni sensibili per le varie categorie di impatto (e, in particolare, per quelle più rilevanti), che non sono comunque tali da poter ritenere anomalo lo scostamento dei risultati;

- in termini di impatti più rilevanti, per il cippato di classe A si osserva un incremento dell'impatto dell'ordine del 30% circa per la categoria "Climate Change", mentre per la categoria "Resource use, fossils" si riscontra una riduzione pari al 4% circa. Per il cippato di classe B, la situazione è analoga e si osserva per la categoria "Climate Change" un impatto sostanzialmente invariato (+0,1%), mentre per la categoria "Resource use, fossils" si riscontra una riduzione pari al 15%.

I risultati dell'analisi di sensitività consentono dunque di affermare che:

- i dati di inventario utilizzati per lo studio di filiera sono effettivamente rappresentativi della stessa dal punto di vista tecnologico e, in particolare, delle lavorazioni "in bosco" che la caratterizzano;
- le operazioni di trasporto (in particolare, il trasporto del cippato all'impianto di produzione dell'energia) sono effettivamente uno degli aspetti fondamentali da tenere in considerazione e valutare con attenzione ai fini dell'implementazione di una filiera di produzione realmente sostenibile dal punto di vista ambientale (e non solo, sono infatti molteplici i benefici economici e sociali associati ad una filiera "locale").

11 Bibliografia

- AIEL, Associazione Italiana Energie Agroforestali (<https://www.aielenergia.it>)
- AIEL, Agriforenergy 2/2020 - "Speciale consumi ed emissioni".
- AIEL, Agriforenergy 3/2015 - "Speciale biomasse sostenibili".
- AIEL, Agriforenergy 3-4/2018 - "Speciale cippato".
- AIEL, 2020 - "Energia dal legno".
- AIEL, 2010 - "il mercato del pellet e del cippato in Italia: produzione, consumo, caratteristiche, qualità certificata, prezzo e prospettive future".
- AIEL, 2021a - Certificazione BIOMASSplus (<https://www.aielenergia.it/gruppo-certificazioni-GPPB>)
- AIEL, 2021b - LIBRO BIANCO SUL FUTURO DEL RISCALDAMENTO A LEGNA E PELLETT
- Agostinetto L., Barella L., Dimartino S., Veneto Agricoltura, AIEL, 2007 - "La produzione di biomasse legnose a scopo energetico, approfondimenti tecnici di filiera." Pubblicazione realizzata da Veneto Agricoltura nell'ambito del Progetto "Alpenenergywood" - Programma Interreg III B Spazio Alpino.
- Argnani A., 2019. Life cycle inventory of timber harvesting by forest machinery. University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna.
- Bosser-Peverelli e Corgnati, 1997, "Approvvigionamento e gestione degli impianti termici alimentati a cippato di legno". Assessorato Economia montana e Foreste, Assessorato Agricoltura, Piemonte.
- Botta E., Derchi P., 2012. Filiere corte in Liguria - Energia dal bosco per le coltivazioni in serra: l'esperienza del Progetto BIOMASS. <https://www.compagniadelleforeste.it/pubblicazioni-cdf.html?download=32:filiera-corte-in-liguria>
- Bracmort K., 2015 "Is Biopower Carbon Neutral?" Congressional research service.

- Brun F., Giau B., Magnani C., 2003. Appunti per la stesura della stima del prezzo di macchiatico. Università degli Studi di Torino. <https://core.ac.uk/download/pdf/301884697.pdf>
- CAM, “Criteri Ambientali Minimi” (<https://www.minambiente.it>)
- Carbone R., 2011. La sostenibilità delle biomasse: l’impatto ecologico delle nuove tipologie di utilizzazione sulle comunità microbiche del suolo in relazione alla diffusione dei marciumi radicali. Università degli Studi di Milano.
- Cermet- Certificazione e ricerca per la qualità, 2009. “Etichette per i prodotti verdi e sistemi di certificazione ambientale delle imprese: come valorizzare il proprio impiego di sostenibilità sul mercato.”
- Chiodo E., Nardella N., 2011, “Valorizzazione energetica di residui e sottoprodotti della filiera vitivinicola in Italia.”
- CBC – CONSORZIO BOSCHI CARNICI, 2012. Piano di gestione forestale della proprietà silvo-pastorale del Consorzio Boschi Carnici - validità 2012 – 2023. <https://www.consorzioboschicarnici.it/il-piano-di-gestione-forestale/>
- CPA 2008 – CPA Eurostat; <https://ec.europa.eu/eurostat/web/cpa/cpa-2008>
- De Gennaro B., Pantaleo A., 2010, “Stato dell’arte sulle tecnologie di conversione energetica delle biomasse”, Relazione tecnica nell’ambito del Progetto CUIA “VALE”.
- Energia, ambiente e innovazione (EAI) - ENEA magazine 2019 “Rivoluzione economica circolare” (eia.enea.it)
- European Commission, 2017. PEFCR Guidance document, - Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.3, December 2017
- ENAMA, 2011. Progetto Biomasse Enama. PARTE 1: BIOMASSE ED ENERGIA - CAPITOLO 2: DISPONIBILITÀ DELLE BIOMASSE. <https://www.enama.it/userfiles/PaginaSezione/files/p1c2.pdf>
- EPD® System, 2020. Product Category Rules: Basic products from forestry
- EurObserv'ER, 2020. Solid biomass barometer 2020. <https://www.eurobserv-er.org/solid-biomass-barometer-2020/>
- FAO, 2020. Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca8753en>
- Fantin V., 2019 “Gli strumenti di economia circolare”, ENEA.
- Fonti P., Giudici F., 2001. Quantitative and Qualitative Recording of Wood Volume from an Over-Aged Chestnut Coppice Forest. *Schweizerische Zeitschrift fur Forstwesen* (2001) 152 (10): 417–424. <https://doi.org/10.3188/szf.2001.0417>
- FSC, Forest Stewardship Council (<https://it.fsc.org>)
- Ferreira J., Viana H., Esteves B., Lopes L., Domingos I., 2014 “Life cycle assessment of residual forestry biomass chips as a power plant: a Portuguese case study”. *Energy Environ Eng.* (2014) 5:86. <https://doi.org/10.1007/s40095-014-0086-4>
- Fiala M., Bacenetti J., 2021. Economic, energetic and environmental impact in short rotation coppice harvesting operations, *Biomass Bioenergy* 42 (2012) 107-113. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.07.004>
- Gandini 2021. International chippers line. <https://www.gandinimeccanica.com/33/chipperenergy>
- Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, 2/3/2015, “Criteri ambientali minimi per l’acquisto di articoli per l’arredo urbano”, (PANGPP)
- Guercio A., 2011, “Mini e micro cogenerazione a biomassa” – Tecnologie e criteri progettuali, Flaccovio Editore.
- Greenhouse Gas Protocol <https://ghgprotocol.org/>
- Grigolato S., Cadei A., Argnani A., Baldo M., Campeotto S., 2020. Cippato forestale, l’efficienza dei cantieri si valuta con la telemetria. <https://logisticiplus.it/index.php/pubblicazioni>
- Hippoliti G., 1997 – “Appunti di meccanizzazione forestale”. Studio Editoriale Fiorentino, Firenze 318pp
- IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2 – Energy <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>
- ISTAT 2012, “Annuario Statistico Italiano”.
- Johnson E., 2009 “Goodbye to carbon neutral: Getting biomass footprints right” – Environmental Impact Assessment Review.

- Joint Research Centre, 2010. ILCD Handbook. General Guide for Life Cycle Assessment-Detailed Guidance
- Joint Research Centre - Institute for Energy and Transport 2014. Carbon accounting of forest bioenergy - Conclusions and recommendations from a critical literature review.
https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC70663/eur25354en_online.pdf
- Legambiente, 2019. Rapporto Foreste 2019. <https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/Report-Foreste-2019.pdf>
- Lutz G., 2013: Überarbeitetes Merkblatt: Rationelle Hackschnitzelbereitstellung. Blätter aus dem Thurgauer Wald (BTW), 4: 28-29.
https://www.waldwissen.net/assets/waldwirtschaft/holz/energie/wsl_hackschnitzelbereitstellung/download/wsl_hackschnitzelbereitstellung_originalartikel.pdf.pdf
- Magnani F., Cantoni L., 2005. Forest biomass and energy production: a case of study in Emilia-Romagna (Italy). *Forest@ - Journal of Silviculture and Forest Ecology*, Volume 2, Pages 7-11.
<https://doi.org/10.3832/efor0262-0002>
- Marchetti M., Motta R., Pettenella D., Sallustio L., Vacchiano G., 2018 – “Forests and forest-wood system in Italy: towards a new strategy to address local and global challenges”. *Journal of Silviculture and Forest Ecology*, Volume 15, Pages 41-50
- Mauri M., Carpineti L., 2017, “Il manuale degli appalti verdi” dopo il decreto correttivo (d.lgs 19 aprile 2017, n. 56)
- Ministero dello Sviluppo Economico - Direzione Generale per la Sicurezza dell’Approvvigionamento e le Infrastrutture Energetiche. La situazione energetica nazionale nel 2019.
https://dgsaie.mise.gov.it/pub/sen/relazioni/relazione_annuale_situazione_energetica_nazionale_dati_2019.pdf
- “Mettiamoci In Riga” – Rafforzamento Integrato Governance Ambiente, 2020.
- Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe - Forest Europe, Liaison Unit Madrid, State of Europe’s Forests, 2015.
- Neri E., Cespi D., Setti L., Gombi E., Bernardi E., Vassura I., Passarini F., 2016 – “Biomass Residues to Renewable Energy: A Life Cycle Perspective Applied at a Local Scale.” *Energies*.
PAS 2050 (2011) - <https://shop.bsigroup.com/en/forms/PASs/PAS-2050/>
- PEFC, “Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes” (<https://www.pefc.it/>)
- Perić M., Antonijević D., Komatina M., Bugarski B., Rakin M., 2020. Life cycle assessment of wood chips supply chain in Serbia. *Renewable Energy* 155 (2020) 1302-1311.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.026>
- Pezzolato, 2021. <https://www.pezzolato.it/greenline/categorie/elenco-macchine-greenline/cippatori-a-tamburo/cippatori-a-tamburo-presa-di-forza/>
- Rapporto sullo stato delle foreste e del settore forestale in Italia 2017-2018.
<https://www.compagniadelleforeste.it/pubblicazioni-cdf.html?download=40:rapporto-sullo-stato-delle-foreste-e-del-settore-forestale-in-italia-2017-2018>
- Rosato A., 2017 – “Il punto della situazione delle biomasse solide in Europa.” – *AgroNotizie*.
- SCS Global, 2016. Product Category Rule Module for Roundwood.
- Secknus M., 2007 – Disponibilità della biomassa, mercati e ruolo delle associazioni. In “Linee guida per lo sviluppo di un modello di utilizzo del cippato forestale a fini energetici”, Programma Leader Plus “Sviluppo della filiera foresta-legno-energia attraverso il rafforzamento dell’associazionismo forestale”.
- Schweier J., Schnitzler J.P, Becker G., 2016. Selected environmental impacts of the technical production of wood chips from poplar short rotation coppice on marginal land. *Biomass and Bioenergy* 85 (2016) 235-242. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.12.018>
- SimaPro software <https://simapro.com/>
- UNI EN ISO 14040:2021. Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento.
- UNI EN ISO 14044:2018. Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida.
- World Business Council for Sustainable Development and World Resource Institute.
- UNI EN ISO 14064-1:2019. Gas ad effetto serra - Parte 1: Specifiche e guida, al livello dell’organizzazione, per la quantificazione e la rendicontazione delle emissioni di gas ad effetto serra e della loro rimozione.

UNI EN ISO 14067:2018 - Gas ad effetto serra - Impronta climatica dei prodotti (Carbon footprint dei prodotti) - Requisiti e linee guida per la quantificazione

UNI EN 15234-3:2012. Biocombustibili solidi - Assicurazione di qualità del combustibile - Parte 3: Bricchette di legno per uso non industriale.

UNI EN ISO 17225-4:2014. Biocombustibili solidi - Specifiche e classificazione del combustibile - Parte 4: Definizione delle classi di cippato di legno.

Veneto Agricoltura, 2010. Rapporto sulle bioenergie in veneto 2010.

<https://www.venetoagricoltura.org/2010/12/editoria/rapporto-sulle-bioenergie-in-veneto-2010-2010onlinecod-e419/>

Veneto Agricoltura, s.d. Capitolo 3 – Il piazzale di lavorazione, maturazione, stoccaggio e il trasporto e la compravendita della biomassa legnosa. https://www.venetoagricoltura.org/upload/Veneto_Agric_cap3.pdf

Wernet B., Bauer G., Steubing C., Reinhard B., Moreno-Ruiz J., and Weidema E., 2016. "The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology," Int. J. Life Cycle Assess. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>

Zampori, L. and Pant, R., 2019. Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method, EUR 29682 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-00654-1, doi:10.2760/424613, JRC115959.