



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN SCIENZE FORESTALI E AMBIENTALI

**Influenza del contenuto idrico del cippato sull'impatto
ambientale di una caldaia a biomassa di un impianto di
essiccazione in Veneto**

Relatore: Prof.ssa Michela Zanetti

Correlatore: Dott.ssa Martina Boschiero

Laureanda:

Annalisa Magnabosco
Matricola n.: 1204806

Anno accademico 2021/2022

INDICE

RIASSUNTO	4
ABSTRACT.....	5
1 INTRODUZIONE.....	6
2 STATO DELL'ARTE.....	10
2.1 Relazione legno - acqua	10
2.2 Essiccazione	13
2.3 Studi LCA applicati a segherie.....	15
3 MATERIALI E METODI.....	18
3.1 Life Cycle Assessment – LCA	18
3.1.1 I confini del sistema e processi unitari.....	19
3.1.2 Unità di processo e unità funzionale.....	21
3.1.3 Fasi dell'analisi LCA e distinzione tra modellazione attribuzionale e consequenziale	22
3.2 Caso studio: sistema segheria.....	23
3.2.1 Obiettivo e scopo dell'analisi.....	23
3.2.2 Analisi d'inventario - LCI.....	25
4 RISULTATI E DISCUSSIONE	32
5 CONCLUSIONI	38
BIBLIOGRAFIA	40
ALLEGATO A	48
ALLEGATO B.....	63
ALLEGATO C.....	76

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1 ACQUA NELLE CELLULE DEL LEGNO DURANTE LA FASE DI ESSICCAZIONE	11
FIGURA 2 SEZIONE TRASVERSALE DI UN TRONCO DI LEGNO.	11
FIGURA 3 RAPPRESENTATI RITIRI DI TAVOLE, TRAVETTI E TONDI RICAVATI DA UN TRONCO.	12
FIGURA 4 SCHEMA DI UN SISTEMA DI PRODOTTO IN UN'ANALISI LCA.	19
FIGURA 5 ESEMPIO DI PROCESSI UNITARI CON FLUSSI DI INPUT E OUTPUT.....	21
FIGURA 6 ESEMPIO DI UNITÀ DI PROCESSO CON FLUSSI ELEMENTARI DI INPUT E OUTPUT.....	21
FIGURA 7 RELAZIONE TRA EFFICIENZA TERMICA DELLA CALDAIA E CONTENUTO IDRICO DELLA BIOMASSA.....	29

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1 RISULTATI LCI PER LA MOVIMENTAZIONE DEI TRONCHI PER LA PRODUZIONE DI 1M ³ DI TAVOLA ESSICCATA	25
TABELLA 2 RISULTATI LCI PER IL TAGLIO DEL TRONCO PER LA PRODUZIONE DI 1M ³ DI TAVOLA ESSICCATA.....	26
TABELLA 3 RISULTATI LCI PER LA MOVIMENTAZIONE DI SEGATI E TAVOLE PER LA PRODUZIONE DI 1M ³ DI TAVOLA ESSICCATA	27
TABELLA 4 RISULTATI LCI PER LA CIPPATURA DEGLI SCIAVERI PER LA PRODUZIONE DI 1M ³ DI TAVOLA ESSICCATA.....	28
TABELLA 5 VALORI DI EFFICIENZA TERMICA DELLA CALDAIA PER I RISPETTIVI CONTENUTO IDRICI DELLA BIOMASSA SECONDO L'EQUAZIONE (1).....	29
TABELLA 6 RISULTATI LCI PER LA COMBUSTIONE DEL CIPPATO A TRE DIVERSI CONTENUTI IDRICI PER LA PRODUZIONE DI 1M ³ DI TAVOLA ESSICCATA	31
TABELLA 7 RISULTATI LCI DEL PROCESSO DI ESSICCAZIONE PER LA PRODUZIONE DI 1 M ³ DI TAVOLA ESSICCATA.....	31
TABELLA 8 EMISSIONI IN ARIA TOTALI PER I TRE DIVERSI CONTENUTI IDRICI DEL CIPPATO PER GLI INDICATORI DI IMPATTO RISCALDAMENTO GLOBALE (GWP), TOSSICITÀ UMANA POTENZIALE (HTP.), RIDUZIONE POTENZIALE DI OZONO (ODP) E SMOG FOTOCHIMICO (POCP).....	33
TABELLA 9 EMISSIONI IN ARIA TOTALI PER IL PROCESSO DI COMBUSTIONE PER I TRE DIVERSI CONTENUTI IDRICI DEL CIPPATO PER GLI INDICATORI DI IMPATTO RISCALDAMENTO GLOBALE (GWP), TOSSICITÀ UMANA POTENZIALE (HTP.), RIDUZIONE POTENZIALE DI OZONO (ODP) E SMOG FOTOCHIMICO (POCP)....	34
TABELLA 10 CONSUMI DI ENERGIA PER LA PRODUZIONE DI 1 M3 DI TAVOLA ESSICCATA	38

RIASSUNTO

La filiera foresta-legno veneta sta soffrendo una profonda crisi a causa di uno scollamento tra le sue fasi, di una maggiore competitività dei paesi oltre confine e di maggiori vantaggi economici derivanti dall'importazione di segati.

Una delle fasi della filiera che presenta maggiori criticità è proprio quella della prima lavorazione, anello fondamentale della catena produttiva, spesso incapace di sostenere la concorrenza con le segherie d'oltralpe a causa del minor livello tecnologico.

In questo delicato contesto si è voluto analizzare un caso studio rappresentativo della realtà veneta, ovvero una segheria in cui è stato installato un impianto di essiccazione munito di caldaia alimentata a biomassa, in un'ottica di miglioramento tecnologico del sistema segheria da un lato, e di economia circolare dall'altro, visto che la caldaia viene alimentata da scarti di lavorazione della segheria stessa. Nello specifico, è stata condotta un'analisi di impatto ambientale utilizzando la metodologia dell'analisi del ciclo di vita (LCA). Sono stati analizzati tutti i principali processi che caratterizzano la produzione di tavole essiccate di abete rosso (*Picea abies* (L.) H. Karst.) e in particolare si è analizzato in dettaglio il processo di essiccazione. L'obiettivo dell'analisi è quello di valutare come il contenuto idrico del cippato, impiegato per alimentare la caldaia, incida sul processo di essiccazione in termini di emissioni. Dalle analisi effettuate è emerso che il cippato prodotto nella segheria presenta un elevato contenuto idrico, pari al 45%. Pertanto è stata svolta un'analisi di sensitività elaborando tre scenari in cui viene utilizzato cippato a tre diversi contenuti idrici: 25%, 30% e 45%. Sono state quindi analizzate la variazione dell'efficienza termica e le emissioni prodotte. Le emissioni sono state calcolate utilizzando la metodologia CML2001 - Aug. 2016 e per la maggior parte delle categorie d'impatto, il processo di combustione del cippato in caldaia risulta essere il processo più impattante.

ABSTRACT

The Veneto forest-wood supply chain is suffering a profound crisis due to a disconnect between its phases, greater competitiveness of the countries across the border and greater economic advantages deriving from the import of sawn timber.

One of the most critical phases of the supply chain is precisely that of the first processing, a fundamental link in the production chain, often unable to withstand competition with the sawmills of neighboring countries due to the lower level of technology.

In this delicate context, we wanted to analyze a case study representative of the Veneto reality, that is a sawmill in which a drying system equipped with a biomass-fueled boiler was installed, with a view to technological improvement of the sawmill system on the one hand, and circular economy on the other, since the boiler is fed by processing waste from the sawmill itself. Specifically, an environmental impact analysis was conducted using the life cycle assessment (LCA) methodology. All the main processes that characterize the production of dried spruce boards were analyzed and in particular the drying process was analyzed in detail. The objective of the analysis is to evaluate how the water content of the wood chips used to power the boiler affects the drying process in terms of emissions. From the analyzes carried out it emerged that the wood chips produced in the sawmill has a high water content, equal to 45%. Therefore, a sensitivity analysis was carried out by developing three scenarios in which wood chips with three different water contents are used: 25%, 30% and 45%. The variation in thermal efficiency and the emissions produced were then analyzed. The emissions were calculated using the methodology: CML2001 - Aug. 2016 and for most of the impact categories, the combustion process of the wood chips in the boiler is the most impacting process.

1 INTRODUZIONE

Il legno è sempre stato una delle principali risorse utilizzate dalle popolazioni per la propria sussistenza, soprattutto nelle zone montane, insieme ai prodotti non legnosi (raccolta di bacche, frutta, castagne, ghiande, foglie, resina ecc), alle coltivazioni e ai pascoli. L'uomo ha sempre utilizzato il legno sia per la produzione di beni, oggetti e costruzioni, sia come fonte di energia. Infatti nel corso dei secoli nacquero diversi lavori artigianali legati all'utilizzo del bosco e alla lavorazione di questo materiale, quali il boscaiolo, gli zattieri (chiamati alle origini *dendrofori*), i segantini, i falegnami, i carbonai e molti altri (Viola, 2017; Zannini, 2011; Celetti, 2008). In tutte le civiltà che si sono susseguite nel tempo l'utilizzo del bosco e del legno sono stati elementi centrali per l'economia e la crescita delle città: le abitazioni erano costruite con il legno, così come gli attrezzi da lavoro, oggetti e imbarcazioni; era una delle principali fonti di energia (Zannini, 2011). La frenetica attività edilizia pubblica promossa durante l'impero Romano stimolò il commercio del legno, facendo crescere l'interesse economico per questo materiale (Vanni, 2014). Insieme all'aspetto economico, anche quello ambientale è sempre stato centrale. Pertanto, parallelamente allo sviluppo dell'utilizzo del legno e del suo mercato, fin dall'epoca dell'impero Romano esistevano problemi di sfruttamento del bosco, di riduzione delle risorse, problemi ecologici e di regimazione delle acque legati ai disboscamenti (Viola, 2017; Vanni, 2014).

Dall'impero Romano e per i secoli successivi le attività legate alla lavorazione del legno furono caratterizzate da momenti di crescita alternati a periodi di contrazione che comportavano in alcuni casi la chiusura delle attività e l'importazione del legname (Viola, 2017; Vanni, 2014; Le foreste nel Medioevo tra economia ed ecologia, 2012).

Una particolare fase di espansione del mercato del legno si ebbe a partire dal 1700 durante la Repubblica di Venezia grazie alla nascita delle prime segherie realizzate in Veneto e nell'arco alpino (Celetti, 2008). Fino a quel momento la prima lavorazione del legno avveniva a mano richiedendo un ingente impiego di energie e tempo, ma con il diffondersi delle segherie veneziane il processo di segazione fu reso più semplice e veloce e la produzione di segati aumentò. Si trattava di segherie idrauliche, alimentate dalla forza dell'acqua che azionava un mulino. Successivamente una manovella convertiva il moto circolare del mulino in moto alternato, per muovere il telaio su cui era fissata la lama (Agnoletti, 1994). Con questo sistema, nello stesso tempo di lavoro un solo operatore poteva tagliare una quantità di legname dieci volte superiore a quella segata da due uomini con il tradizionale segone a mano (Listolade e dintorni. *La segheria veneziana*).

Nelle fonti consultate vengono descritti i processi di abbattimento, trasporto in segheria, e taglio, ma non si parla dei processi di stagionatura ed essiccazione, passaggi fondamentali per la

realizzazione di tavole da costruzione, come si vedrà nei capitoli successivi. Solo in un articolo (Ruggeri, 2011) pubblicato nel bollettino ingegneri, relativo al legno nel '700, si fa menzione di questi processi produttivi. Secondo quanto riporta l'autore, le procedure per la corretta stagionatura furono proposte da De Buffon (1707 - 1788), naturalista francese, che si occupò di studi sul mondo vegetale e sull'anatomia del legno e Francesco Milizia (1725 - 1798), teorico dell'architettura. Il primo descrive un'essiccazione che può avvenire “sia con l'esposizione al sole che all'ombra, accennando anche alla possibilità di essiccazione artificiale mediante un forno riscaldato”, mentre Milizia, per velocizzare l'impiego del legno dopo il taglio, suggerisce di “...riscaldarlo a poco poco nelle stufe o nella sabbia calda...” e ritiene necessari due anni perché avvenga una “regolare stagionatura”. Secondo quanto riportato nell'articolo citato, fu proprio De Buffon che, dopo diverse prove di resistenza del legno, comprese la necessità della stagionatura al fine di rendere il legno più adeguato a resistere ai carichi e all'utilizzo più in generale (Ruggeri, 2011). Per l'importanza della stagionatura e dell'essiccazione riguardo all'aumento della durabilità e delle proprietà meccaniche del legno, è molto probabile che almeno la stagionatura venisse effettuata, ma questo processo nei testi consultati non viene menzionato.

Il mercato del legno in Veneto, durante la Repubblica di Venezia, dopo la sua massima espansione subì un arresto quando la risorsa iniziò a diminuire e attorno agli anni settanta del 1800 iniziò a presentarsi sul mercato legno proveniente dall'Austria (Celetti, 2008). Il legname importato risultava di migliore qualità e con costi più vantaggiosi. I tronchi venivano trasportati su treni, mentre in Italia si utilizzava ancora la fluitazione che rendeva il legno più scuro a causa della permanenza in acqua quindi era un prodotto di minore qualità e inoltre i fusti erano più grandi, dritti e meno nodosi.

La crisi delle segherie venete continuò per circa un secolo, molte segherie nelle zone montane furono chiuse e anche l'impiego del legno nelle costruzioni diminuì. Solo a partire dal 1950ca. le segherie furono modernizzate, migliorarono i processi, la resa, quindi la produzione, e questo settore riprese a crescere (Agnoletti, 1994; Celetti, 2008). Dagli anni ottanta però il numero delle segherie ha iniziato a diminuire fino ad oggi (Resente et al, 2020) la crescita del settore pertanto, non durò a lungo. Oggi infatti in Italia nonostante il comparto del legno, dalla gestione del taglio alla trasformazione del legno nel prodotto finito, sia uno dei principali settori per l'economia (secondo l'ISTAT genera l'1,6% del PIL nazionale), il nostro paese è il secondo importatore di legname e semilavorati con oltre l'80% del fabbisogno importato dall'estero, secondo i dati di Federlegno - Arredo e Conlegno (Marchetti et al., 2018).

Il paradosso è che nonostante negli ultimi anni la superficie boscata sia aumentata, l'Italia dipende dalle importazioni e non riesce a soddisfare la domanda interna di legname utilizzando

le sue stesse risorse. Il tasso di prelievo in Italia è mediamente al di sotto del 20% dell'incremento annuo (Raf Italia, 2018) il più basso d'Europa continentale dove la media è superiore al 50% (Marchetti et al., 2018); inoltre nel nostro Paese si è verificata una contrazione del settore della prima trasformazione (segherie) a causa della crisi economica, manifestata in maniera accentuata nel 2009 (Raf Italia, 2018).

Seguendo il trend italiano, in Veneto, secondo l'ultimo Rapporto sullo stato delle Foreste e del settore Forestale in Veneto, il settore della prima trasformazione è il meno rappresentato nel territorio, con una carenza di attività. Tutto il comparto della trasformazione del legno ha subito una contrazione con la perdita di più di seicento imprese tra il 2014 e 2018 (RaF Veneto, 2020). Come scritto in precedenza, la diminuzione di aziende del comparto delle segherie in Veneto è iniziata già a partire dal 1979 con un picco tra gli anni 2000 e 2017 (Resente et al., 2020). Insieme alla crisi economica che si è verificata, anche la mancanza di un costante reperimento di legname ha contribuito alla chiusura di molte segherie (Bozza, 2020), infatti, come riporta Filiera del Legno Veneto (2020), nonostante la superficie boschiva sia in aumento, in Veneto si preleva solo il 30 - 33% contro l'80% dell'Europa e il 90% dell'Austria, il nostro maggiore competitor (Bozza, 2020).

Sottoutilizzare i nostri boschi e importare legname provoca degli effetti sull'ambiente, in particolare l'importazione del legname da Paesi con minor controlli incentiva la deforestazione illegale. La Commissione Europea stima che il 25% del legname importato in Europa sia infatti di origine illegale (European Commission 2014), tanto che la UE ha emanato il Regolamento 995/2010 sulla Due Diligence che richiede una tracciatura di tutto il materiale legnoso venduto nei paesi dell'Unione Europea (Marchetti et al., 2018). Le importazioni comportano poi maggiori emissioni di CO₂ dovuti ai trasporti su lunghe percorrenze e alle pratiche di taglio che non rispettano la sostenibilità. Non utilizzare i nostri boschi inoltre comporta una serie di problemi con effetti negativi per la biodiversità, aumento dell'esposizione a rischi naturali che comporta una spesa per la riparazione dei danni e interventi di compensazione per l'erogazione dei servizi ecosistemici non erogati (Marchetti et. al, 2018; Garbarino et al., 2014; Palombo et al., 2013), insieme al problema socio-economico evidenziato sopra.

Diventa quindi centrale valorizzare il legno proveniente dal nostro territorio, riprogettare la pianificazione forestale, basata ancora sulla conservazione del bosco necessaria alla ripresa del bosco nel periodo post bellico (Marchetti et al, 2018; Bozza, 2020; Resente et al., 2020). Inoltre è fondamentale rinnovare le aziende di prima trasformazione migliorando il parco macchine e l'efficienza dei processi produttivi, così che queste possano ottenere prodotti migliori, aumentare l'offerta e ridurre i costi. Come riportato nella Strategia Forestale Europea (European Commission, 2021) l'impiego delle risorse forestali e l'utilizzo del legno, anche in relazione alla

mitigazione degli effetti dei cambiamenti climatici, è fondamentale se le pratiche di gestione e taglio del bosco rispettano criteri di sostenibilità e il legno viene valorizzato nell'ottica dell'impiego a cascata (Ciccarese et al., 2014). Si comprende quindi come, per affrontare questa fase di crisi della filiera del legno in Veneto, così come in tutta Italia, siano necessari interventi di miglioramento sull'intera filiera foresta – legno, quindi dalla pianificazione forestale fino alla lavorazione finale del legno.

In questo delicato contesto, si è voluto analizzare un caso di studio rappresentativo della realtà veneta, ovvero una segheria in cui è stato installato un impianto di essiccazione munito di caldaia alimentata a biomassa, in un'ottica di miglioramento tecnologico del sistema segheria da un lato, e di economia circolare dall'altro, visto che la caldaia viene alimentata da scarti di lavorazione della segheria stessa. Nello specifico, è stata condotta un'analisi di impatto ambientale utilizzando la metodologia dell'analisi del ciclo di vita (LCA). Sono stati analizzati tutti i principali processi che caratterizzano la produzione di tavole essiccate di abete rosso (*Picea abies* (L.) H. Karst.) e, in particolare, si è analizzato in dettaglio il processo di essiccazione. L'obiettivo dell'analisi è quello di valutare come il contenuto idrico del cippato, impiegato per alimentare la caldaia, incida sul processo di essiccazione in termini di emissioni. Diversi studi in letteratura (Gebreegziabher et al., 2013; Dzurenda e Banski, 2015; Dzurenda e Banski, 2017; Orang e Tran, 2015; Price-Allison et al., 2019; Schön et al., 2019; Bošnjaković et al., 2020) sottolineano l'importanza di utilizzare cippato con basso contenuto idrico ($\leq 25\%$) per aumentare l'efficienza termica della caldaia, ridurre le emissioni e migliorare il processo di essiccazione. Dalle analisi effettuate è emerso che il cippato prodotto nella segheria presenta un elevato contenuto idrico, pari al 45%. Pertanto è stata svolta un'analisi di sensitività elaborando tre scenari in cui viene utilizzato cippato a tre diversi contenuti idrici: 25%, 30% e 45%. Sono state quindi analizzate la variazione dell'efficienza termica e le emissioni prodotte.

2 STATO DELL'ARTE

2.1 Relazione legno - acqua

Il legno è un materiale in grado di assorbire e rilasciare acqua in un continuo equilibrio con l'ambiente esterno, anche se è in opera da molto tempo (Palanti, 2013) e per questo viene definito un materiale *igroscopico* (Franke et al., 2016; Gezici-Koç et al., 2017; Fredriksson, 2019).

L'acqua nel legno è presente in forme diverse, come:

- *acqua libera o di imbibizione*, presente all'interno dei lumi cellulari e si muove facilmente da una cellula all'altra. Non determina variazioni nelle proprietà tecnologiche e meccaniche, né modifica il volume del legno, ma ne aumenta la massa, di conseguenza una variazione di acqua libera comporta una maggiore o minore massa volumica;
- *acqua legata o acqua di saturazione*, è legata con legami idrogeno ai gruppi ossidrilici (-OH) dei componenti chimici che formano la parete cellulare (cellulosa, emicellulosa e lignina). Variazioni di acqua legata comportano variazioni nel volume del legno;
- *acqua di costituzione*, molecole di acqua che fanno parte della composizione chimica dei principali elementi costituenti il legno;
- *vapore acqueo*, è presente nell'aria che riempie parzialmente le cavità cellulari ed è in equilibrio con l'acqua di saturazione e l'acqua di imbibizione.

La somma tra acqua libera presente all'interno dei lumi cellulari e acqua di saturazione delle pareti, determina l'umidità del legno fresco che varia molto in funzione della specie legnosa (Allegretti, 2000; Glass e Zelinka, 2021; Baronas et al., 2001).

La maggior parte dell'acqua nel legno fresco viene lentamente rilasciata subito dopo il taglio e trovandosi esposto all'ambiente esterno, per l'igroscopicità che lo caratterizza, la sua umidità continua a variare in relazione alla temperatura esterna e all'umidità relativa dell'aria (Palanti, 2013). Il contenuto di umidità del legno, infatti, non è mai costante e tende a uno stato di equilibrio con l'esterno. Quando il legno non assorbe e non rilascia più acqua si dice che ha raggiunto la sua *umidità di equilibrio (Equilibrium Moisture Content, EMC)* (Baronas et al., 2001; Glass e Zelinka, 2021; Bergman, 2021). Quando tutta l'acqua libera presente nel legno viene eliminata e resta solo l'acqua di saturazione, il contenuto di umidità del legno corrisponde al *punto di saturazione delle fibre (PSF)* come illustrato nella figura 1. L'umidità del punto di saturazione varia tra il 20% e il 40%, ma si considera un valore medio del 30%.



Figura 1. *Acqua nelle cellule del legno durante la fase di essiccazione: nel legno fresco la cellula è satura di acqua (acqua libera + acqua di saturazione), al PSF l'acqua si trova solo nelle pareti cellulari (acqua di saturazione), nel legno anidro tutta l'acqua è andata via e il legno diminuisce di volume, (Schmidt, 2006).*

Variazioni di umidità al di sotto del punto di saturazione delle fibre, quindi all'interno del campo igroscopico (umidità compresa tra lo 0% e il 30%), comportano variazioni dimensionali del legno: ritiri e rigonfiamenti (Palanti, 2013; Glass e Zelinka, 2021). Le variazioni di volume non avvengono in modo omogeneo, il legno infatti è un materiale *anisotropo* e si deforma diversamente nelle tre direzioni anatomiche (fig. 2): assiale o longitudinale (lungo l'asse di crescita della pianta), radiale (lungo la direzione dei raggi, perpendicolare agli anelli di accrescimento) o tangenziale (tangente gli anelli di accrescimento) (Glass e Zelinka, 2021).

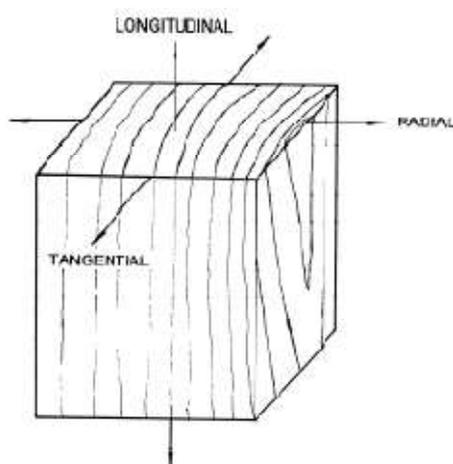


Figura 2. *Sezione trasversale di un tronco di legno. Si vedono gli anelli di accrescimento, i raggi e le tre direzioni anatomiche del legno: direzione longitudinale (lungo l'asse di crescita della pianta), radiale (lungo la direzione dei raggi, perpendicolare agli anelli di accrescimento), tangenziale (tangente gli anelli di accrescimento) – appunti di lezione (Xilologia e tecnologia del legno).*

In direzione tangenziale i ritiri sono maggiori rispetto alle direzioni radiale e assiale. In direzione assiale si hanno minori movimenti (Glass e Zelinka, 2021). Questo significa che segati derivati dal taglio dello stesso tronco e posti nelle stesse condizioni ambientali, in base alla direzione prevalente, avranno comportamenti diversi durante i processi di stagionatura ed essiccazione (Bergman, 2021; Stamm e Hansen, 1937).

Ad esempio, nelle tavole ricavate dal centro del tronco, tavole midollari, nella parte centrale prevale la direzione di movimento radiale (perpendicolare agli anelli di accrescimento) mentre, spostandosi verso l'esterno, la direzione prevalente diventa quella tangenziale. Si vede, infatti, in figura 3 che, a seconda della posizione da cui vengono ricavate le tavole, le deformazioni sono quantitativamente e qualitativamente diverse.

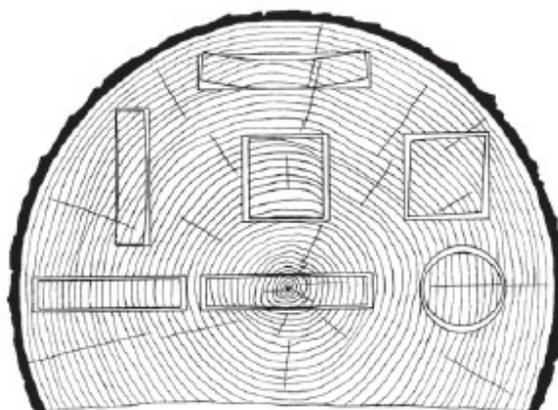


Figura 3. Rappresentati ritiri di tavole, travetti e tondi ricavati da un tronco. I ritiri cambiano a seconda della direzione anatomica prevalente del legno (longitudinale, radiale, tangenziale) rispetto agli anelli di accrescimento, (Stamm e Hansen, 1937).

Nel caso specifico dell'essiccazione, maggiori sono le differenze presenti all'interno dello stesso legno, maggiori saranno le tensioni e, quindi, il rischio di formazione di difetti in fase di stagionatura e soprattutto essiccazione. Per queste ragioni, eseguire correttamente questi processi è fondamentale per poter ottenere prodotti di alta qualità.

La misura del contenuto di umidità del legno è quindi importante perché la presenza di acqua nel legno ne influenza, non solo la stabilità dimensionale, come descritto nel precedente paragrafo, ma anche il peso (e quindi la massa volumica), le proprietà meccaniche, la durabilità e i trattamenti chimici (verniciatura, incollaggio, impregnazione) (Allegretti, 2000). Quando si parla di contenuto di umidità del legno è importante distinguere tra: *umidità assoluta e contenuto idrico (o umidità sul tal quale)*. L'umidità assoluta è data dal rapporto percentuale tra il peso dell'acqua contenuta nel legno umido e il peso del legno anidro:

$$U = \frac{P_u - P_0}{P_0} 100$$

Dove P_u è il peso del legno umido e P_0 il peso del legno allo stato anidro (0% di umidità), la differenza tra i due valori corrisponde alla massa di acqua presente nel legno al momento della pesata. La percentuale di umidità nel legno può superare il 100%.

Il contenuto idrico (*moisture content*, MC) o umidità sul tal quale è il rapporto percentuale tra la massa di acqua presente nel legno e il peso del legno allo stato umido:

$$MC = \frac{P_u - P_0}{P_u} 100$$

Questo valore viene utilizzato per le biomasse a uso energetico e per la carta, non per il legno, e per definizione, non può superare mai il 100%.

2.2 Essiccazione

L'essiccazione del legno è il processo necessario per l'eliminazione di tutta l'acqua libera e di tutta, o parte, dell'acqua di saturazione contenuta nel legno. L'essiccazione può essere naturale (stagionatura), quando il legno viene lasciato essiccare all'aria, o artificiale (di seguito chiamata essiccazione), quando il legno viene fatto essiccare in appositi forni di essiccazione.

A causa della grande variabilità del legno (Palanti, 2013), la stagionatura e l'essiccazione di segati richiedono un'attenzione particolare. Se questi processi vengono eseguiti correttamente, il prodotto finale che si ottiene sarà un prodotto di qualità, con proprietà tecnologiche e meccaniche migliorate. Al contrario, una stagionatura e un'essiccazione non eseguite correttamente portano alla formazione di difetti che diminuiscono la funzionalità e la qualità dei segati (Bergman, 2021; Ward e Simpson, 1997).

Numerosi sono, infatti, gli studi che hanno analizzato come si comporta e si modifica il legno nel processo di assorbimento e desorbimento dell'acqua (Glass e Zelinka, 2021; Fredriksson e Thybring, 2018; Gezici-Koç et al., 2017; Skaar e Siau, 1981; Baker, 1956; Vahtikari et al, 2017), sottolineando l'importanza della conoscenza di questi processi ai fini di migliorare la stagionatura, ma soprattutto l'essiccazione dei segati. Come riportato anche da Tronstad (2005), l'integrazione tra i risultati degli studi di ricerca, le conoscenze dei costruttori di essiccatoi e le esperienze dell'industria del legno, è necessaria per lo sviluppo e il miglioramento del processo di essiccazione che deve rispondere a degli standard di qualità sempre più alti. Infatti l'essiccazione è uno dei più importanti processi di segheria, è necessaria per la maggior parte dei segati impiegati nelle successive lavorazioni della seconda trasformazione e ricopre un ruolo decisivo nel determinare i costi di produzione e la qualità finale dei segati (Tronstad, 2005;

Vanzetti et al., 2020; Bergman, 2021). La centralità di questo processo all'interno della linea di produzione deriva, quindi, sia dal fatto che la variazione del contenuto di umidità del legno nel dominio igroscopico è uno dei parametri più critici che ne influenza il comportamento, le sue proprietà e quindi la qualità (Bergman, 2021; Fredriksson, 2019; Gezici-Koç et al., 2017; Franke et al., 2016; Khazaei, 2008), sia perché l'essiccazione è il processo che incide maggiormente sui consumi energetici della segheria (Bergman, 2021; Vanzetti et al., 2020).

Come accennato nel precedente sottocapitolo, il comportamento del legno nelle fasi di assorbimento e desorbimento non è omogeneo. La scelta del giusto programma di essiccazione per prevenire e ridurre i difetti (fessurazioni, imbarcamento, svergolamento ecc.) deve quindi tener conto di questa variabilità, delle dimensioni dei segati e da quale parte del tronco vengono ricavati (Anderson e Westerlund, 2014; Palanti, 2013). Infatti in fase di essiccazione l'umidità del legno viene fatta scendere al di sotto del punto di saturazione delle fibre e questo comporta variazioni dimensionali e rischio di formazione dei difetti (Glass e Zelinka, 2021).

Per l'importanza che l'essiccazione ricopre, questo processo è stato oggetto di diversi studi (Perré, 1999; Seyfarth et al., 2003; Vanzetti et al., 2020; Oltean et al., 2007; Espinoza e Bond, 2016; Meng et al., 2019) al fine di comprendere meglio come il legno si comporta in questa fase di lavorazione, al variare di parametri quali temperatura, umidità e velocità di essiccazione. Altri autori, come riportano Vanzetti et al. (2020), invece, si sono concentrati sul problema dell'efficienza energetica e il confronto tra i diversi sistemi di essiccazione per individuare nuovi metodi e tecnologie in grado di ridurre i tempi rispetto al processo tradizionale (Bond e Espinoza, 2016). L'essiccazione tradizionale (a calore e ventilazione) richiede qualche settimana per terminare il processo e raggiungere l'umidità finale desiderata, a seconda delle specie legnose e del contenuto idrico iniziale. Altri metodi di essiccazione invece permettono di ridurre notevolmente i tempi e l'intero processo può durare qualche ora. Uno di questi sistemi è, ad esempio, l'essiccazione sottovuoto, Espinoza e Bond (2016) hanno esaminato la letteratura pubblicata su questo tipo di essiccazione, che può essere combinata con altri metodi, come con la tecnologia a radiofrequenze e microonde, quest'ultima inoltre può essere anche applicata singolarmente (Vongpradubchai e Rattanadecho, 2009). Questi sistemi permettono di velocizzare il processo, di renderlo un processo continuo e può essere adattato alla singola tavola, a differenza del forno tradizionale, che richiede tempi più lunghi, vengono essiccati contemporaneamente più segati e richiede un elevato consumo di energia (Vongpradubchai e Rattanadecho, 2009; Seyfahrt et al., 2003; Leiker e Adamska, 2004; Leiker e Adamska, 2005; Li et al., 2007; Leuca et al., 2004; Bond e Espinoza, 2016; Oloyede e Groombridge, 2000).

Come riportano Vanzetti et al. (2020) pochi studi presentano, invece, modelli per ottimizzare il carico e il ciclo di essiccazione. Infatti, sottolineano che l'efficienza del processo di essiccazione

è data anche dalla pianificazione e programmazione dei carichi di ogni lotto. Propongono quindi un modello per la gestione dei cicli di essiccazione che permetta di ottimizzare questa fase di produzione. Poiché spesso gli essiccatoi sono alimentati da biomasse per la produzione di energia, in uno studio successivo Vanzetti et al. (2021) hanno elaborato un nuovo modello che permette di determinare contemporaneamente: la tipologia e la quantità di segati che possono essere essiccati in un determinato forno, l'inizio del ciclo di essiccazione, il programma di essiccazione, la quantità di energia necessaria per il processo e, di conseguenza, la quantità di biomassa necessaria per la produzione di energia. Questo modello mira a migliorare l'efficienza dell'essiccazione e regolare la quantità di biomassa impiegata per alimentare la caldaia, permettendo di ridurre gli sprechi utilizzandola anche per la produzione di energia destinata ad altri usi (Vanzetti et al., 2021).

Anche Anderson e Westerlund (2014) individuano che la perdita di calore è un aspetto critico negli essiccatoi. Questa, secondo gli autori, è la ragione dell'elevata richiesta di energia termica per il processo di essiccazione che determina la quantità di biomassa utilizzata per l'alimentazione della caldaia, ed è dovuta alle difficoltà nel recupero del calore evaporativo a basse temperature in aria umida. La soluzione proposta da Anderson e Westerlund (2014) è l'uso di uno dei tre seguenti sistemi per il recupero del calore: gli scambiatori di calore, la pompa di calore e un sistema di assorbimento aperto. Tutti questi sistemi migliorano l'efficienza energetica e permettono di risparmiare biomassa per la produzione di calore necessario per l'essiccazione (Anderson e Westerlund, 2014). In questo modo diventa possibile impiegare il biocombustibile per la produzione di energia in altri processi della segheria o in altri contesti, ad esempio, potrebbe essere venduto per l'alimentazione di impianti di teleriscaldamento a biomassa. Meng et al. (2019), partendo dallo studio di Anderson e Westerlund (2014), propongono una nuova soluzione per il recupero del calore negli essiccatoi ad aria. Realizzano un dispositivo che cambia la tradizionale ventilazione. L'aria nell'essiccatoio viene scambiata con ventilatori centrifughi e contemporaneamente il calore di scarto viene recuperato nello scambiatore a fascio tubiero. Questo nuovo sistema installato in essiccatoi sperimentali ha portato a una riduzione del consumo di energia del 38,5% rispetto a essiccatoi tradizionali (Meng et al., 2019).

2.3 Studi LCA applicati a segherie

Il miglioramento tecnico dei processi di una segheria non ha solo una valenza economica, ma anche ambientale. Infatti, nel contesto attuale, un cambio di rotta nell'uso sostenibile delle risorse rinnovabili è fondamentale (IRP 2020). Come riportato da Sahoo et al. (2019), l'uso globale delle materie prime per la produzione di cibo, energia e costruzioni, è cresciuto in modo

esponenziale, soprattutto dalla metà del XIX secolo, e la crescita della popolazione e dell'economia, secondo previsioni future, porterà a un ulteriore aumento della domanda di cibo, combustibili e materiali da costruzione. Secondo quanto riporta il report dell'International Resource Panel (IRP 2020) il modo in cui le risorse naturali vengono gestite influenza profondamente il clima, pertanto un loro uso più efficiente è la chiave per mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici.

Le risorse forestali sono risorse naturali che possono fornire materiali da costruzione rinnovabili, cellulosa e carta, energia, bioprodotto, come ad esempio le bioplastiche (Cefarin et al., 2021; Cesprini et al., 2021) e, grazie alla capacità delle foreste di sequestrare il carbonio e i prodotti legnosi di immagazzinarlo, l'uso di queste risorse ha un elevato potenziale per mitigare il cambiamento climatico (Sahoo et al., 2019; Kayo et al., 2019). Una metodologia che permette di valutare la sostenibilità ambientale di diversi prodotti e dell'uso di risorse è la valutazione del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment – LCA*). Grazie a questo strumento è possibile analizzare e quantificare gli effetti generati dall'estrazione di risorse, dalla produzione di beni, dal loro uso e smaltimento (Sahoo et al., 2019; Kayo et al., 2019; Klein et al., 2015). La metodologia LCA include una valutazione di inventario del ciclo di vita dei prodotti oggetto dell'analisi (*Life Cycle Inventory – LCI*), dove vengono definiti gli input e gli output di energia e materia prima necessarie per la produzione. I risultati ottenuti dall'analisi di inventario sono la base di partenza per la valutazione degli impatti ambientali nella LCA (Bowyer et al., 2005).

Numerosi autori hanno applicato un'analisi LCA o solo una LCI ai prodotti legnosi di diverso tipo, dal semilavorato più semplice che le segherie producono (tavole) (Milota e Puettmann, 2017; Puettmann, 2012; Milota, 2015; Sahoo et al., 2021; Bergman e Bowe, 2008; Bergman e Bowe, 2010; Bergman e Bowe, 2011) a materiali per costruzioni in legno massiccio (*Mass Timber Construction – MTC*) di cui fanno parte, ad esempio, il *Cross Laminated Timber (CLT)* e il *Glued Laminated Timber (glulam)* (Liang et al., 2021; Chen et al., 2019; Pierobon et al., 2019; Corradini et al., 2019; Santi et al., 2016; Bowers et al., 2017; Durlinger et al., 2013; Wilson e Sakimoto, 2005). Altri studi sono stati effettuati su nano materiali e biocombustibili come riportato in Klein et al. (2015) e Sahoo et al. (2019) che hanno operato una revisione completa e sistematica di numerosi studi LCA applicati ai prodotti legnosi.

Gli studi LCA e LCI sulla sola produzione di tavole in segheria sono tutti eseguiti negli Stati Uniti, in ambito Italiano ad oggi non risultano esserci studi specifici.

Tra gli studi condotti negli Stati Uniti, solo una parte riguardano analisi LCA e comprendono quindi anche un'analisi degli impatti (Milota, 2015; Puettmann, 2012; Milota e Puettmann, 2017; Sahoo et al., 2021). Gli altri studi riportano solo un'analisi LCI (Milota et al., 2005; Bergman e Bowe, 2008; Bergman e Bowe, 2010; Bergman e Bowe, 2012).

In tutti gli studi citati il software impiegato per l'analisi è il SimaPro, a seconda degli anni cambia la versione, mentre il modello di calcolo degli impatti utilizzato nelle analisi LCA è TRACI.

Solo Sahoo et al. (2021) considerano l'intero ciclo di vita delle tavole essiccate partendo dalla crescita delle piante in vivaio e terminando con lo smaltimento del prodotto a fine vita dopo l'utilizzo. I confini del sistema degli altri studi LCA, invece, terminano con la produzione e l'imballaggio delle tavole essiccate in segheria.

Le fasi analizzate quindi sono soprattutto, la produzione dei semi in vivaio, la fertilizzazione, i diradamenti, l'esbosco, il trasporto dalla zona di esbosco alla segheria e le lavorazioni in segheria. Le analisi LCI, invece, non prendono in considerazione né la fase delle operazioni forestali, né di trasporto dalla zona di esbosco alla segheria, ma si focalizzano solo sui processi di segheria per la produzione delle tavole.

In tutti gli studi LCA e LCI le lavorazioni in segheria analizzate sono: la movimentazione dei tronchi, il processo di taglio, l'essiccazione in forno alimentato da una caldaia a biomassa, la piallatura e l'imballaggio delle tavole essiccate.

Sahoo et al. (2021) inoltre, mettono a confronto cinque produzioni diverse di tavole: in particolare distinguono tra: (i) tavole non essiccate e non piallate, (ii) tavole solo essiccate, (iii) tavole solo piallate ma non essiccate, (iv) tavole sia essiccate che piallate e (v) tavole piallate essiccate all'aria (stagionate).

Le specie legnose negli studi sono sia latifoglie, acero nero (*Acer saccharumnigrum* (F. Michx.)) e acero saccharino (*Acer saccharinum* L.), liri dendro (*Liriodendron tulipifera* L.), quercia rossa (*Quercus rubra* L.), che conifere tra cui diverse specie di pino (*Pinus spp.*), duglasia (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco), la tsuga occidentale (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg), l'abete bianco (*Abies alba* Mill) e diverse specie di pecci (*Picea spp.*).

In Italia la metodologia LCA non è stata ancora applicata alla produzione di segati, due studi prendono in considerazione i processi di segheria (Corradini et al., 2019, Santi et al., 2016), ma l'obiettivo principale è l'analisi del ciclo di vita di pannelli in legno (*Massiv-Holz-Mauer – MHM*). Inoltre, all'epoca degli studi non era presente l'essiccatoio nella segheria compresa nell'analisi, pertanto il processo di essiccazione non viene analizzato. Il software utilizzato in queste LCA svolte in Italia è GaBi, mentre per l'analisi degli impatti sono stati impiegati i metodi Recipe, CML2001 - Apr. 2013 e IPCC per l'indicatore del potenziale riscaldamento globale (*Global Warming Potential – GWP*).

L'analisi LCA eseguita per questo lavoro di tesi ha come obiettivo la valutazione degli impatti derivati dalla produzione di tavole di abete rosso (*Picea abies* (L.) H. Karst.) essiccate. I confini del sistema comprendono le sole lavorazioni in segheria (dal cancello al cancello, “gate-to-

gate”), sono state escluse sia la fase di operazioni forestali e trasporto dei tronchi in segheria, sia l’utilizzo e smaltimento delle tavole e fine vita.

I processi di segheria analizzati sono: (i) la movimentazione dei tronchi in piazzale, (ii) il taglio del tronco, (iii) l’essiccazione, (iv) la combustione in caldaia per la produzione di calore ai fini dell’essiccazione e (v) la movimentazione delle tavole. Rispetto agli studi sopra citati non sono presenti la piallatura e l’imballaggio. Lo studio LCA si concentra, in particolare, sul processo di combustione della biomassa in caldaia che si è rilevato il punto più critico all’interno della linea di lavorazione, ed è stata svolta un’analisi di sensitività per tre diversi contenuti idrici del cippato bruciato (MC 25%, MC 30%, MC 45%). Il software impiegato per l’analisi è GaBi 3.6 e le emissioni sono state calcolate con il metodo CML2001 – Aug. 2016.

3 MATERIALI E METODI

3.1 Life Cycle Assessment – LCA

Il *Life Cycle Assessment* (LCA) è una metodologia scientifica basata su standard internazionali che permette di valutare il potenziale impatto ambientale di un prodotto considerando le fasi del suo ciclo di vita, dall’estrazione delle materie prime, allo smaltimento a fine vita (ISO 2006a, 2006b).

L’idea e lo sviluppo di metodi per la valutazione di impatto del ciclo di vita di un prodotto, risalgono al 1960. Da allora c’è stato un continuo sviluppo della metodologia LCA e delle sue applicazioni, oggi gli standard e le linee guida dell’analisi LCA sono dettate dalle Norme ISO 14040:2006 (ISO 2006a) e ISO 14044:2006 (ISO 2006b).

La metodologia LCA permette di valutare quanto un prodotto o un servizio incidono sull’ambiente in base all’uso di risorse, di energia e alle emissioni ed è possibile mettere a confronto due o più prodotti e valutare l’impronta ambientale di ciascuno. Da un’analisi LCA è possibile, quindi, capire cosa è meglio per l’ambiente, ma non si può dedurre se il meglio sia abbastanza e non è possibile concludere se un prodotto sia sostenibile per l’ambiente in termini assoluti. La valutazione degli impatti con la metodologia LCA può essere inserita in una prospettiva di sostenibilità se messa in relazione con le capacità di carico ambientali (Bjørn et al., 2015; Hauschild et al., 2018; Ryberg et al., 2018). L’analisi LCA è comunque una metodologia riconosciuta a livello internazionale in quanto, con la sua applicazione, è possibile identificare il prodotto potenzialmente migliore per l’ambiente (Hauschild et al., 2018).

Nei successivi sottocapitolo sono riportati gli elementi che compongono un’analisi LCA.

3.1.1 I confini del sistema e processi unitari

Un sistema di prodotto nell'analisi LCA è delimitato da dei confini, *i confini di sistema*, un set di criteri che permettono di individuare le attività che sono comprese nel sistema stesso o nella realizzazione di un prodotto (Hauschild et al., 2018; ISO 2006a). Nella figura 4 è riportato lo schema di un sistema LCA secondo la norma ISO 14040:2006 (ISO 2006a). Nella rappresentazione si vedono le fasi del ciclo di vita di un prodotto, dall'acquisizione delle materie prime allo smaltimento, definite all'interno dei confini del sistema (rettangolo esterno, *system boundary*). Il sistema così definito può avere in ingresso e in uscita degli elementi che siano flussi elementari e può essere collegato ad altri prodotti con flussi di prodotto (ISO 2006a; Berto, 2015).

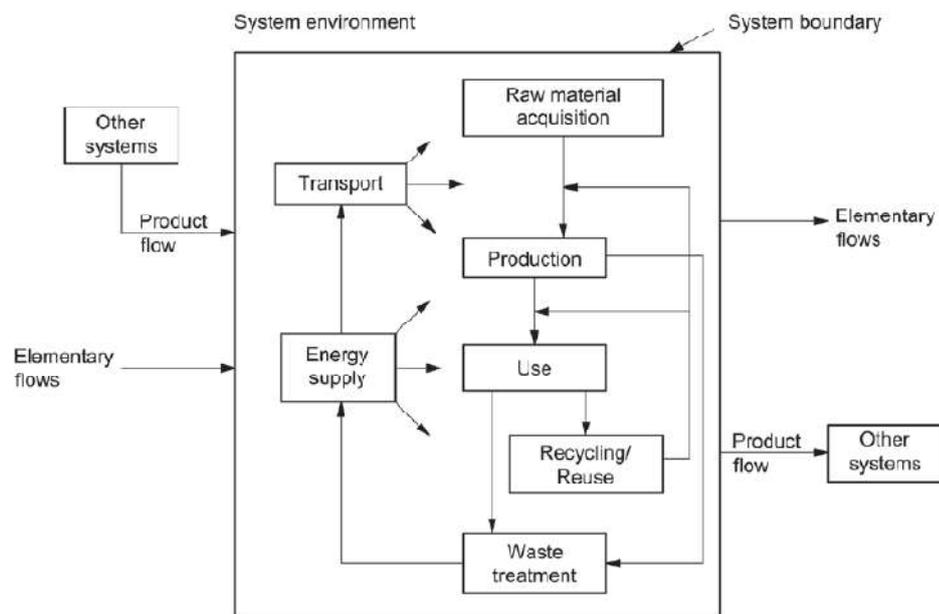


Figura 4. Schema di un sistema di prodotto in un'analisi LCA. Il sistema rappresentato è delimitato dai confini che comprendono tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto, dall'acquisizione delle materie prime allo smaltimento. In input e output del sistema di prodotto rappresentato, sono collegati altri sistemi con flussi di prodotto, ed elementi che sono dei flussi elementari (ISO 2006a).

Nella costruzione di un modello LCA si possono includere, nei confini del sistema, tutti i processi del ciclo di vita del prodotto o servizio analizzato. In questo caso si parla di un approccio *“cradle-to-grave”*, dalla culla alla tomba, come rappresentato nella figura 4. Nel caso in cui si considerasse solo una parte del ciclo di vita del prodotto o servizio, come ad esempio solo la fase di produzione in azienda, si parla allora di un approccio *“gate-to-gate”*, dal cancello al cancello. Se invece si considera quella parte di ciclo di vita che va dall'estrazione delle materie prime fino, per esempio, alla produzione, escludendo il fine vita, si parla di un approccio

“*cradle-to-gate*”, dalla culla al cancello. La scelta dei confini del sistema dipende: dall’obiettivo e dallo scopo dello studio, dall’applicazione, dalle assunzioni, dai vincoli di dati e costi. Li et al. (2014) hanno proposto un metodo per definire i confini del sistema con criteri scientifici. Un’analisi LCA considera solo alcuni elementi del sistema e un’analisi completa non è realizzabile (ad esempio in una LCA applicata al caso segheria, la costruzione dei macchinari non viene presa in considerazione) quindi le assunzioni e i criteri di cut-off devono essere specificati per permettere un corretto confronto tra diverse analisi LCA (ISO 2006a; ISO 2006b; Hauschild et al., 2018).

Le fasi del ciclo di vita di un prodotto o servizio, definite all’interno dei confini di sistema, possono essere suddivise in *processi unitari* che rappresentano gli step di produzione di un prodotto e sono collegati tra loro da flussi (ISO 2006a). Ad esempio, all’interno della fase di estrazione delle materie prime, nel caso di uno studio LCA applicato a una segheria, i processi unitari possono essere, a seconda del contesto geografico: la produzione dei semi in vivaio, la semina in bosco (questi processi sono considerati in Nord America dove la rinnovazione è artificiale), i diradamenti, l’esbosco e il trasporto del tronco in segheria. All’inizio di un’analisi LCA è importante, quindi, individuare i processi unitari che descrivono un prodotto e utilizzare un diagramma di flusso per la rappresentazione delle relazioni tra i processi. Ogni processo unitario deve poi essere analizzato singolarmente per stabilire dove inizia e finisce e per definire la natura delle trasformazioni e delle operazioni che si verificano all’interno del processo stesso. La descrizione dei singoli processi unitari permette inoltre di identificare gli input e output necessari e più significativi (ISO 2006a; ISO 2006b). Spesso gli output di un processo unitario coincidono con gli input del processo successivo come si vede in figura 5. L’input del processo unitario “Segatronchi” (tronchi S) è l’output del processo unitario “Ragno movimentazione tronchi” ed è un flusso principale di materia (tronchi) che collega i due processi.

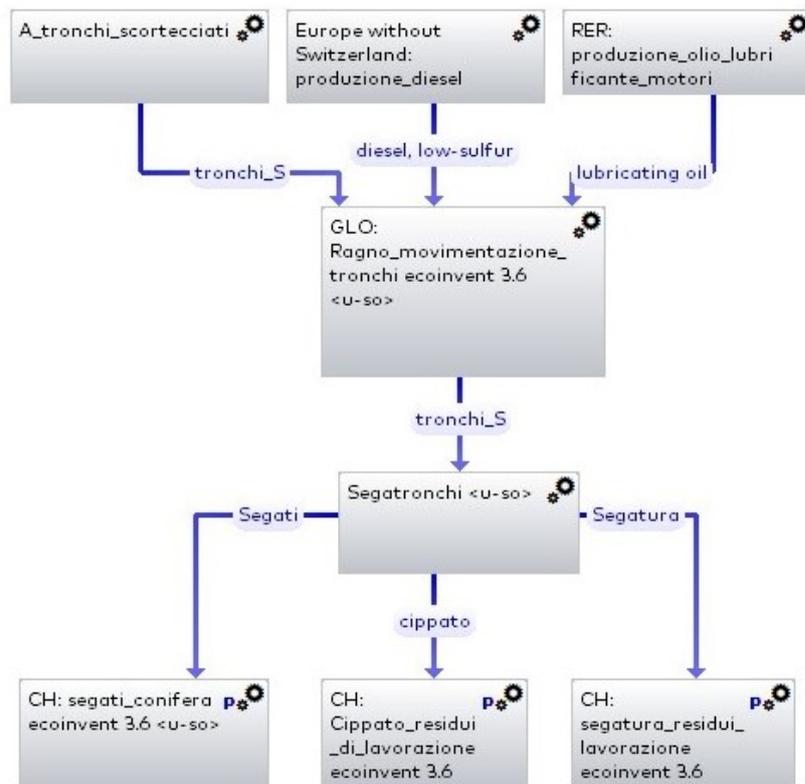


Figura 5. Esempio di processi unitari con flussi di input e output. L'output di un processo (Ragno movimentazione tronchi) può essere un input del processo successivo (segatronchi).

3.1.2 Unità di processo e unità funzionale

L'impatto ambientale di un prodotto o di un sistema viene valutato in base agli input e output di materia ed energia corrispondenti ad ogni fase del ciclo di vita, in riferimento all'unità funzionale definita per il prodotto in analisi (Chen et al., 2019). Per ogni processo unitario devono, quindi, essere individuati i flussi di input e output, possono essere flussi di materia, energia e risorse (Hauschild et al., 2018) come illustrato in figura 6. Il processo unitario con tutti i flussi di input e output è definito anche *unità di processo* ed è l'elemento più piccolo dell'analisi LCA.



Figura 6. Esempio di unità di processo con flussi elementari di input e output. Gli input possono essere di massa (materiali), energia e risorse a cui corrispondono output di massa (prodotto), rifiuti ed emissioni, (Hauschild et al., 2018 adattata).

I flussi di input e output delle unità di processo e i flussi tra i processi unitari devono essere riferiti tutti all'unità funzionale, che deve essere misurabile. L'unità funzionale è definita in base alle funzioni del sistema di prodotto analizzato che dipendono dallo scopo e dall'obiettivo dell'analisi LCA. Quindi definire l'unità funzionale è importante poiché tutto, dai flussi di input e output ai risultati finali della LCA, sono riferiti ad essa. La definizione dell'unità funzionale, dei confini del sistema, delle scelte di cut-off e altre decisioni metodologiche, permette di confrontare diversi studi LCA tra loro (ISO 2006a; ISO 2006b).

3.1.3 Fasi dell'analisi LCA e distinzione tra modellazione attribuzionale e consequenziale

Un'analisi LCA si divide in quattro fasi:

1. La definizione dell'obiettivo e dello scopo dell'analisi LCA
2. La fase di inventario (*Life Cycle Inventory – LCI*)
3. La fase di valutazione degli impatti (*Life Cycle Impact Assessment – LCIA*)
4. Interpretazione dei dati

Nella prima fase vengono descritti il prodotto oggetto dell'analisi LCA e le modalità con cui l'analisi è stata eseguita. Quindi si definiscono i confini del sistema, le fasi del ciclo di vita considerate, si specifica qual è l'unità funzionale dell'analisi, quali sono le assunzioni fatte, quali sono gli indicatori d'impatto presi in considerazione (*Global Warming Potential – GWP, Ozone Depletion Potential – ODP, Human Toxicity Potential HTP ecc*). e quale metodo di calcolo degli impatti è stato scelto (CML, IPCC, Recipe ecc). Nella definizione dell'obiettivo e dello scopo inoltre è possibile precisare se la modellazione LCA è di tipo attribuzionale o consequenziale (ISO 2006a; ISO 2006b; Hauschild et al., 2018).

Esistono infatti due tipologie di modelli LCA. In breve, una modellazione attribuzionale valuta gli input, output e gli impatti finali legati al prodotto considerato, compreso nei confini del sistema scelti, descrivendolo così com'è. La modellazione consequenziale, invece, considera le potenziali conseguenze ambientali ed economiche che si possono generare in base a decisioni prese esternamente al sistema di prodotto considerato, decisioni che determinano, quindi, gli input, output e gli impatti del sistema o prodotto analizzato (Hauschild et al., 2018; Ekvall et al., 2016). Ad esempio in un'analisi LCA di tipo consequenziale applicata a una segheria si terrebbe conto di come varia la produzione di tavole a seconda della domanda di mercato e quale sarebbe l'impatto sulle foreste in risposta alla maggiore o minore domanda di legname. Un'analisi LCA

attribuzionale, invece, valuterebbe il solo impatto ambientale della produzione di tavole all'interno dei confini del sistema considerati.

La seconda fase dell'analisi LCA è l'analisi d'inventario (Life Cycle Inventory – LCI) ed è la parte centrale della LCA. In questa fase si elabora il ciclo di vita del prodotto considerato nell'analisi e compreso nei confini di sistema stabiliti. Quindi si identificano i processi unitari che descrivono il ciclo di vita del prodotto e si raccolgono i dati necessari all'obiettivo dello studio. I dati di input e output vengono riportati per ogni unità di processo e si costruiscono quindi i processi unitari del ciclo di vita del prodotto. Infine i processi vengono collegati tra loro e tutto è rapportato all'unità funzionale scelta. Si ottiene così un inventario delle quantità di massa, energia e risorse per ogni processo unitario e dell'intero sistema.

I dati necessari alla realizzazione della LCI possono essere dati primari e secondari e possono essere misurati, calcolati o stimati (ISO 2006b; Hauschild et al., 2018).

La valutazione degli impatti è la terza fase dell'analisi LCA ed è automatica una volta selezionato il modello di calcolo delle emissioni. In questa fase vengono calcolate le emissioni generate dai risultati dell'analisi di inventario per ogni indicatore d'impatto. L'obiettivo di questa fase è di valutare quanto gli elementi dell'analisi d'inventario contribuiscono alle emissioni e, quindi, di analizzare il prodotto dal punto di vista ambientale (ISO 2006a; ISO 2006b; Hauschild et al., 2018).

La quarta fase dell'analisi LCA è l'interpretazione dei risultati che vengono riassunti e discussi alla luce anche delle assunzioni fatte e delle incertezze sui dati. In questa fase si elaborano pertanto le conclusioni o le raccomandazioni presentando con chiarezza quanto emerso dall'analisi e i suoi limiti. Questo permette di valutarne la robustezza e potenziali debolezze e di impiegare l'analisi LCA per la comparazione con altre (ISO 2006a; ISO 2006b; Hauschild et al., 2018).

3.2 Caso studio: sistema segheria

3.2.1 Obiettivo e scopo dell'analisi

L'analisi LCA nel presente lavoro è stata applicata per valutare l'impatto ambientale della produzione di tavole essiccate in una segheria di medie dimensioni del Nord Italia situata nella Regione del Veneto in provincia di Belluno (BL). La segheria, per l'essiccazione delle tavole,

utilizza un essiccatoio di tipo tradizionale alimentato da una caldaia a biomassa. La biomassa impiegata è il cippato prodotto dagli scarti di lavorazione della segheria stessa. La caldaia utilizzata per la combustione del cippato è una Almar Collalto 301 kW. Durante la raccolta dati, è emerso che il cippato bruciato aveva un contenuto idrico maggiore rispetto a quello previsto per un funzionamento ottimale della caldaia (MC 25%). L'efficienza e le emissioni dipendono anche dalla combustione del cippato in caldaia, pertanto, in questo studio è stata svolta un'analisi di sensitività analizzando come variano: la quantità di cippato impiegato per l'essiccazione di 1 m³ di tavola, il consumo di energia elettrica e le emissioni derivanti dalla combustione, considerando tre diversi contenuti idrici del cippato: 45%, 30% e 25%.

L'unità funzionale considerata è 1 m³ di tavola di abete rosso (*Picea abies* (L.) H. Karst.) essiccata ed è stata analizzata la sola produzione in segheria con un approccio "gate-to-gate", in particolare i processi unitari analizzati sono: (1) la movimentazione dei tronchi in piazzale, (2) il taglio del tronco, (3) la movimentazione delle tavole (4) la cippatura degli sciaveri ottenuti come prodotto di scarto dal taglio del tronco, (5) la combustione del cippato in caldaia e (6) il processo di essiccazione. Sono state escluse le fasi delle operazioni forestali, del trasporto dei tronchi in segheria e le fasi finali di utilizzo e smaltimento.

Non sono state applicate procedure di allocazione in quanto il processo di taglio del tronco è stato suddiviso in tre sottoprocessi, un processo per i segati e altri due per i co-prodotti quali il cippato e la segatura. Gli input di energia e massa del processo di taglio quindi sono stati suddivisi per questi tre sottoprocessi. Negli input e output dell'analisi sono stati considerati valori di massa e di energia (diesel, olio lubrificante ed elettricità), è stato escluso il consumo di altre risorse come ad esempio l'acqua.

I dati raccolti in segheria per l'analisi LCA sono riferiti al periodo tra ottobre 2019 e giugno 2020, sono stati impiegati dati primari forniti direttamente dalla segheria, dati secondari derivati dal database di Ecoinvent e da letteratura. Il software impiegato per l'analisi è GaBi versione 3.6 e gli indicatori d'impatto, valutati con il metodo CML2001 - Aug. 2016, sono: il potenziale riscaldamento globale (Global Warming Potential – GWP, kg CO_{2eq}), la potenziale riduzione dello strato di ozono (Ozone Depletion Potential – ODP, mg R11_{eq}), la potenziale formazione di smog fotochimico (Photochemical Ozone Creation Potential –POCP, g Ethene_{eq}) e la tossicità umana potenziale (Human Toxicity Potential – HTP, kg DCB_{eq}).

3.2.2 Analisi d'inventario - LCI

L'analisi considera i processi di produzione in segheria, dalla movimentazione dei tronchi nel piazzale all'essiccazione della tavola (gate-to-gate).

Movimentazione dei tronchi

Nel periodo temporale considerato per l'analisi LCA, la segheria lavorava tronchi provenienti dai boschi colpiti dall'uragano Vaia già scortecciati. Dal piazzale della segheria i tronchi vengono movimentati con un caricatore semovente a ruote (Solmec, 120 CV), che, con il suo braccio meccanico, sposta e accatasta i tronchi nel piazzale della segheria. Successivamente i tronchi vengono portati alla segatronchi. Si considerano in questa analisi i tronchi di abete rosso ed è stata considerata una massa volumica di 758 kg m^{-3} con un contenuto idrico del 50% (Francescato e Antonini, 2009). Nella tabella 1 di seguito, sono riportati i risultati dell'analisi LCI.

Tabella 1. Risultati LCI per la movimentazione dei tronchi per la produzione di 1 m^3 di tavola essiccata.

Movimentazione tronchi, piazzale segheria	Unit. Mis.	Quantità
Input		
Tronchi scortecciati	m^3	2,067
Energia (Diesel)	MJ	54,53
Olio lubrificante	kg	0,025
Output		
Tronchi scortecciati	m^3	2,067

Taglio del tronco

Il taglio del tronco avviene con una sega a nastro con potenza nominale di 75 kW alimentata a energia elettrica, che, grazie alla programmazione di un tecnico specializzato, provvede al taglio del tronco, fornendo i formati dei segati richiesti. Una volta che i segati sono stati prodotti, vengono trasportati con una serie di rulli e nastri trasportatori alla refilatrice a tre lame a disco a passo regolabile (75 kW) che refila il materiale segato e, successivamente, se necessario anche alla sega alternativa (55 kW). In questa analisi LCA sono state analizzate solo tavole legno di conifera, in particolare di abete rosso (*Picea abies* (L.) H. Karst.). La resa di taglio di un tronco di abete rosso in questa segheria è del 70%, valore comunicato dal titolare della segheria e misurato (Perko, 2020). In media di questo 70%, il 72% è rappresentato da tavole da costruzione e il restante 28% da altro (tavole per imballaggio e travi). I residui del taglio di un tronco

rappresentano il 30%, tra sciaveri (20-22%) e segatura (8-10%). Gli sciaveri vengono tutti cippati.

Nella tabella 2 sono riportati i risultati dell'analisi di inventario per il taglio del tronco in segati, con la produzione di residui di lavorazione.

Tabella 2. Risultati LCI per il taglio del tronco per la produzione di 1 m³ di tavola essiccata.

Taglio del tronco – produzione di segati	Unit. Mis.	Quantità
Input		
Tronchi scortecciati(MC ¹ 50%)	m ³	2,07
Energia (Diesel)	MJ	25,95
Energia (Elettricità)	MJ	62,5
Olio lubrificante	kg	0,09
Output		
Segati (MC 50%)	m ³	1,45
– co-prodotto, sciaveri		
Input		
Tronchi scortecciati	m ³	2,07
Energia (Diesel)	MJ	2,06
Energia (Elettricità)	MJ	4,96
Olio lubrificante	kg	0,03
Output		
Sciaveri	kg _{dry} ²	156,66
– co-prodotto, segatura		
Input		
Tronchi scortecciati	m ³	2,07
Energia (Diesel)	MJ	1,02
Energia (Elettricità)	MJ	2,48
Olio lubrificante	kg	0,01
Output		
Segatura	kg _{dry}	79,59

Movimentazione tavole

Le tavole prodotte vengono prelevate e accatastate manualmente in pile. Le pile vengono poi spostate tramite appositi carrelli elevatori semoventi (muletti) e stoccate per qualche settimana nel piazzale della segheria per ridurne il contenuto idrico. I carrelli elevatori semoventi utilizzati, alimentati a diesel, hanno una portata di 7t e 4t. Le pile di tavole, vengono poi caricate nell'essiccatoio dove le tavole umide appena tagliate vengono sistemate manualmente a formare

¹MC, moisture content (contenuto idrico)

²Kg di massa secca, considerata una massa volumica del legno di abete (*Picea abies*) di 379 kg m⁻³

la catasta. Una volta terminato il ciclo di essiccazione, le tavole essiccate vengono prelevate tramite carrello elevatore semovente e stoccate nel piazzale fino al momento della vendita.

La tabella 3 riassume i risultati dell'analisi di inventario per le tre fasi di movimentazione delle tavole durante la produzione.

Tabella 3. Risultati LCI per la movimentazione di segati e tavole per la produzione di 1 m³ di tavola essiccata.

Movimentazione segati piazzale	Unit. Mis.	Quantità
Input		
Segati	m ³	1,45
Energia (Diesel)	kg	24,39
Olio lubrificante	kg	0,032
Output		
Segati	m ³	1,45
Movimentazione tavole per carico essiccatoio		
Input		
Tavole (MC 45%)	m ³	1,04
Energia (Diesel)	MJ	4,71
Olio lubrificante	kg	0,0061
Output		
Tavole (MC 45%)	m ³	1,04
Movimentazione tavole essiccatascarico essiccatoio		
Input		
Tavole (MC 20%)	m ³	1
Energia (Diesel)	MJ	4,71
Olio lubrificante	kg	0,0058
Output		
Tavole (MC 20%)	m ³	1

Cippatura

Gli scarti di lavorazione, tramite una serie di nastri trasportatori, vengono tutti convogliati a una cippatrice a tamburo con una potenza nominale di 55 kW. Il cippato prodotto viene trasportato all'esterno della segheria da una coclea e accatastato all'aperto. In parte viene successivamente trasportato all'interno di una struttura situata sopra alla caldaia prima di essere bruciato per il funzionamento dell'essiccatoio. Questa struttura non presenta dei sistemi di essiccazione del cippato che quindi presenta un contenuto idrico elevato.

Sotto, nella tabella 4, sono riportati i valori della LCI per la produzione di 1 m³ di tavola essiccata.

Tabella 4. Risultati LCI per la cippatura degli sciaveri per la produzione di 1 m³ di tavola essiccata,

Cippatura degli sciaveri	Unit. Mis.	Quantità
Input		
Sciaveri	kg _{dry}	156,66
Energia (Elettricità)	MJ	17,02
Olio lubrificante	kg	0,0005
Output		
Cippato (MC 45%)	m ³	156,66

Combustione del cippato in caldaia

Il cippato prodotto e accatastato ha un contenuto idrico > 45% (dato misurato in laboratorio) e, nella stagione invernale o in caso di abbondanti piogge, non si esclude che raggiunga valori superiori al 50% fino al 60%. Questo co-prodotto di lavorazione è in parte usato per alimentare la caldaia per il funzionamento dell'essiccatoio, ma una gran parte viene venduta. Secondo quanto riportato nella scheda tecnica, la caldaia funziona con un'efficienza massima del 92,4% se il cippato impiegato ha un contenuto idrico del 25%. Poiché il cippato ha un contenuto idrico maggiore, è stata eseguita un'analisi di sensitività per osservare come il processo oggetto di analisi cambia al variare del contenuto idrico del cippato bruciato in caldaia.

In particolare l'attenzione si è concentrata nell'individuare come varia l'efficienza della caldaia al variare del contenuto idrico, in quanto le emissioni in aria e il consumo di biocombustibile per l'essiccazione dipendono dalla qualità della combustione in caldaia, che è maggiore se la caldaia lavora alla sua massima efficienza.

Nel processo di combustione presente nel database di Ecoinvent e utilizzato nel software GaBi, non è stato possibile modificare gli input e output in funzione del contenuto idrico del cippato e dell'efficienza della caldaia, pertanto è stato necessario modificare il processo stesso.

La prima cosa è stato cercare una relazione che permettesse di far variare l'efficienza termica della caldaia con il contenuto idrico del cippato. Nella scheda tecnica del processo di combustione, selezionato dal database di Ecoinvent, sono riportate alcune delle equazioni utilizzate per la costruzione del processo, ma non è riportata una relazione che legghi il contenuto idrico del biocombustibile all'efficienza termica della caldaia. Quindi è stata fatta una ricerca in letteratura e con i dati presentati nello studio di Celen e Erdem (2017) è stata elaborata la seguente relazione:

$$y = -5,072x^2 + 2,527x + 0,604 \quad (1)$$

Dove y è l'efficienza termica e x il contenuto idrico della biomassa (figura 7).

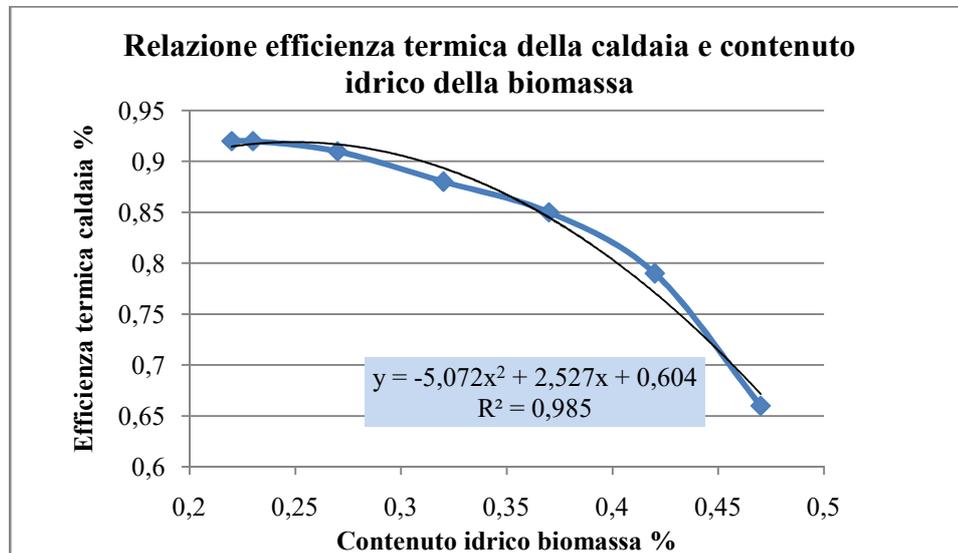


Figura 7. Relazione tra efficienza termica della caldaia e contenuto idrico della biomassa. Grafico realizzato con i dati di Celen e Herdem (2017).

Applicando questa equazione per il contenuto idrico rispettivamente del 25%, 30% e 45% si ottengono i valori di efficienza termica presentati in tabella 5. Con il 25% di contenuto idrico l'efficienza termica è del 91,9%, vicina a quella di massima efficienza della caldaia installata nella segheria e indicata nella scheda tecnica (92,4%).

Tabella 5. Valori di efficienza termica della caldaia per i rispettivi contenuti idrici della biomassa secondo l'equazione (1).

Contenuto idrico cippato (%)	Efficienza termica (%)
25	91,88
30	90,56
45	71,00

La relazione è stata quindi utilizzata nel software GaBi per modificare il processo di combustione del cippato in caldaia e ottenere l'efficienza termica al variare del contenuto idrico del cippato.

Il passaggio successivo è stato di far variare la massa di cippato necessario alla combustione in funzione dell'efficienza termica della caldaia. L'equazione è stata trovata nella scheda tecnica del processo di Ecoinvent e la quantità di cippato si ottiene dal prodotto di un parametro (a) per un fattore di scala (fc) pari all'inverso dell'efficienza termica della caldaia (ET):

$$Wch = a * fc = a * \frac{1}{ET} \quad (2)$$

Dove Wch è la massa secca di cippato (wood chips) espressa in kg, a è il parametro fornito nella scheda di Ecoinvent pari a 0,05291, fc è il fattore di scala e ET è l'efficienza termica.

Dall'equazione (1) precedente si ottiene:

$$Wch = \frac{a}{y} = \frac{a}{-5,072x^2 + 2,527x + 0,604} \quad (3)$$

Con la relazione (3) è stato possibile far variare la quantità di cippato in funzione dell'efficienza termica della caldaia e, quindi, del contenuto idrico. La quantità ottenuta è quella necessaria alla produzione di energia termica per l'essiccazione di 1 m³ di tavola che, in questo caso studio, è stata calcolata pari a 580,10 MJ m⁻³ di tavola essiccata, come si vedrà nel paragrafo dedicato al processo di essiccazione.

Sono poi stati ricalcolati gli input di elettricità e gli output di emissioni in funzione dell'efficienza termica della caldaia. In questo caso tutti gli elementi di input e output sono stati moltiplicati per il fattore di scala (fc).

Da queste relazioni è stato possibile elaborare tre diversi scenari per i tre contenuti idrici (25%, 30%, 45%) e calcolare: (a) le rispettive quantità di cippato necessario alla produzione di calore per l'essiccazione di 1 m³ di tavola di abete rosso, (b) il consumo di energia elettrica per il funzionamento della caldaia e (c) le emissioni in aria. Tutto in funzione del contenuto idrico e quindi dell'efficienza della caldaia. Nella tabella 6 sono riportati i risultati dell'analisi di inventario (LCI), le emissioni verranno presentate nei risultati della valutazione di impatto (LCIA).

Tabella 6. Risultati LCI per la combustione del cippato a tre diversi contenuti idrici per la produzione di 1 m³ di tavola essiccata.

Combustione del cippato in caldaia	Unit. Mis.	Quantità		
Input		MC 25%	MC 30%	MC 45%
Cippato(a)	kg _{dry}	33,41	33,89	42,98
Energia (Elettricità) (b)	MJ	9,48	9,62	12,19
Output				
Energia termica	MJ	580,10	580,10	580,10

Essiccazione

Nella segheria è presente un forno di essiccazione Big on Dry (Modello: LEM 96.58.41) di tipo tradizionale alimentato dalla caldaia a biomassa, per il funzionamento sono necessarie sia energia termica generata dalla combustione del cippato che energia elettrica. In questa analisi LCA sono stati considerati i consumi di un solo ciclo di essiccazione ed è risultato un valore di energia termica pari a 580,10 MJ m⁻³ e di 172,17 MJ m⁻³ per l'energia elettrica, per l'essiccazione di 1 m³ di tavola essiccata, come si vede nella tabella 7.

Tabella 7. Risultati LCI del processo di essiccazione per la produzione di 1 m³ di tavola essiccata.

Essiccazione	Unit. Mis	Quantità
Input		
Tavole (MC 45%)	m ³	1,04
Energia termica	MJ	580,10
Energia (Elettricità)	MJ	172,17
Output		
Tavole (MC 20%)	m ³	1

4 RISULTATI E DISCUSSIONE

La produzione di 1 m³ di tavola di abete rosso (*Picea abies* (L.) H. Karst.) essiccata impiegando cippato al 45% di contenuto idrico, in termini di potenziale riscaldamento globale (GWP), genera il più alto valore di emissioni in aria pari a 143,98 kg CO₂eq, il 14% in più di emissioni rispetto alle emissioni prodotte con cippato al 25% di contenuto idrico (tabella 8). Il contributo maggiore è dato dalla combustione per la produzione di calore necessaria all'essiccazione (62%) e dal processo di essiccazione (23%).

Per tutte le categorie d'impatto considerate, le emissioni generate dal processo di combustione variano a seconda del contenuto idrico del cippato (tabella 9) e il maggiore contributo è dato dal cippato al 45% di contenuto idrico con l'emissione di 89,36 kg CO₂eq. La combustione del cippato con contenuto idrico del 30% emette 70,46 kg CO₂eq, mentre quello con contenuto idrico del 25% emette 69,45 kg CO₂eq. In tutti i casi, le emissioni dovute alla combustione del cippato rappresentano più del 50% delle emissioni totali (62% quelle del cippato a 45% di contenuto idrico e 56% per gli altri due). Se si considera solo l'input di energia elettrica, che in questa analisi LCA non varia nei sistemi analizzati, il processo di essiccazione genera emissioni pari a 32,63 kg CO₂eq nei tre i casi considerati. Poiché le emissioni generate dal processo di essiccazione (escludendo il contributo del processo di combustione del cippato in caldaia) rimangono costanti, l'incidenza di questo processo sulle emissioni totali è maggiore nei casi di cippato al 30% e 25% di contenuto idrico con un contributo del 26%. Nel sistema che impiega cippato al 45% invece incide per il 23% sulle emissioni totali di kg CO₂eq.

Il gas che contribuisce maggiormente al GWP è la CO₂ (139,07 kg, cippato con MC=45%) e in particolare quella biogenica (88,96 kg), di cui il 98% (87,13 kg) è emesso durante il processo di combustione (Allegato A). Il metano (CH₄) rappresenta il secondo gas che contribuisce maggiormente al GWP (3,62 kg CO₂eq, cippato con MC= 45%) e il processo, più impattante in termini di emissione di CH₄, è l'essiccazione (Allegato A).

Anche per il potenziale di tossicità umana (HTP), le maggiori emissioni si registrano nella situazione con il maggiore contenuto idrico del cippato e sono pari a 10,88 kg DCBeq, il processo di combustione incide per il 41% mentre l'essiccazione per il 33%. In questo caso, le emissioni che contribuiscono di più all'indicatore di HTP sono i metalli pesanti (3,02 kg DCBeq) e i composti organici volatili (VOC 3,81 kg DCBeq). Per quanto riguarda i metalli pesanti, le emissioni sono dovute principalmente al processo di essiccazione e ne costituiscono il 60,3% (1,82 kg DCBeq, Allegato A). Per quanto riguarda i VOC, queste sono dovute principalmente alla combustione del cippato (1,84 kg DCBeq) e al processo di essiccazione delle tavole (1,11 kg DCBeq) (Allegato A).

L'impiego di cippato al 45% di contenuto idrico genera maggiori emissioni anche nell'indicatore d'impatto di potenziale formazione di smog fotochimico (POCP) con un totale di 31,65 g Etheneeq. I processi che hanno la maggiore incidenza sono sempre il processo di combustione (46%) e l'essiccazione (30%) (Allegato A). In questo indicatore d'impatto le emissioni che contribuiscono di più sono le emissioni di sostanze inorganiche (17,12 g per cippato al 45% di contenuto idrico) e i VOC (7,49 g per cippato al 45% di contenuto idrico).

L'indicatore di potenziale riduzione dello strato di ozono (ODP) non presenta variabilità per i tre diversi contenuti idrici.

Le emissioni dettagliate di ogni indicatore d'impatto sono riportate nelle tabelle negli allegati A (cippato al 45% di contenuto idrico), B (cippato al 30% di contenuto idrico) e C (cippato al 25% di contenuto idrico).

Tabella 8. Emissioni in aria totali per i tre diversi contenuti idrici del cippato per gli indicatori d'impatto Riscaldamento globale (GWP), tossicità umana potenziale (HTP.), riduzione potenziale di ozono (ODP) e smog fotochimico (POCP).

Potenziale di riscaldamento globale (GWP) kg CO₂eq	MC 45 %	MC 30%	MC 25%
Emissions to air	143,98	125,08	124,08
Ecoinvent long-term to air	0,000041	4,08E-05	4,08E-05
Inorganic emissions to air	140,06	121,21	120,2
Carbon dioxide	50,11	49,86	49,79
Carbon dioxide (biotic)	88,96	70,53	69,54
Nitrous oxide (laughing gas)	0,98	0,87	0,86
Sulphur hexafluoride	0,011	0,011	0,011
Organic emissions to air (group VOC)	3,92	3,88	3,87
Halogenated organic emissions to air	0,012	0,012	0,012
Methane	3,62	3,59	3,59
Methane (biotic)	0,29	0,27	0,26
Tossicità umana potenziale (HTP) Kg DCB eq.	MC 45%	MC 30%	MC 25%
Emissions to air	10,88	9,95	9,89
Ecoinvent long-term to air	0,06	0,06	0,06
Heavy metals to air	3,02	2,95	2,95
Inorganic emissions to air	1,03	1,02	1,02
Non-urban air or from high stacks	0,61	0,59	0,59
Particulates, < 2.5 um	0,0016	0,0016	0,0016
Particulates, > 10 um	0,0043	0,0042	0,0042
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	0,0005	0,0005	0,0005
Organic emissions to air (group VOC)	3,91	3,52	3,5
Particles to air (Dust > PM10, PM2.5, silicon dust)	0,02	0,02	0,02
Urban air close to ground	2,24	1,78	1,75

Potenziale di riduzione dell'ozono (ODP) mg R11eq.	MC 45%	MC 30%	MC 25%
Emissions to air	7,54	7,49	7,49
Ecoinvent long-term to air	0,0003	0,0003	0,0003
Non-urban air or from high stacks	0,0002	0,0002	0,0002
Halogenated organic emissions to air	7,54	7,49	7,49
Potenziale produzione di smog fotochimico (POCP) g Etheneeq.	MC 45%	MC 30%	MC 25%
Emissions to air	31,65	28,58	28,42
Ecoinvent long-term to air	0,001	0,001	0,001
Inorganic emissions to air	17,12	15,37	15,28
Carbon monoxide	1,1	1,08	1,08
Carbon monoxide, non-fossil	8,27	6,54	6,44
Nitrogen oxides	2,92	2,92	2,92
Sulphur dioxide	4,83	4,83	4,83
Non-urban air or from high stacks	1,79	1,74	1,74
Organic emissions to air (group VOC)	7,49	7,23	7,21
Group NMVOC to air	6,65	6,4	6,38
Hydrocarbons (unspecified)	0,0000135	0,000013	0,000013
Methane	0,78	0,77	0,77
Methane (biotic)	0,062	0,057	0,057
VOC (unspecified)	0,00074	0,00074	0,00074
Urban air close to ground	5,25	4,23	4,18

Tabella 9. Emissioni in aria totali per il processo di combustione per i tre diversi contenuti idrici del cippato per gli indicatori d'impatto: riscaldamento globale (GWP), tossicità umana potenziale (HTP), riduzione potenziale di ozono (ODP) e smog fotochimico (POCP).

PROCESSO DI COMBUSTIONE	MC 45%	MC 30%	MC 25%
Potenziale di riscaldamento globale (GWP) kg CO ₂ eq	89,36	70,46	69,45
Tossicità umana potenziale (HTP) kg DCBeq	4,42	3,48	3,43
Potenziale di riduzione di ozono (ODP) mg R11eq	0,19	0,15	0,15
Smog fotochimico (POCP) g Etheneeq	14,50	11,43	11,27

Nello studio LCA di Sahoo et al. (2021) l'analisi è stata eseguita su tutto il ciclo di vita di tavole di sequoia (*Sequoia sempervirens*) prodotte nelle segherie nel Nord della California (US). Hanno utilizzato il software SimaPro 9.0 e TRACI come modello di calcolo delle emissioni. L'analisi considera quattro principali fasi del ciclo di vita: l'estrazione della materia prima, il trasporto dei tronchi in segheria, la realizzazione delle tavole in segheria (movimentazione di tronchi, taglio, essiccazione e piallatura solo in alcuni casi) e lo smaltimento del prodotto finale. Quindi i confini dell'analisi LCA sono l'esbosco e lo smaltimento delle tavole, dalla culla alla tomba (*cradle-to-*

grave). In questo studio di Sahoo et al. (2021) sono state messe a confronto le produzioni e il fine vita di tavole grezze e tavole piallate, per ognuna di queste categorie sono state considerate sia tavole umide sia essiccate artificialmente e per le tavole piallate il confronto è stato fatto anche con il prodotto stagionato all'aria. L'unità funzionale dell'analisi LCA svolta da Sahoo et al. (2021) è 1 m^3 di tavola di sequoia e sono stati valutati il consumo di energia e i seguenti indicatori d'impatto: potenziale riscaldamento globale ($\text{kg CO}_2\text{eq}$), potenziale riduzione dello strato di ozono (kg CFC11eq), potenziale di formazione di smog fotochimico ($\text{kg O}_3\text{eq}$), potenziale di acidificazione ($\text{kg SO}_2\text{eq}$), potenziale di eutrofizzazione (kg Neq), effetti cancerogeni sulla salute umana (CTUh), effetti non-cancerogeni (CTUh), emissioni di particolato ($\text{kg PM}_{2.5}\text{eq}$), ecotossicità (CTUe) e il consumo di combustibili fossili. Gli autori hanno rilevato che la produzione di tavole essiccate artificialmente (dall'estrazione del materiale alla fine della lavorazione in segheria) genera il maggior consumo di energia all'interno del ciclo produttivo. Nello specifico il consumo di energia varia da 268 a 989 MJ m^{-3} per tavole grezze non essiccate e da 3900 a 4877 MJ m^{-3} nel caso di tavole piallate ed essiccate. La fase del ciclo di vita che comporta il maggior consumo di energia (dal 51% al 94%) è il processo di lavorazione in segheria, in particolare la fase di essiccazione. Dall'analisi LCI emerge che per la produzione di tavole non essiccate le fasi di esbosco e trasporto impiegano maggiore energia fossile (254 – 273 MJ m^{-3}) rispetto alle lavorazioni di segheria (69 – 198 MJ m^{-3}). Nel caso della produzione di tavole essiccate, nella fase di segheria, l'energia prodotta da combustibili fossili varia tra 569 e 694 MJ m^{-3} , mentre nei processi di esbosco e trasporto non varia rispetto alla produzione di tavole non essiccate. L'energia prodotta da biocombustibile, invece, varia tra 184 MJ m^{-3} (tavole non essiccate) e 3828 MJ m^{-3} (tavole essiccate) ed è tutta impiegata nella sola fase in segheria per l'essiccazione (produzione di energia per altri usi non specificati), infatti, l'energia totale impiegata in questa fase di produzione proviene per il 72-84% da fonti rinnovabili, di cui il 97-99% è biocombustibile. Per quanto riguarda le emissioni di CO_2 , nello studio di Sahoo et al. (2019) è la fase successiva alla lavorazione in segheria, fino allo smaltimento, a generare la maggior parte delle emissioni con 86 – 397 kg m^{-3} di CO_2 biogenica e 56 – 87 kg m^{-3} di CO_2 fossile. Le fasi di produzione, dall'esbosco alla tavola finita, emettono nel totale 16 – 323 kg m^{-3} di CO_2 biogenica e 22 – 59 kg m^{-3} di CO_2 fossile. Le emissioni maggiori sono date dall'utilizzo degli essiccatoi (33 – 40 kg m^{-3} CO_2) ma, nel complesso, sono minori rispetto alla fase di utilizzo e smaltimento (56 – 81 kg m^{-3} di CO_2). Con riferimento agli indicatori d'impatto per quanto riguarda la parte di produzione delle tavole, non sono distinte la fase di esbosco e trasporto dalle lavorazioni in segheria. Risulta comunque che la fase di produzione (dall'esbosco al prodotto finito), nel caso del potenziale riscaldamento globale, incide in misura minore rispetto allo smaltimento (39% sul totale delle

emissioni), producendo da 22,68 a 65,35 kg CO₂eq, ha però una maggiore incidenza, superiore al 50%, negli altri indicatori d'impatto analizzati.

Un altro studio LCA applicato alla produzione di tavole è di Milota e Puettmann (2017). Si tratta di una revisione di studi di LCA eseguiti singolarmente dagli stessi autori (Milota, 2005; Puettmann, 2012; Milota, 2015) nella zona del Nord Ovest Pacifico e Sud Est degli Stati Uniti. Nel lavoro del 2017 (Milota e Puettmann, 2017) l'unità funzionale è la produzione di 1 m³ di segati essiccati e piallati. Le specie impiegate dalle segherie intervistate sono la duglasia (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), la tsuga occidentale (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg), l'abete bianco (*Abies alba* Mill) e il pino (*Pinus spp.*). Il software utilizzato è il SimaPro 8.04 e il metodo di analisi degli impatti è TRACI. I confini del sistema comprendono la fase di trasporto, dalla zona di esbosco alla segheria e la produzione della tavola essiccata. Rispetto allo studio di Sahoo et. al (2021), non sono state prese in considerazione le fasi di esbosco e smaltimento. In Milota e Puettmann (2017), gli autori riportano le quantità di materie prime estratte per la produzione di energia nelle fasi di trasporto e produzione in segheria, ma non presentano il relativo consumo di energia come nell'analisi di Sahoo et al. (2021). Emerge comunque che nella fase di trasporto è maggiore l'impiego di combustibili fossili, mentre nella produzione in segheria l'83-84% delle risorse per la produzione di energia deriva dal legno. Secondo gli autori Milota e Puettmann (2017) è il processo di essiccazione che genera i maggiori consumi di energia, ma non sono precisate le quantità. Nel complesso dell'analisi LCA svolta da Milota e Puettmann (2017) il consumo di energia totale è di 3464 MJ per 1 m³ di tavola essiccata, per le segherie del Nord-Ovest Pacifico di cui: il 25% è di origine fossile, il 72% è energia rinnovabile e di questa il 98% deriva da biomassa. Nelle segherie del Sud-Est il consumo di energia totale è di 5151 MJ m⁻³ di cui: il 22% è di origine fossile, il 73% è energia rinnovabile con il 99% derivata da biomassa. Valori simili in percentuale sono stati rilevati anche da Sahoo et al (2021).

Le emissioni di CO₂ fossile anche in Milota e Puettmann (2017) sono maggiori nella fase di produzione in segheria (45,6 – 64 kg m⁻³), dovute alla fase di essiccazione, rispetto alle operazioni di trasporto (8,26 - 11,7 kg m⁻³). Invece, i valori degli indicatori d'impatto nell'analisi LCA di questi due autori, non sono distinti tra le fasi di produzione, ma sono forniti valori totali dell'intero sistema considerato, dal trasporto in segheria fino al prodotto finito. Per quanto riguarda il potenziale riscaldamento globale (GWP) le emissioni totali prodotte sono di 57,8 kg CO₂eq per le segherie del Nord Ovest Pacifico e 81,4 kg CO₂eq per la zona del Sud Est. Valori sono simili a quelli ottenuti da Sahoo et al. (2021) che però comprendono anche la fase di esbosco, non considerate in Milota e Puettmann (2017). Anche per gli altri indicatori d'impatto i valori totali non si differenziano di molto dall'analisi LCA di Sahoo et al. (2021) e la produzione delle tavole in segheria è sempre la fase che incide maggiormente nel consumo di energia e nelle

emissioni, rispetto al trasporto dalla zona di esbosco al piazzale della segheria. Altri lavori sono stati fatti sulla produzione di tavole essiccate, ma sono soprattutto analisi LCI (Bergman e Bowe, 2008; Bergman e Bowe, 2010; Bergman e Bowe, 2011; Wilson e Sakimoto, 2005). In tutti si conclude che il maggiore consumo di energia è dato dalla fase di essiccazione, ma per più dell'80% è generata dalla combustione di biomassa prodotta dagli scarti di lavorazione. Gli altri processi di produzione in segheria (taglio, movimentazione, piallatura) richiedono minore utilizzo di energia, ma proviene da fonti non rinnovabili. La combustione per il funzionamento dell'essiccatoio è anche imputata di contribuire maggiormente nelle emissioni in aria.

Gli studi LCA e LCI trovati, applicati a segherie e in particolare alla produzione di tavole essiccate, sono tutti eseguiti negli Stati Uniti. In Italia due studi LCA considerano la fase di produzione in segheria (Santi et al., 2016; Corradini et al., 2019), ma l'obiettivo principale è l'analisi del ciclo di vita di pannelli in legno (Massiv-Holz-Mauer – MHM). Nello specifico lo studio di Santi et al. (2016) confronta gli impatti generati dalla produzione di un muro di MHM con quelli di un muro tradizionale di mattoni, dall'estrazione delle materie prime alla produzione finale (*cradle-to-gate*). Mentre lo studio di Corradini et al. (2019) analizza tutto il ciclo di vita del pannello di MHM dalla fase di esbosco allo smaltimento del pannello (*cradle-to-grave*). Anche in questi due studi risulta che i processi di segheria incidono per una gran parte delle emissioni e utilizzo di energia, ma in Santi et al. (2016) la realizzazione del muro tradizionale ha un maggiore impatto ambientale rispetto al pannello in legno, mentre in Corradini et al. (2019), nonostante la fase di produzione del pannello (dal taglio del tronco al pannello finito) abbia un ruolo importante nelle emissioni, è la fase di utilizzo finale a generare l'impatto ambientale maggiore.

Il miglioramento dei processi di segheria, in particolare del processo di combustione nella fase di essiccazione, diventa quindi importante per rendere più sostenibili le produzioni insieme all'uso di sistemi efficienti di raccolta dei residui (segatura) come riportato in Corradini et al. (2019).

Dall'analisi LCA svolta in questo lavoro risulta che il consumo totale di energia dell'intero ciclo produttivo è di 968,65 MJ m⁻³ (tabella 10) e, come emerso negli studi precedenti, il contributo maggiore è dato dal processo di essiccazione che incide per il 77% con una produzione di 752,27 MJ m⁻³, di cui il 77% è generata da biomassa e il 23% da elettricità. Nel totale del consumo di energia il 60% proviene dalla combustione del cippato, il 28% da energia elettrica e il 12% deriva dal consumo di diesel (tabella 10). A differenza dei risultati emersi nelle analisi LCA sopra citate, osservando il consumo percentuale di energia, in questo caso, l'energia derivante dai combustibili fossili è maggiore (40% sul totale del consumo di energia) rispetto a quanto

riportato in Sahoo et al. (2019) e Milota e Puetzman (2017), ed è minore l'energia prodotta da biomassa.

Per quanto riguarda le emissioni in aria riferite al potenziale riscaldamento climatico (GWP), sono molto più elevate (143,98 – 124,08 kg CO₂eq) rispetto quelle riportate dagli studi sopra presentati. Risulta comunque che è il processo di combustione della biomassa in caldaia a incidere maggiormente nelle emissioni (62%), come trovato anche da Sahoo et al. (2019) e Milota e Puetzman (2017). Le emissioni inoltre aumentano all'aumentare del contenuto idrico del cippato impiegato in fase di combustione. Infatti, come dimostrato in diversi studi (Orang e Tran, 2015; Price-Allison et al., 2019; Schön et al., 2019; Bošnjaković et al., 2020) un elevato contenuto idrico influenza negativamente la combustione in caldaia, generando maggiori emissioni e diminuendo anche l'efficienza del processo di essiccazione. Infatti, per contenuti idrici elevati aumenta il tempo necessario alla produzione di calore per l'essiccazione perché diminuisce la temperatura in essiccatoio che può portare, inoltre, a delle interruzioni di funzionamento della caldaia e a un eventuale maggiore utilizzo di energia elettrica (Orang e Tran, 2015).

Tabella 10. Consumi di energia per la produzione di 1 m³ di tavola essiccata.

	MJ	Contributi %	Essiccazione	Contributi % sul totale
Energia totale	968,65	100%	752,27 (100%)	77%
Termica	580,10	60%	580,10 (77%)	60%
Elettricità	271,32	28%	172,17 (23%)	17%
Diesel	117,23	12%	-	-

5 CONCLUSIONI

In questo studio è stato analizzato l'impatto ambientale della produzione di 1 m³ di tavola di abete rosso essiccata, prodotta in una segheria di medie dimensioni in provincia di Belluno nella Regione Veneto. La metodologia utilizzata è il Life Cycle Assessment (LCA). Sono stati valutati i consumi di energia e le emissioni dei processi di produzione ed è stata eseguita un'analisi di sensitività. Sono stati messi a confronto tre diversi sistemi in cui è stato modificato il contenuto idrico del cippato impiegato nella fase di combustione per l'essiccazione, in particolare sono stati considerati il caso del cippato al 45%, 30% e 25% di contenuto idrico. Dall'analisi LCA è emerso, come ci si aspettava, che, all'aumentare del contenuto idrico del cippato, diminuisce l'efficienza della caldaia, quindi aumenta la quantità di cippato bruciata e, di conseguenza, aumentano le emissioni in aria, soprattutto quelle relative al potenziale riscaldamento globale (GWP kg CO₂eq).

Nell'analisi LCA svolta l'energia elettrica impiegata per la fase di essiccazione è stata mantenuta fissa nei tre casi considerati, per limiti nella disponibilità di tempo e dati, ma, per una maggiore precisione dei risultati, sarebbe utile considerare come varia l'energia utilizzata in fase di essiccazione al variare del contenuto idrico della biomassa bruciata in caldaia, considerando combustione del cippato ed essiccazione delle tavole come un unico processo. L'energia termica prodotta dalla combustione della biomassa in percentuale è pari al 60% sul totale dell'energia consumata e il processo di combustione della biomassa in caldaia è quello più emissivo. Le emissioni ottenute dallo studio LCA applicato nella segheria nella Regione Veneto, sono molto superiori rispetto a quanto ottenuto dagli altri autori. Le ragioni possono essere diverse, tra le quali le modalità di esecuzione dello studio LCA, la costruzione del modello, la quantità di dati analizzati e il contesto geografico. Legato alla metodologia LCA un altro elemento che potrebbe determinare una differenza nei risultati finali è il metodo di calcolo degli impatti utilizzato. Differenze nei risultati possono essere dovute anche all'efficienza dei sistemi di produzione della segheria analizzata, ma non è possibile da questi studi LCA fare un confronto sull'efficienza dei macchinari impiegati nelle segherie.

Considerando il caso della segheria oggetto di studio, risulta comunque evidente l'importanza di migliorare il processo di combustione, migliorando la qualità del cippato, per ridurre le emissioni in aria e rendere la produzione meno impattante. A tale scopo diventa quindi necessario valutare l'installazione di un sistema di essiccazione del cippato che permetta di raggiungere il contenuto idrico del 25% così da garantire il funzionamento della caldaia al massimo dell'efficienza, ridurre le emissioni e migliorare il processo di essiccazione delle tavole.

La biomassa prodotta dalla segheria come scarto di lavorazione è solo in parte utilizzata per il funzionamento dell'essiccatoio e la restante parte è venduta, ma la segheria potrebbe impiegare il cippato rimanente per la produzione interna di energia, aumentando così l'uso di energia rinnovabile.

BIBLIOGRAFIA

- Agnoletti, M. (1994). Technology, Economics, and Forestry: Water-Powered Sawmills in Italy's Cadore Region. *Forest and Conservation History*, 38(1), 24-32
- Allegretti, O. (2000). Essiccazione e stagionatura del legno. *Dendronatura, Semestrale dell'Associazione Forestale del Trentino*, 20(1)
- Anderson JO, Westerlund L. (2014). Improved energy efficiency in sawmill drying system. *Applied Energy* 113, 891-901
- Baker W. J. (1956). How wood dries. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Rept. No. R1642
- Baronas R., Ivanauskas F., Juodeikienė I., Kajalavičius A. (2001). Modelling of moisture movement in wood during outdoor storage. *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*, v.6, No. 2, 3-14
- Bergman R. (2021). Drying and Control of Moisture Content and Dimensional Changes. In *Wood handbook—wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-282. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 543p.
- Bergman, R. D., Bowe, S. A. (2008). Environmental impact of producing hardwood lumber using life-cycle inventory. *Journal*, 40(3), 448-458
- Bergman, R. D., Bowe, S. A. (2010). Environmental impact of manufacturing softwood lumber in northeastern and north central United States. *Wood and Fiber Science*, 42, 67-78
- Bergman, R. D., Bowe, S. A. (2012). Life-cycle inventory of manufacturing hardwood lumber in southeastern US. *Wood and Fiber Science*, 44(1), 71-84
- Berto, R. (2015). La salvaguardia ambientale in edilizia. Verifica della metodologia LCA attraverso l'applicazione a un caso di studio. *Analisi critica e contributi per un possibile sviluppo*
- Bjørn, A., Diamond, M., Owsianiak, M., Verzat, B., Hauschild, M. Z. (2015). Strengthening the link between life cycle assessment and indicators for absolute sustainability to support development within planetary boundaries
- Bond, B. H., Espinoza, O. (2016). A decade of improved lumber drying technology. *Current Forestry Reports*, 2(2), 106-118
- Bošnjaković M.; Veljić N.; Soldan C. (2020). Influence of moisture content in wood chips on the boiler operation. 7th INTERNATIONAL CONFERENCE “VALLIS AURE” 2020 pp. 0091-0101
- Bowers, T., Puettmann, M. E., Ganguly, I., Eastin, I. (2017). Cradle-to-gate life-cycle impact analysis of glued-laminated (glulam) timber: Environmental impacts from glulam produced in the US Pacific northwest and southeast. *Forest Products Journal*, 67(5-6), 368-380
- Bowyer, J., Howe, J., Guillery, P., Fernholz, K. (2005). *Life Cycle Analysis A Key to Better Environmental Decisions*

- Bozza E., (2021). Il consorzio Legno Veneto: serve una segheria con il sostegno della politica. Corriere delle Alpi. <https://corrierealpi.gelocal.it/belluno/cronaca/2021/09/26/news/il-consorzio-legno-veneto-serve-una-segheria-con-il-sostegno-della-politica-1.40744631>
- Bozza E., (2020). Le criticità della filiera legno in Veneto. L'informatore agrario. <https://www.informatoreagrario.it/news/le-criticita-della-filiera-del-legno-in-veneto/>
- Cefarin, N., Bedolla, D. E., Surowka, A., Donato, S., Sepperer, T., Tondi, G., Vaccari, L. (2021). Study of the Spatio-Chemical Heterogeneity of Tannin-Furanic Foams: From 1D FTIR Spectroscopy to 3D FTIR Micro-Computed Tomography. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(23), 12869
- Celetti D. (2008). Il bosco nelle province venete dall'Unità ad oggi. Strutture e dinamiche economiche in età contemporanea. Padova: Cleup - Coop. Libreria Editrice Università di Padova
- Celen, P., Erdem, H. H. (2017). A CASE STUDY FOR CALCULATION OF BOILER EFFICIENCY BY USING INDIRECT METHOD
- Cesprini, E., Šket, P., Causin, V., Zanetti, M., Tondi, G. (2021). Development of Quebracho (*Schinopsisbalansae*) Tannin-Based Thermoset Resins. *Polymers*, 13(24), 4412
- Chen, C. X., Pierobon, F., Ganguly, I. (2019). Life Cycle Assessment (LCA) of Cross-Laminated Timber (CLT) produced in Western Washington: The role of logistics and wood species mix. *Sustainability*, 11(5), 1278
- Ciccarese L., Pellegrino P., Pettenella D., (2014) – A new principle of the European Union forest policy: the cascading use of wood products. *L'Italia Forestale e Montana*, 69 (5): 285-290. <http://dx.doi.org/10.4129/ifm.2014.5.01>
- Corradini, G., Pierobon, F., Zanetti, M. (2019). Product environmental footprint of a cross-laminated timber system: a case study in Italy. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(5), 975-988
- Durlinger, B., Crossin, E., Wong, J. P. C. (2013). Life cycle assessment of a cross laminated timber building. RMIT University
- Dzurenda L., Banski A. (2015). Dependence of the boiler flue gas losses on humidity of wood biomass. *Archives of thermodynamics*. Vol. 36(2015), No. 4, 77–86 DOI: 10.1515/aoter-2015-0034
- Dzurenda, L., & Banski, A. (2017). Influence of moisture content of combusted wood on the thermal efficiency of a boiler. *Archives of Thermodynamics*, 63-74
- Ekvall, T., Azapagic, A., Finnveden, G., Rydberg, T., Weidema, B. P., & Zamagni, A. (2016). Attributional and consequential LCA in the ILCD handbook. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(3), 293-296

- European Commission (2014). Illegal logging/FLEGT Action Plan. [online] URL: <http://ec.europa.eu/environment/forests/flegt.htm>
- European Commission, 2021. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. New EU Forest Strategy for 2030. Brussels, 16.7.2021 COM(2021) 572 final
- Espinoza O. e Bond B. (2016). Vacuum Drying of Wood—State of the Art. *Curr Forestry Rep* (2016) 2:223–235 DOI 10.1007/s40725-016-0045-9
- FILIERA DEL LEGNO VENETO. (2020). Una proposta di modello di riposizionamento competitivo. Relazione finale di progetto WP1: Nuovi modelli di business per la valorizzazione della filiera di prossimità. AZ.1.1 Trend di mercato e modelli contrattuali innovativi. Progetto "Riposizionamento competitivo della filiera del legno (CORE-WOOD), POR FESR 2014-2020, Azione 1.1.4
- Franke, B., Franke, S., Schiere, M., Müller, A. (2016). Moisture diffusion in wood—Experimental and numerical investigations. In *World Conference on Timber Engineering*
- Francescato, V., Antonini E., (2009). *Legna e cippato. Manuale pratico*. Ed. AIEL, pg. 9-16. Legnaro (PD)
- Fredriksson M., Thybring E.E., (2018). Scanning or desorption isotherms? Characterising sorption hysteresis of wood. *Cellulose* 25:4477- 4485 <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1898-9>
- Fredriksson, M., (2019). On wood–water interactions in the over-hygroscopic moisture range—Mechanisms, methods, and influence of wood modification. *Forests*, 10(9), 779
- GarbarinoM, Sibona E, Lingua E, Motta R. (2014). Decline of traditional landscape in a protected area of the southwestern Alps: the fate of enclosed pasture patches in the land mosaic shift. *Journal of Mountain Science* 11 (2): 544-554. - doi: 10.1007/s11629-013-2666-9
- Gebreegziabher T., Oyedun A. O.,Hui C.W., (2013). Optimum biomass drying for combustion e A modeling approach. *Energy*53, 67-73
- Gezici-Koç, Erich S. J. F.,Huinink H. P., van der Ven L. G. J., Adan O. C. G., (2017). Bound and free water distribution in wood during water uptake and drying as measured by 1D magnetic resonance imaging. *Cellulose* 24:535–553 DOI 10.1007/s10570-016-1173-x
- Glass S. V., Zelinka S. L., (2021). Moisture relations and physical properties of wood. In *Wood handbook-wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-282. Madison,WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 543p.
- Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., Olsen, S. I., (2018). *Life cycle assessment*. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3> Book

- International Standard Organization (ISO) (2006a) Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework. ISO 14040. Geneva: International Organization for Standardization
- International Organization for Standardization (ISO) (2006b) Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines. ISO 14044. Geneva: International Organization for Standardization
- Kayo, C., Dente, S. M., Aoki-Suzuki, C., Tanaka, D., Murakami, S., Hashimoto, S., (2019). Environmental impact assessment of wood use in Japan through 2050 using material flow analysis and life cycle assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 23(3), 635-648
- Khazaei, J., (2008). Water absorption characteristics of three wood varieties. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 41(2), 134
- Klein, D., Wolf, C., Schulz, C., Weber-Blaschke, G., (2015). 20 years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(4), 556-575
- Le foreste nel Medioevo tra economia ed ecologia. (2012)
<https://ilpalazzodisichelgaita.wordpress.com/2012/02/27/le-foreste-nel-medioevo-tra-economia-ed-ecologia/>
- Leiker M., Adamska M.A., (2004). Energy efficiency and drying rates during vacuum microwave drying of wood. *HolzRohWerkst*62:203–208 DOI 10.1007/s00107-004-0479-9
- Leiker, M., Aurich, K., Adamska, M. A., (2005). Accelerated drying of single hardwood boards by combined vacuum-microwave application. In 9th International IUFRO Wood Drying Conference (Vol. 8, pp. 185-190)
- Leuca, T., Bandici, L., Molnar, C., (2004). The study of the drying of wood in a microwave field. In *Progress in Electromagnetic Research Symposium—March 28-31 Pisa, Italy* (pp. 349-352).
- Li, X. J., Li, W. J., Zhang, B. G. (2007). Microwave vacuum drying characteristics of *Pinus massoniana* wood. *Forestry Studies in China*, 9(1), 63-67
- Li, T., Zhang, H., Liu, Z., Ke, Q., Alting, L., (2014). A system boundary identification method for life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(3), 646-660
- Liang, S., Gu, H., Bergman, R., (2021). Environmental life-cycle assessment and life-cycle cost analysis of a high-rise mass timber building: A case study in Pacific Northwestern United States. *Sustainability*, 13(14), 7831
- Listolade e dintorni. *La segheria veneziana*. <https://www.listolade.it/sega-veneziana.html>
- Marchetti M, Motta R, Pettenella D, Sallustio L, Vacchiano G., (2018). Le foreste e il sistema foresta-legno in Italia: verso una nuova strategia per rispondere alle sfide interne e globali. *Forest@* 15: 41-50. – doi: 10.3832/efor2796-015 [online 2018-05-03]

- Meng Y., Chen G., Hong G., Wang M., Gao J., Chen Y., (2019). Energy efficiency performance enhancement of industrial conventional wood drying kiln by adding forced ventilation and waste heat recovery system: a comparative study. *Maderas. Ciencia y tecnología* 21(4): 545 - 558, 2019 DOI: 10.4067/S0718-221X2019005000410
- Milota, M. R., West, C. D., & Hartley, I. D., (2005). Gate-to-gate life-cycle inventory of softwood lumber production. *Wood and fiber science*, 37, 47-57
- Milota, M., (2015). Life cycle assessment for the production of Pacific Northwest softwood lumber. CORRIM Final Report, Module B. December, 15, 56
- Milota, M., Puettmann, M. E., (2017). Life-cycle assessment for the cradle-to-gate production of softwood lumber in the pacific northwest and southeast regions. *Forest Products Journal*, 67(5-6), 331-342
- Oloyede, A., Groombridge, P., (2000). The influence of microwave heating on the mechanical properties of wood. *Journal of Materials Processing Technology*, 100(1-3), 67-73
- Oltean, L., Teischinger, A., Hansmann, C., (2007). Influence of temperature on cracking and mechanical properties of wood during wood drying—A review. *BioResources*, 2(4), 789-811
- Orang, N., & Tran, H., (2015). Effect of feedstock moisture content on biomass boiler operation. *Tappi J*, 14(10), 629-637
- Palanti S., (2013). Durabilità del legno. Palermo: Dario Flaccovio Editorie s.r.l
- Palombo C, Chirici G, Marchetti M, Tognetti R., (2013). Is land abandonment affecting forest dynamics at high elevation in Mediterranean mountains more than climate change? *Plant Biosystems* 147 (1): 1-11. - doi: 10.1080/11263504.2013.772081
- Perré, P., (1999). How to get a relevant material model for wood drying simulation. *Advances in drying of wood*
- Pierobon, F., Huang, M., Simonen, K., Ganguly, I., (2019). Environmental benefits of using hybrid CLT structure in midrise non-residential construction: An LCA based comparative case study in the US Pacific Northwest. *Journal of Building Engineering*, 26, 100862
- Price-Allison, A., Lea-Langton, A. R., Mitchell, E. J. S., Gudka, B., Jones, J. M., Mason, P. E., Williams, A., (2019). Emissions performance of high moisture wood fuels burned in a residential stove. *Fuel*, 239, 1038-1045
- Perko, S., (2020). Analisi dei processi produttivi di una segheria in Veneto. Relatrice Zanetti, M. Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Scuola di Agraria, Università degli studi di Padova, Legnaro
- Puettmann, M., (2012). 1 Cradle to Gate Life Cycle Assessment of Softwood Lumber Production from the Southeast

- RaF Italia 2017-2018 - Rapporto sullo stato delle Foreste e del settore forestale in Italia. Prodotto dalla Rete Rurale Nazionale (RRN 2014-2020); Compagnia delle Foreste (AR). ISBN: 978-88-98850-34-1
- Resente G. A., Carraro F., Cavalli R., Zanetti M., (2020). Le segherie in Veneto. Stato dell'arte e prospettive future. *Sherwood. Foreste e alberi oggi*, n. 248, vol.26(5):21-25
- Ruggieri, N., (2011). *Il legno nel '700: aspetti meccanici e d'anatomia*. bollettino ingegneri n.6. pp. 3-16. ISSN 2035-2417
- Ryberg, M. W., Owsianiak, M., Richardson, K., Hauschild, M. Z., (2018). Development of a life-cycle impact assessment methodology linked to the Planetary Boundaries framework. *Ecological Indicators*, 88, 250-262
- Sahoo, K., Bergman, R., Alanya-Rosenbaum, S., Gu, H., Liang, S., (2019). Life cycle assessment of forest-based products: A review. *Sustainability*, 11(17), 4722
- Sahoo, K., Bergman, R., Runge, T., (2021). Life-cycle assessment of redwood lumber products in the US. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(8), 1702-1720
- Santi, S., Pierobon, F., Corradini, G., Cavalli, R., Zanetti, M., (2016). Massive wood material for sustainable building design: the Massiv-Holz-Mauer wall system. *Journal of Wood Science*, 62(5), 416-428
- Schmidt, U., (2006). Predicting wood movement. *WoodSense*. In *Woodcraft magazine*, 11.06, Pages 73-76
- Schön, C., Kuptz, D., Mack, R., Zelinski, V., Loewen, A., Hartmann, H., (2019). Influence of wood chip quality on emission behaviour in small-scale wood chip boilers. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 9(1), 71-82
- Seyfarth R., Leiker M., Mollekopf N., (2003). Continuous Drying of Lumber in a Microwave Vacuum Kiln 8th International IUFRO Wood Drying Conference – 2003
- Simpson, W. T., (1999). Drying and control of moisture content and dimensional changes. *Wood handbook: wood as an engineering material*. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. General technical report FPL; GTR-113: Pages 12.1-12.20, 113
- Skaar C., Siau J.F., (1981). Thermal diffusion of bound water in wood. *Wood science and technology*. 15(2): 105 – 112
- Stamm, A. J., Hansen, L. A., (1937). Minimizing wood shrinkage and swelling effect of heating in various gases. *Industrial & Engineering Chemistry*, 29(7), 831-833
- Tronstad S., (2005). "Advances in drying of wood: NTI-papers from COST-E15 seminars 2000-2004." *Report/Treteknisk*

- Vahtikari K., Rautkari L., Noponen T., Lillqvist (née Laine) K., Hughes M., (2017). The influence of extractives on the sorption characteristics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *J Mater Sci* 52:10840-10852
- Vanni E., (2014). Sistemi agro-silvo-pastorali in un contesto dell'Etruria costiera. Aspetti conservativi del paesaggio in una prospettiva di lunga durata. Relatore Cambi F. Dipartimento di studi umanistici. Scuola di Dottorato Le culture dell'ambiente, del territorio e dei paesaggi. Università di Foggia
- Vanzetti N., Corsano G., Montagna J.M., (2020). Drying operation planning in a sawmill. *Computer and Chemical Engineering*, N. 137
- Vanzetti N., Corsano G., Montagna J.M., (2021). Integrated scheduling of the drying process in a sawmill. *Computer and Chemical Engineering*, N. 153
- Veneto Agricoltura (2021). *Rapporto sullo stato delle foreste e del settore forestale in Veneto 2020*. Legnaro (PD) Veneto Agricoltura pp. 170 - ISBN: 978-88-6337-260-1
- Viola F., (2017). *Le antiche foreste del Veneto e le politiche forestali della Serenissima*. Il risveglio della Foresta, le politiche forestali dalla Serenissima a oggi. Quaderno della collana di Europe Direct Veneto, n.19. Agenzia Veneto Agricoltura, Legnaro (PD)
- Vongpradubchai, S., Rattanadecho, P., (2009). The microwave processing of wood using a continuous microwave belt drier. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 48(5), 997-1003
- Ward, J. C., Simpson, W. T., (1997). Drying defects. Dry kiln operator's manual. Forest Products Society, Madison, 257-267
- Wilson, J. B., Sakimoto, E. T., (2005). Gate-to-gate life-cycle inventory of softwood plywood production. *Wood and Fiber Science*, 37, 58-73
- Zannini A., (2011). «I mercanti di legname delle Alpi orientali (secc. XV-XVIII). Note da alcuni studi recenti», in Andrea Csillaghy, Antonella Riem Natale, Milena Romero Allué, Roberta De Giorgi, Andrea Del Ben e Lisa Gasparotto (a cura di), *Un tremore di foglie*. Scritti e studi in ricordo di Anna Panicali, Udine, Forum,, pp. 471-478

RINGRAZIAMENTI

Dedico questo spazio ai ringraziamenti delle persone che in questo percorso accademico mi hanno sempre sostenuta, aiutata e senza le quali la realizzazione di questo lavoro di tesi non sarebbe stata possibile.

Un primo grande ringraziamento ai miei genitori e alla mia famiglia che mi hanno permesso di intraprendere e terminare questo percorso di studi, supportandomi e sopportandomi e a cui dedico questo lavoro.

Non posso dimenticare il mio fidanzato, i miei amici e le mie amiche. A voi un grazie di cuore per esserci sempre stati nei momenti più importanti.

Ringrazio, infine, la segheria Fratelli Saviane di Pompeo s.r.l. e in particolare Luciano e Tania Saviane per la loro disponibilità e collaborazione.

Questa ricerca è stata svolta nell'ambito del progetto "CORE WOOD – Riposizionamento competitivo della filiera del legno" (Schema di finanziamento: POR FESR 2014-2020, Regione del Veneto, Asse 1. Azione 1.1.4. Delibera di Giunta regionale n. 1139 del 19 luglio 2017 "Bando per il sostegno a progetti di Ricerca e Sviluppo sviluppati dalle Reti Innovative Regionali e dai Distretti Industriali")

ALLEGATO A

EMISSIONI PER LA PRODUZIONE DI 1 M³ DI TAVOLA ESSICCATA CON CIPPATTO AL 45% DI CONTENUTO IDRICO

Potenziale di riscaldamento climatico (GWP)kgCO ₂ eq	TOTALE	Combustione in caldaia cippato MC45	Movimentazione tronchi in piazzale	Taglio tronco segatronchi	Movimentazione segati in piazzale	Movimentazione tavole essiccatoio	Cippatura sciaveri	Movimentazione tavole essiccatoio	Essiccazione tavole
Emissions to air	143,9841	89,36026719	4,781797892	13,16626814	0,592625097	0,114873035	3,227549	0,110278	32,6304283
ecoinvent long-term to air	4,09E-05	3,29E-07	1,18E-07	3,89E-05	2,32E-07	4,50E-08	1,23E-07	4,32E-08	1,09E-06
Carbon dioxide, fossil	3,73E-05	4,56E-08	1,53E-08	3,70E-05	1,75E-07	3,40E-08	1,48E-08	3,26E-08	0
Dinitrogen monoxide	1,78E-06	2,15E-07	7,87E-08	1,43E-06	3,89E-08	7,55E-09	1,13E-10	7,25E-09	0
Ethane, ³	1,77E-06	6,85E-08	2,41E-08	4,60E-07	1,77E-08	3,43E-09	1,08E-07	3,30E-09	1,09E-06
Methane, fossil	1,42E-08	0	0	1,41E-08	5,19E-11	1,01E-11	4,55E-12	9,65E-12	0
Inorganic emissions to air	140,0612	89,13503728	4,727037306	12,32975209	0,565695205	0,109653009	2,978289	0,105267	30,11045824
Carbon dioxide	50,1072	1,441271798	4,675512047	10,97023241	0,557648914	0,108093336	2,902845	0,10377	29,34782888
Carbon dioxide (biotic)	88,95724	87,13440496	0,005088108	1,211832862	0,002674445	0,000518408	0,054215	0,000498	0,548007903
Nitrogen trifluoride	2,45E-11	2,82E-12	2,26E-13	1,62E-11	1,11E-13	2,14E-14	4,57E-13	2,06E-14	4,62E-12
Nitrous oxide (laughing gas)	0,985473	0,55922928	0,046151692	0,146265863	0,005191073	0,001006225	0,020402	0,000966	0,206261673
Sulphur hexafluoride	0,011275	0,000131237	0,000285458	0,001420953	0,000180771	3,50E-05	0,000828	3,36E-05	0,00835978
Non-urban air or from high stacks	2,12E-07	1,53E-08	2,81E-08	1,42E-07	1,98E-08	3,83E-09	4,21E-11	3,68E-09	0
Chloroform	3,15E-08	2,26E-09	4,17E-09	2,10E-08	2,93E-09	5,68E-10	6,25E-12	5,46E-10	0
Ethane, 1,2-dichloro-	7,21E-10	5,19E-11	9,54E-11	4,81E-10	6,72E-11	1,30E-11	1,43E-13	1,25E-11	0
Methane, dichloro-, HCC-30	5,24E-08	3,77E-09	6,93E-09	3,50E-08	4,88E-09	9,46E-10	1,04E-11	9,08E-10	0
Methane, monochloro-, R-40	1,28E-07	9,18E-09	1,69E-08	8,52E-08	1,19E-08	2,31E-09	2,53E-11	2,21E-09	0
Organic emissions to air (group VOC)	3,922856	0,225229555	0,054760433	0,836476943	0,026929636	0,005219976	0,249259	0,005011	2,519968967
Group NMVOC to air	0,012457	0,000280363	0,000516376	0,002051642	0,000249781	4,84E-05	0,000834	4,65E-05	0,008429806
Halogenated organic emissions to air	0,012457	0,000280363	0,000516376	0,002051642	0,000249781	4,84E-05	0,000834	4,65E-05	0,008429806

³1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113

1,1,1-Trichloroethane	2,72E-07	4,62E-09	8,51E-09	4,29E-08	5,99E-09	1,16E-09	1,87E-08	1,11E-09	1,89E-07
Carbon tetrachloride (tetrachloromethane)	1,52E-05	3,94E-07	1,29E-06	4,73E-06	8,31E-07	1,61E-07	6,92E-07	1,55E-07	6,94E-06
Chloromethane (methyl chloride)	4,13E-07	0	0	0	0	0	3,71E-08	0	3,76E-07
Dichloroethane (ethylene dichloride)	9,92E-08	4,61E-10	1,34E-09	5,95E-09	9,35E-10	1,81E-10	8,12E-09	1,74E-10	8,20E-08
Dichloromethane (methylene chloride)	1,95E-07	1,40E-09	1,99E-09	1,08E-08	9,77E-10	1,89E-10	1,61E-08	1,82E-10	1,63E-07
Halon (1211)	0,001168	4,54E-05	8,84E-07	0,000262503	4,63E-07	8,97E-08	7,73E-05	8,61E-08	0,000781447
Halon (1301)	0,001701	1,53E-05	0,000459492	0,000362565	0,000212168	4,11E-05	5,15E-05	3,95E-05	0,000519613
Hexachlorobenzene (Perchlorobenzene)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Methyl bromide	1,08E-10	3,15E-15	1,39E-15	1,02E-10	3,64E-12	7,06E-13	3,61E-13	6,78E-13	4,21E-13
Perfluoropentane	0,002416	0	0	0	0	0	0,000217	0	0,002198222
R 11 (trichlorofluoromethane)	4,16E-09	1,85E-10	9,26E-10	2,27E-09	5,19E-10	1,01E-10	7,88E-12	9,65E-11	5,43E-11
R 113 (trichlorotrifluoroethane)	0,000318	2,83E-06	8,45E-08	1,65E-05	5,64E-08	1,09E-08	2,69E-05	1,05E-08	2,72E-04
R 114 (dichlorotetrafluoroethane)	0,000694	1,01E-05	1,39E-05	5,81E-05	6,19E-06	1,20E-06	5,43E-05	1,15E-06	0,000548858
R 116 (hexafluoroethane)	1,03E-04	4,07E-06	4,90E-06	4,55E-05	4,87E-06	9,44E-07	3,78E-06	9,06E-07	3,76E-05
R 12 (dichlorodifluoromethane)	2,50E-05	1,22E-06	4,94E-07	7,45E-06	2,48E-07	4,80E-08	1,39E-06	4,61E-08	1,41E-05
R 124 (chlorotetrafluoroethane)	2,88E-05	2,55E-07	5,50E-09	1,48E-06	2,82E-09	5,46E-10	2,44E-06	5,24E-10	2,46E-05
R 125 (pentafluoroethane)	3,70E-31	1,85E-32	3,42E-32	2,67E-31	3,61E-32	7,01E-33	4,90E-34	6,73E-33	0
R 134a (tetrafluoroethane)	1,41E-04	1,48E-06	2,35E-07	8,91E-06	1,34E-07	2,60E-08	1,17E-05	2,49E-08	1,19E-04
R 143a (trifluoroethane)	4,32E-32	2,16E-33	3,98E-33	3,11E-32	4,22E-33	8,17E-34	5,72E-35	7,84E-34	0
R 152a (difluoroethane)	7,50E-06	1,16E-07	9,70E-07	2,01E-06	5,72E-07	1,11E-07	3,28E-07	1,06E-07	3,29E-06
R 21 (Dichlorofluoromethane)	1,19E-10	5,32E-12	2,67E-11	6,54E-11	1,49E-11	2,89E-12	1,92E-13	2,78E-12	1,21E-12
R 22 (chlorodifluoromethane)	0,005191	0,000170658	1,57E-05	0,001041533	8,29E-06	1,61E-06	0,000356	1,54E-06	0,003595616
R 23 (trifluoromethane)	3,18E-06	1,42E-07	7,11E-07	1,74E-06	3,98E-07	7,71E-08	5,12E-09	7,41E-08	3,23E-08
Tetrachloroethene (perchloroethylene)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tetrafluoromethane	0,000645	2,83E-05	1,77E-05	0,000238491	1,55E-05	3,01E-06	3,06E-05	2,89E-06	3,08E-04
Trichloroethene (isomers)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trichloromethane (chloroform)	1,25E-07	2,59E-10	7,53E-10	3,34E-09	5,25E-10	1,02E-10	1,08E-08	9,77E-11	1,09E-07
Methane	3,619936	0,11319155	0,053870472	0,701599014	0,026468948	0,005130678	0,244355	0,004925	2,470394596
Methane (biotic)	0,290456	0,111756885	0,000372951	0,132821206	0,000210582	4,08E-05	0,00407	3,92E-05	0,041144566
Methane, from soil or biomass stock	6,92E-06	7,57E-07	6,34E-07	5,08E-06	3,25E-07	6,30E-08	7,19E-10	6,05E-08	0

Potenziale di tossicità umana (HTP) kg DCB eq.	TOTALE	Combustione in caldaia cippato MC45	Movimentazione tronchi in piazzale	Taglio tronco segatronchi	Movimentazione segati in piazzale	Movimentazione tavole essiccatore	Cippatura sciaveri	Movimentazione tavoloessiccatore	Essiccazione tavole
Emissions to air	10,88	4,42	0,39	1,88	0,151749	0,029415	0,35812	0,028238	3,619094
Ecoinvent long-term to air	0,060231	0,000592	0,000807	0,006015	0,000419	8,12E-05	0,004705	7,80E-05	0,047534
Ammonia	3,80E-09	4,96E-10	1,69E-10	3,02E-09	8,14E-11	1,58E-11	1,66E-13	1,51E-11	0
Antimony	8,59E-06	1,03E-07	1,25E-07	9,22E-07	6,53E-08	1,27E-08	6,62E-07	1,22E-08	6,68E-06
Arsenic	0,025586	0,000248	0,000342	0,002366	0,000177	3,43E-05	0,002016	3,29E-05	0,02037
Barium	6,20E-05	7,31E-07	8,90E-07	6,55E-06	4,65E-07	9,01E-08	4,79E-06	8,65E-08	4,84E-05
Beryllium	0,000397	3,89E-06	5,31E-06	3,69E-05	2,75E-06	5,33E-07	3,13E-05	5,11E-07	0,000316
Cadmium	0,000315	7,62E-06	5,33E-06	5,71E-05	2,88E-06	5,58E-07	2,17E-05	5,36E-07	0,000219
Chromium	9,75E-09	9,46E-10	6,88E-10	7,57E-09	3,94E-10	7,63E-11	2,15E-12	7,33E-11	0
Chromium VI	0,030648	0,000296	0,00041	0,002822	0,000212	4,10E-05	0,002417	3,94E-05	0,024412
Cobalt	0,000203	2,06E-06	2,64E-06	2,58E-05	1,40E-06	2,71E-07	1,54E-05	2,60E-07	0,000155
Copper	0,00058	8,94E-06	1,02E-05	0,000111	5,57E-06	1,08E-06	3,98E-05	1,04E-06	0,000402
Dioxins ⁴ ,	2,54E-08	1,82E-10	3,96E-10	2,44E-08	2,91E-10	5,64E-11	7,54E-12	5,41E-11	0
Hydrogen chloride	9,03E-08	1,02E-08	4,15E-09	7,14E-08	3,29E-09	6,38E-10	1,34E-11	6,13E-10	0
Hydrogen fluoride	1,31E-06	1,35E-07	1,06E-07	9,76E-07	6,86E-08	1,33E-08	3,13E-10	1,28E-08	0
Hydrogen sulfide	8,68E-07	1,08E-09	7,90E-10	1,05E-08	9,43E-10	1,83E-10	7,69E-08	1,75E-10	7,78E-07
Lead	6,01E-05	7,88E-07	9,40E-07	6,90E-06	4,96E-07	9,62E-08	4,57E-06	9,23E-08	4,62E-05
Mercury	5,82E-06	6,36E-08	8,29E-08	5,86E-07	4,35E-08	8,42E-09	4,53E-07	8,09E-09	4,57E-06
Molybdenum	0,000131	1,27E-06	1,75E-06	1,21E-05	9,07E-07	1,76E-07	1,03E-05	1,69E-07	0,000104
Nickel	0,001288	1,15E-05	1,44E-05	0,000468	8,92E-06	1,73E-06	7,05E-05	1,66E-06	0,000711
Nitrogen oxides	2,22E-07	1,51E-09	5,10E-10	2,18E-07	1,04E-09	2,02E-10	7,04E-11	1,94E-10	0
NMVO ⁵ ,	1,43E-09	0	0	1,42E-09	5,24E-12	1,02E-12	4,60E-13	9,75E-13	0

⁴measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin

⁵non-methane volatile organic compounds, unspecified origin

Particulates, < 2.5 um	1,24E-05	2,84E-07	2,22E-07	2,24E-06	1,41E-07	2,73E-08	8,54E-07	2,63E-08	8,62E-06
Particulates, > 10 um	2,72E-05	7,06E-07	5,52E-07	5,59E-06	3,49E-07	6,76E-08	1,79E-06	6,49E-08	1,81E-05
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	1,67E-05	4,25E-07	3,50E-07	3,73E-06	2,22E-07	4,30E-08	1,07E-06	4,13E-08	1,08E-05
Selenium	0,000331	3,21E-06	4,43E-06	3,06E-05	2,29E-06	4,43E-07	2,61E-05	4,26E-07	0,000264
Sulphur dioxide	1,72E-06	5,42E-08	6,09E-07	6,66E-07	2,81E-07	5,45E-08	1,79E-10	5,23E-08	0
Thallium	6,81E-07	8,21E-08	1,98E-08	5,58E-07	1,58E-08	3,06E-09	1,19E-10	2,93E-09	0
Tin	6,14E-09	1,68E-10	1,57E-10	1,30E-09	8,83E-11	1,71E-11	3,96E-10	1,64E-11	4,00E-09
Vanadium	0,000544	6,07E-06	7,25E-06	5,50E-05	3,76E-06	7,29E-07	4,23E-05	6,99E-07	0,000428
Zinc	1,04E-05	2,09E-07	2,17E-07	1,68E-06	1,17E-07	2,26E-08	7,34E-07	2,17E-08	7,41E-06
Heavy metals to air	3,023276	0,326251	0,21465	0,355203	0,094494	0,018316	0,179753	0,017584	1,817025
Antimony	0,016003	0,000597	0,000554	0,005491	0,000321	6,22E-05	0,000804	5,97E-05	0,008114
Arsenic	0,370471	0,000311	0,018292	0,010834	0,008412	0,001631	0,029651	0,001565	0,299775
Cadmium	0,073233	0,000174	0,011043	0,006531	0,004333	0,00084	0,004457	0,000806	0,045047
Chromium	0,003755	1,96E-05	9,50E-05	0,000244	4,45E-05	8,63E-06	0,0003	8,29E-06	0,003035
Chromium (+VI)	0,543904	9,93E-05	0,000523	0,000793	0,000138	2,68E-05	0,048804	2,57E-05	0,493494
Cobalt	0,050979	0,001243	0,002728	0,008606	0,001268	0,000246	0,003299	0,000236	0,033354
Copper	0,120066	0,077437	0,010431	0,010157	0,001136	0,00022	0,001844	0,000211	0,01863
Hydrogen arsenic (arsine)	3,32E-09	1,32E-10	3,36E-10	2,35E-09	3,57E-10	6,92E-11	5,46E-12	6,65E-11	5,97E-12
Lead	0,012868	0,009605	0,000194	0,000891	0,000102	1,98E-05	0,000183	1,90E-05	0,001853
Mercury	0,004901	0,001602	0,000114	0,000883	5,61E-05	1,09E-05	0,0002	1,04E-05	0,002024
Molybdenum	0,004576	0,000143	6,84E-05	0,001014	3,81E-05	7,38E-06	0,000297	7,09E-06	0,003001
Nickel	1,187121	0,195305	0,117201	0,201302	0,054277	0,010521	0,053884	0,0101	0,544531
Selenium	0,083676	0,002937	0,004572	0,019647	0,001963	0,000381	0,004844	0,000365	0,048967
Thallium	0,021064	0,000229	0,008705	0,005526	0,003997	0,000775	1,00E-04	0,000744	0,000988
Tin	8,03E-07	2,54E-08	1,50E-07	2,56E-07	7,20E-08	1,40E-08	2,46E-08	1,34E-08	2,48E-07
Vanadium	0,503821	0,011036	0,039954	0,082802	0,018373	0,003561	0,031028	0,003419	0,313648
Zinc	0,026837	0,025513	0,000175	0,000482	3,35E-05	6,49E-06	5,59E-05	6,23E-06	0,000564
Inorganic emissions to air	1,032572	0,039449	0,02269	0,272817	0,005155	0,000999	0,062151	0,000959	0,62835

Ammonia	5,97E-05	1,99E-06	4,03E-06	1,39E-05	5,87E-07	1,14E-07	3,51E-06	1,09E-07	3,55E-05
Barium	0,003906	0,000161	5,00E-05	0,001061	3,02E-05	5,86E-06	0,000233	5,62E-06	0,002359
Beryllium	0,001695	5,24E-06	0,000157	0,000106	7,21E-05	1,40E-05	0,000119	1,34E-05	0,001208
Carbon disulphide	4,15E-05	2,17E-06	2,74E-06	1,71E-05	1,75E-06	3,40E-07	1,55E-06	3,26E-07	1,56E-05
Hydrogen chloride	0,000478	1,72E-05	8,73E-06	0,000113	5,25E-06	1,02E-06	2,98E-05	9,78E-07	0,000302
Hydrogen fluoride	0,891381	0,038903	0,006605	0,232864	0,003746	0,000726	0,054712	0,000697	0,553128
Hydrogen sulphide	8,82E-05	4,32E-06	2,34E-07	2,56E-05	2,43E-07	4,70E-08	5,19E-06	4,51E-08	5,25E-05
Nitrogen oxides	0,125264	0,00035	0,015677	0,038435	0,001215	0,000236	0,006221	0,000226	0,062904
Sulphur dioxide	0,009656	4,49E-06	0,000185	0,000179	8,36E-05	1,62E-05	0,000825	1,56E-05	0,008347
Sulphur oxides	1,15E-06	4,64E-08	3,63E-07	5,04E-07	1,70E-07	3,29E-08	6,03E-10	3,16E-08	4,66E-09
Lower stratosphere + upper troposphere	5,88E-08	5,37E-09	3,39E-09	4,59E-08	2,99E-09	5,79E-10	3,71E-11	5,56E-10	0
Cadmium	1,61E-10	5,57E-13	2,89E-12	1,49E-10	5,85E-12	1,13E-12	3,93E-13	1,09E-12	0
Chromium	3,60E-12	1,24E-14	6,45E-14	3,33E-12	1,31E-13	2,53E-14	8,76E-15	2,43E-14	0
Nitrogen oxides	5,86E-08	5,37E-09	3,39E-09	4,57E-08	2,98E-09	5,78E-10	3,66E-11	5,55E-10	0
Particulates, < 2.5 um	1,54E-11	5,31E-14	2,76E-13	1,43E-11	5,58E-13	1,08E-13	3,75E-14	1,04E-13	0
Non-urban air or from high stacks	0,608096	0,069378	0,044146	0,456477	0,027542	0,005339	8,88E-05	0,005125	0
Acrolein	7,81E-07	8,31E-08	5,29E-08	5,96E-07	3,57E-08	6,92E-09	8,93E-11	6,64E-09	0
Ammonia	0,0002	2,95E-05	5,15E-07	0,000169	2,37E-07	4,60E-08	3,41E-10	4,42E-08	0
Antimony	0,00032	3,86E-05	2,29E-05	0,000234	1,79E-05	3,47E-06	2,54E-08	3,33E-06	0
Arsenic	0,149077	0,017917	0,011121	0,10885	0,008103	0,001571	8,02E-06	0,001508	0
Benzene	0,093853	0,009538	0,005154	0,075381	0,002733	0,00053	8,88E-06	0,000509	0
Benzene, ethyl-	1,80E-07	1,38E-08	2,26E-08	1,24E-07	1,43E-08	2,78E-09	3,04E-11	2,67E-09	0
Beryllium	0,000184	1,71E-05	1,73E-05	0,000133	1,20E-05	2,32E-06	4,11E-08	2,23E-06	0
Cadmium	0,018363	0,00229	0,001282	0,013426	0,000989	0,000192	5,03E-07	0,000184	0
Chloroform	2,49E-08	1,79E-09	3,30E-09	1,66E-08	2,32E-09	4,50E-10	4,94E-12	4,32E-10	0
Chromium	0,00209	0,000235	0,000169	0,001546	0,000101	1,96E-05	5,07E-07	1,88E-05	0
Chromium VI	0,315031	0,036103	0,023459	0,235846	0,01417	0,002747	6,92E-05	0,002637	0

Dioxins, ⁶	0,000663	8,13E-05	3,93E-05	0,000514	2,07E-05	4,02E-06	4,73E-08	3,86E-06	0
Ethane, 1,2-dichloro-	5,46E-09	3,92E-10	7,22E-10	3,64E-09	5,08E-10	9,85E-11	1,08E-12	9,46E-11	0
Ethene, tetrachloro-	4,77E-09	3,43E-10	6,31E-10	3,18E-09	4,44E-10	8,61E-11	9,46E-13	8,26E-11	0
Formaldehyde	8,20E-06	1,17E-06	7,45E-08	6,89E-06	4,62E-08	8,95E-09	2,61E-10	8,60E-09	0
Methane, dichloro-, HCC-30	1,15E-08	8,27E-10	1,52E-09	7,67E-09	1,07E-09	2,08E-10	2,28E-12	1,99E-10	0
m-Xylene	9,45E-14	9,28E-15	8,93E-15	6,99E-14	4,61E-15	8,93E-16	1,01E-17	8,58E-16	0
Nitrogen oxides	0,019455	0,002079	0,002273	0,013611	0,00108	0,000209	1,07E-06	0,000201	0
Particulates, < 2.5 um	0,001633	0,00018	0,000137	0,001211	7,53E-05	1,46E-05	1,37E-07	1,40E-05	0
Particulates, > 10 um	0,004299	0,000563	0,00013	0,003501	7,60E-05	1,47E-05	1,97E-07	1,41E-05	0
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	0,000513	4,99E-05	4,98E-05	0,000376	2,68E-05	5,20E-06	4,77E-08	4,99E-06	0
Phenol	3,26E-08	3,47E-09	1,36E-09	2,62E-08	1,09E-09	2,12E-10	9,37E-12	2,03E-10	0
Styrene	1,40E-08	1,08E-09	1,76E-09	9,65E-09	1,11E-09	2,15E-10	2,36E-12	2,07E-10	0
Sulphur dioxide	0,002402	0,000255	0,00029	0,001668	0,000137	2,65E-05	1,36E-07	2,55E-05	0
Toluene	2,86E-06	4,04E-07	3,22E-08	2,40E-06	1,92E-08	3,72E-09	1,02E-10	3,57E-09	0
Xylene	2,07E-06	2,97E-07	1,64E-08	1,74E-06	1,03E-08	2,00E-09	5,63E-11	1,92E-09	0
Organic emissions to air (group VOC)	3,906523	1,837378	0,109156	0,70825	0,020428	0,00396	0,110143	0,003801	1,113406
Group NMVOC to air	3,906523	1,837378	0,109156	0,70825	0,020428	0,00396	0,110143	0,003801	1,113406
Group PAH to air	3,22986	1,83487	0,019532	0,688731	0,010844	0,002102	0,060481	0,002018	0,611282
Anthracene	2,98E-10	7,52E-18	2,75E-10	4,76E-17	1,67E-11	3,23E-12	5,00E-21	3,10E-12	0
Naphthalene	4,96E-06	5,98E-11	4,57E-06	4,08E-10	2,78E-07	5,38E-08	3,92E-14	5,17E-08	0
Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)	3,229855	1,83487	0,019528	0,688731	0,010844	0,002102	0,060481	0,002018	0,611282
Halogenated organic emissions to air	0,015129	0,000267	0,001817	0,00203	0,000258	5,01E-05	0,000959	4,81E-05	0,0097
1,1,1-Trichloroethane	2,80E-08	4,75E-10	8,74E-10	4,41E-09	6,15E-10	1,19E-10	1,92E-09	1,15E-10	1,94E-08
2,4-Dichlorophenol	7,71E-09	3,55E-12	1,25E-12	2,38E-11	9,18E-13	1,78E-13	6,91E-10	1,71E-13	6,99E-09
Carbon tetrachloride (tetrachloromethane)	1,94E-06	5,02E-08	1,65E-07	6,03E-07	1,06E-07	2,05E-08	8,82E-08	1,97E-08	8,84E-07

⁶ measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin

Dichlorobenzene (o-DCB; 1,2-dichlorobenzene)	9,46E-10	0	0	0	0	0	8,51E-11	0	8,61E-10
Dichloroethane (ethylene dichloride)	7,50E-07	3,49E-09	1,01E-08	4,50E-08	7,07E-09	1,37E-09	6,14E-08	1,32E-09	6,20E-07
Dichloromethane (methylene chloride)	4,27E-08	3,07E-10	4,37E-10	2,37E-09	2,15E-10	4,16E-11	3,54E-09	3,99E-11	3,58E-08
Hexachlorobenzene (Perchlorobenzene)	0,002604	0,000125	9,70E-05	0,000894	4,77E-05	9,25E-06	0,000128	8,88E-06	0,001294
Methyl bromide	1,89E-08	5,52E-13	2,44E-13	1,79E-08	6,39E-10	1,24E-10	6,34E-11	1,19E-10	7,38E-11
Pentachlorobenzene	6,21E-09	1,49E-10	1,17E-10	1,04E-09	6,31E-11	1,22E-11	4,34E-10	1,18E-11	4,39E-09
Pentachlorophenol (PCP)	4,23E-06	9,62E-08	4,14E-08	5,31E-07	2,18E-08	4,22E-09	3,18E-07	4,05E-09	3,21E-06
Polychlorinated dibenzo-p-dioxins (2,3,7,8 - TCDD)	0,012513	0,000141	0,001719	0,001134	0,00021	4,08E-05	0,000831	3,92E-05	0,008397
Tetrachloroethene (perchloroethylene)	1,62E-08	4,70E-12	2,07E-12	3,38E-11	1,79E-12	3,47E-13	1,45E-09	3,33E-13	1,47E-08
Trichloroethene (isomers)	3,24E-07	4,68E-08	2,00E-09	2,73E-07	1,23E-09	2,38E-10	1,17E-11	2,28E-10	0
Trichloromethane (chloroform)	9,88E-08	2,05E-10	5,96E-10	2,64E-09	4,16E-10	8,05E-11	8,53E-09	7,73E-11	8,62E-08
Vinyl chloride (VCM; chloroethene)	4,49E-06	3,36E-08	5,29E-08	3,72E-07	4,12E-08	7,98E-09	3,58E-07	7,66E-09	3,62E-06
Acrolein	0,000358	4,64E-07	0,000314	4,25E-06	1,93E-05	3,73E-06	1,17E-06	3,58E-06	1,18E-05
Benzene	0,650706	0,001785	0,07956	0,016894	0,008752	0,001696	0,048636	0,001629	0,491755
Butadiene	0,008165	2,05E-10	0,007536	1,30E-09	0,000456	8,83E-05	1,82E-09	8,48E-05	1,84E-08
Ethene (ethylene)	1,16E-05	6,03E-07	7,34E-07	4,67E-06	4,56E-07	8,84E-08	4,47E-07	8,49E-08	4,49E-06
Ethyl benzene	8,24E-06	1,55E-08	5,50E-06	1,08E-07	3,36E-07	6,51E-08	1,94E-07	6,25E-08	1,96E-06
Ethylene oxide	6,55E-05	1,12E-07	2,82E-07	1,28E-06	1,80E-07	3,49E-08	5,72E-06	3,35E-08	5,78E-05
Formaldehyde (methanal)	0,000248	8,09E-08	0,000179	1,30E-06	1,14E-05	2,21E-06	4,69E-06	2,12E-06	4,74E-05
NMVOC (unspecified)	0,001901	0,000454	0,000202	0,000582	8,63E-05	1,67E-05	4,96E-05	1,61E-05	0,000495
Phenol (hydroxy benzene)	4,74E-08	1,92E-10	5,37E-10	1,68E-09	2,74E-10	5,31E-11	4,02E-09	5,10E-11	4,06E-08
Propylene oxide	2,46E-05	0	0	0	0	0	2,21E-06	0	2,24E-05
Styrene	6,03E-08	1,22E-10	5,13E-08	1,11E-09	3,16E-09	6,12E-10	3,04E-10	5,87E-10	3,07E-09
Toluene (methyl benzene)	3,66E-05	1,99E-07	8,99E-06	1,48E-06	6,09E-07	1,18E-07	2,25E-06	1,13E-07	2,28E-05
Xylene (dimethyl benzene)	9,57E-06	3,67E-08	1,64E-06	4,63E-07	2,57E-07	4,97E-08	6,37E-07	4,77E-08	6,44E-06

Xylene (meta-Xylene; 1,3-Dimethylbenzene)	1,87E-08	1,22E-10	7,93E-11	1,13E-09	5,10E-11	9,89E-12	1,56E-09	9,50E-12	1,58E-08
Xylene (ortho-Xylene; 1,2-Dimethylbenzene)	7,85E-09	2,28E-10	1,49E-10	2,09E-09	9,54E-11	1,85E-11	4,73E-10	1,77E-11	4,77E-09
Hydrocarbons (unspecified)	2,08E-09	7,79E-11	1,01E-10	6,03E-10	4,94E-11	9,58E-12	1,11E-10	9,20E-12	1,12E-09
VOC (unspecified)	1,15E-07	3,40E-09	1,05E-08	7,49E-08	1,88E-08	3,64E-09	1,30E-10	3,50E-09	0
Particles to air	0,020263	0,000285	0,001372	0,004261	0,000218	4,23E-05	0,001264	4,06E-05	0,012779
Dust (> PM10)	0,011684	0,000272	0,00032	0,00189	0,000124	2,40E-05	0,000813	2,30E-05	0,008219
Dust (PM2.5)	0,008546	1,10E-05	0,00105	0,002358	9,31E-05	1,80E-05	0,00045	1,73E-05	0,00455
Silicon dust	3,23E-05	1,95E-06	2,76E-06	1,37E-05	1,40E-06	2,72E-07	1,08E-06	2,61E-07	1,08E-05
Pesticides to air	4,32E-08	6,28E-10	4,80E-10	4,06E-09	2,28E-10	4,42E-11	3,39E-09	4,25E-11	3,43E-08
Urban air close to ground	2,231999	2,144799	0,006315	0,076053	0,003491	0,000677	1,42E-05	0,00065	0

Potenziale di riduzione dell'ozono (ODP) mg R11 eq.	TOTALE	Combustione in caldaia cippato MC45	Movimentazione tronchi in piazzale	Taglio tronco segatronchi	Movimentazione segati in piazzale	Movimentazione tavole essiccatoio	Cippatura sciaveri	Movimentazione tavole essiccatoio	Essiccazione tavole
Emissions to air	7,540286702	0,191648192	0,882257805	1,633548386	0,407684858	0,079024661	0,384562964	0,075863674	3,88569616
Ecoinvent long-term to air	0,000304816	1,17782E-05	4,13369E-06	7,89956E-05	3,04356E-06	5,89957E-07	1,85322E-05	5,66359E-07	0,00018718
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	0,000304816	1,17782E-05	4,13369E-06	7,89956E-05	3,04356E-06	5,89957E-07	1,85322E-05	5,66359E-07	0,00018718
Non-urban air or from high stacks	0,000212842	1,52992E-05	2,81625E-05	0,000141984	1,98229E-05	3,84242E-06	4,22317E-08	3,68873E-06	0
Methane, monochloro-, R-40	0,000212842	1,52992E-05	2,81625E-05	0,000141984	1,98229E-05	3,84242E-06	4,22317E-08	3,68873E-06	0
Organic emissions to air (group VOC)	7,539769045	0,191621114	0,882225509	1,633327407	0,407661992	0,079020228	0,38454439	0,075859419	3,88550899
Group NMVOC to air	7,539769045	0,191621114	0,882225509	1,633327407	0,407661992	0,079020228	0,38454439	0,075859419	3,88550899
Halogenated organic emissions to air	7,539769045	0,191621114	0,882225509	1,633327407	0,407661992	0,079020228	0,38454439	0,075859419	3,88550899
1,1,1-Trichloroethane	0,000204048	3,46607E-06	6,3801E-06	3,21665E-05	4,49081E-06	8,70488E-07	1,40332E-05	8,35668E-07	0,0001418
Carbon tetrachloride (tetrachloromethane)	0,00641374	0,00016615	0,000545846	0,001997696	0,000350541	6,79481E-05	0,00029204	6,52302E-05	0,00292829
Chloromethane (methyl chloride)	0,000687768	0	0	0	0	0	6,18952E-05	0	0,00062587
Halon (1211)	4,005145889	0,15569586	0,003029369	0,900009974	0,001585941	0,000307415	0,264975829	0,000295119	2,67924638
Halon (1301)	3,245669865	0,029183181	0,876613771	0,691697206	0,404772803	0,078460195	0,098307576	0,075321787	0,99131335
Methyl bromide	2,04331E-05	5,97627E-10	2,63826E-10	1,93289E-05	6,91917E-07	1,34119E-07	6,86223E-08	1,28755E-07	7,9941E-08
R ¹¹ (trichlorofluoromethane)	8,92652E-07	3,96528E-08	1,98671E-07	4,87437E-07	1,11274E-07	2,15691E-08	1,69068E-09	2,07064E-08	1,1651E-08
R ¹¹³ (trichlorotrifluoroethane)	0,054699589	0,000485914	1,45225E-05	0,002833561	9,69204E-06	1,87868E-06	0,004621512	1,80353E-06	0,04673071
R ¹¹⁴ (dichlorotetrafluoroethane)	0,075928478	0,001109315	0,001521346	0,006361507	0,000677832	0,000131389	0,005939707	0,000126134	0,06006125
R ¹² (dichlorodifluoromethane)	0,002446346	0,000119262	4,83892E-05	0,000730367	2,42752E-05	4,70545E-06	0,000136392	4,51723E-06	0,00137844
R ¹²⁴ (chlorotetrafluoroethane)	0,001093183	9,68607E-06	2,08725E-07	5,60988E-05	1,06858E-07	2,07131E-08	9,24289E-05	1,98846E-08	0,00093461
R ²²	0,147458815	0,004848241	0,000445478	0,029589015	0,000235506	4,56499E-05	0,010102907	4,38239E-05	0,1021482

(chlorodifluoromethane)									
Urban air close to ground	1,12588E-18	5,62466E-20	1,03949E-19	8,12442E-19	1,0997E-19	2,13163E-20	1,49198E-21	2,04637E-20	0

Smog fotochimico (POCP) g Ethene eq.	TOTALE	Combustione in caldaia cippato MC45	Movimentazione tronchi in piazzale	Taglio tronco segatronchi	Movimentazione segati in piazzale	Movimentazione tavole essiccatoio	Cippatura sciaveri	Movimentazione tavole essiccatoio	Essiccazione tavole
Emissions to air	31,6459	14,50128	1,665619	4,975422	0,448671	0,086969	0,891241	0,083491	8,993206
Ecoinvent long-term to air	0,000958	2,71E-05	0,000305	0,000432	0,000141	2,73E-05	1,22E-07	2,62E-05	0
Carbon monoxide, fossil	9,06E-05	0	0	9,01E-05	3,32E-07	6,43E-08	2,91E-08	6,17E-08	0
Methane, fossil	3,04E-09	0	0	3,02E-09	1,11E-11	2,15E-12	9,75E-13	2,07E-12	0
Nitrogen oxides	5,18E-06	3,51E-08	1,19E-08	5,1E-06	2,43E-08	4,71E-09	1,64E-09	4,52E-09	0
NMVOC, ⁷	3,68E-06	0	0	3,66E-06	1,35E-08	2,61E-09	1,18E-09	2,51E-09	0
Sulphur dioxide	0,000859	2,71E-05	0,000305	0,000333	0,000141	2,73E-05	8,96E-08	2,62E-05	0
Inorganic emissions to air	17,12003	8,274268	0,66155	1,455835	0,095443	0,018501	0,593714	0,017761	6,002963
Carbon monoxide	1,092599	0,034001	0,20278	0,44296	0,025063	0,004858	0,034063	0,004664	0,344209
Carbon monoxide, from soil or biomass stock	0,000102	1,12E-05	9,34E-06	7,49E-05	4,8E-06	9,3E-07	1,06E-08	8,93E-07	0
Carbon monoxide, non-fossil	8,275747	8,229825	0,000261	0,026075	0,000145	2,8E-05	0,001745	2,69E-05	0,01764
Nitrogen monoxide	-3,5E-07	-4,8E-09	-1,8E-08	-1,3E-07	-1,5E-07	-2,9E-08	-4,3E-11	-2,8E-08	0
Nitrogen oxides	2,922833	0,008161	0,365802	0,896827	0,028355	0,005496	0,145161	0,005276	1,467754
Sulphur dioxide	4,828178	0,002246	0,092515	0,089646	0,041791	0,008101	0,412745	0,007777	4,173357
Sulphur oxides	0,000576	2,32E-05	0,000182	0,000252	8,48E-05	1,64E-05	3,02E-07	1,58E-05	2,33E-06
Lower stratosphere + upper troposphere	1,37E-06	1,25E-07	7,92E-08	1,07E-06	6,97E-08	1,35E-08	8,65E-10	1,3E-08	0

⁷non-methane volatile organic compounds, unspecified origin

Nitrogen oxides	1,37E-06	1,25E-07	7,91E-08	1,07E-06	6,96E-08	1,35E-08	8,54E-10	1,29E-08	0
Sulphur dioxide	4,49E-09	1,55E-11	8,04E-11	4,16E-09	1,63E-10	3,15E-11	1,09E-11	3,03E-11	0
Non-urban air or from high stacks	1,787047	0,194839	0,199238	1,26256	0,094435	0,018305	9,66E-05	0,017573	0
4-Methyl-2-pentanone	6,3E-11	6,33E-12	7,2E-12	4,43E-11	3,74E-12	7,25E-13	9,11E-15	6,96E-13	0
Acetaldehyde	0,000278	2,89E-05	2,18E-05	0,000209	1,35E-05	2,62E-06	3,05E-08	2,52E-06	0
Acetone	0,000156	1,48E-05	9,65E-06	0,000124	5,07E-06	9,83E-07	1,64E-08	9,43E-07	0
Benzaldehyde	-5,7E-06	-8,2E-07	-3,4E-08	-4,8E-06	-1,9E-08	-3,8E-09	-2E-10	-3,6E-09	0
Benzene	0,010769	0,001094	0,000591	0,008649	0,000314	6,08E-05	1,02E-06	5,83E-05	0
Benzene, ethyl-	0,000135	1,04E-05	1,7E-05	9,3E-05	1,07E-05	2,08E-06	2,28E-08	2E-06	0
Chloroform	4,53E-08	3,25E-09	5,99E-09	3,02E-08	4,22E-09	8,17E-10	8,98E-12	7,84E-10	0
Cumene	5,47E-08	3,93E-09	7,23E-09	3,65E-08	5,09E-09	9,87E-10	1,08E-11	9,48E-10	0
Ethanol	8,95E-05	6,14E-06	1,04E-05	6,22E-05	7,8E-06	1,51E-06	4,15E-08	1,45E-06	0
Ethene, tetrachloro-	2,5E-08	1,8E-09	3,31E-09	1,67E-08	2,33E-09	4,51E-10	4,96E-12	4,33E-10	0
Formaldehyde	0,005122	0,000731	4,65E-05	0,004305	2,89E-05	5,59E-06	1,63E-07	5,37E-06	0
Hexane	0,033033	0,004837	8,83E-05	0,028019	6,41E-05	1,24E-05	4E-07	1,19E-05	0
Isoprene	6,35E-07	6,95E-08	5,81E-08	4,66E-07	2,98E-08	5,79E-09	6,6E-11	5,55E-09	0
Methane, dichloro-, HCC-30	3,96E-07	2,85E-08	5,24E-08	2,64E-07	3,69E-08	7,15E-09	7,85E-11	6,86E-09	0
Methane, monochloro-, R-40	5,32E-08	3,82E-09	7,04E-09	3,55E-08	4,96E-09	9,61E-10	1,06E-11	9,22E-10	0
Methanol	6,83E-05	5,01E-06	7,84E-06	4,88E-05	4,79E-06	9,29E-07	3,21E-08	8,92E-07	0
Methyl ethyl ketone	5,74E-10	5,77E-11	6,57E-11	4,04E-10	3,41E-11	6,61E-12	8,31E-14	6,34E-12	0
m-Xylene	3,86E-09	3,79E-10	3,64E-10	2,85E-09	1,88E-10	3,65E-11	4,14E-13	3,5E-11	0
Nitrogen oxides	0,453945	0,048503	0,05303	0,317598	0,025211	0,004887	2,51E-05	0,004691	0
Pentane	0,043019	0,006292	0,000126	0,036478	8,98E-05	1,74E-05	5,83E-07	1,67E-05	0
Styrene	4,2E-05	3,22E-06	5,26E-06	2,89E-05	3,33E-06	6,46E-07	7,08E-09	6,2E-07	0
Sulphur dioxide	1,2011	0,127687	0,144954	0,833898	0,068477	0,013273	6,81E-05	0,012742	0
Toluene	0,005568	0,000787	6,27E-05	0,004667	3,74E-05	7,24E-06	1,98E-07	6,95E-06	0
Xylene	0,033725	0,00484	0,000267	0,028384	0,000168	3,26E-05	9,18E-07	3,13E-05	0

Organic emissions to air (group VOC)	7,489633	1,239677	0,790089	1,826361	0,25064	0,048584	0,297399	0,04664	2,990243
Group NMVOC to air	6,650935	1,191452	0,778397	1,647067	0,244801	0,047452	0,244164	0,045554	2,452048
Halogenated organic emissions to air	4,98E-06	4,53E-07	3,55E-08	2,67E-06	2,01E-08	3,89E-09	1,61E-07	3,73E-09	1,63E-06
1,1,1-Trichloroethane	1,53E-08	2,6E-10	4,79E-10	2,41E-09	3,37E-10	6,53E-11	1,05E-09	6,27E-11	1,06E-08
Chloromethane (methyl chloride)	1,72E-07	0	0	0	0	0	1,55E-08	0	1,56E-07
Dichloromethane (methylene chloride)	1,47E-06	1,06E-08	1,5E-08	8,15E-08	7,39E-09	1,43E-09	1,22E-07	1,37E-09	1,23E-06
Tetrachloroethene (perchloroethylene)	8,48E-08	2,47E-11	1,09E-11	1,77E-10	9,39E-12	1,82E-12	7,61E-09	1,75E-12	7,7E-08
Trichloroethene (isomers)	3,06E-06	4,42E-07	1,89E-08	2,58E-06	1,16E-08	2,24E-09	1,11E-10	2,15E-09	0
Trichloromethane (chloroform)	1,79E-07	3,72E-10	1,08E-09	4,8E-09	7,55E-10	1,46E-10	1,55E-08	1,4E-10	1,57E-07
1-Butanol	1,83E-08	0	0	0	0	0	1,64E-09	0	1,66E-08
1-Pentene	6,77E-08	6,01E-09	1,41E-09	3,84E-08	9,52E-10	1,84E-10	1,86E-09	1,77E-10	1,88E-08
1-Propanol	1,32E-07	3,01E-09	1,89E-09	2,32E-08	9,31E-10	1,81E-10	9,25E-09	1,73E-10	9,34E-08
2-Methyl-2-butene	4,73E-10	1,46E-13	2,45E-13	1,24E-12	2,38E-13	4,61E-14	4,24E-11	4,43E-14	4,28E-10
3-Methylpentane	2,72E-06	2,66E-07	5,23E-08	1,68E-06	3,65E-08	7,07E-09	6,1E-08	6,79E-09	6,14E-07
Acetaldehyde (Ethanal)	0,07684	2,28E-05	0,061767	0,000218	0,003762	0,000729	0,000868	0,0007	0,008773
Acetic acid	0,011212	0,000317	2,69E-05	0,001873	1,74E-05	3,37E-06	0,000807	3,23E-06	0,008164
Acetone (dimethyl ketone)	0,002089	4,1E-07	9,32E-07	4,66E-06	6,17E-07	1,2E-07	0,000187	1,15E-07	0,001894
Alkane (unspecified)	0,052457	0	0	0	0	0	0,004721	0	0,047736
Benzaldehyde	-2,5E-05	-5,8E-07	-3,8E-07	-5,3E-06	-2,4E-07	-4,7E-08	-1,6E-06	-4,5E-08	-1,7E-05
Benzene	0,074664	0,000205	0,009129	0,001938	0,001004	0,000195	0,005581	0,000187	0,056425
Butadiene	0,003124	7,85E-11	0,002883	4,98E-10	0,000174	3,38E-05	6,96E-10	3,24E-05	7,04E-09
Butane (n-butane)	0,043186	0,005444	0,00273	0,033234	0,001288	0,00025	1,58E-06	0,00024	0
Butanone (methyl ethyl ketone)	4,16E-05	0	0	0	0	0	3,74E-06	0	3,79E-05

Cumene (isopropylbenzene)	0,000133	2,6E-14	1,15E-14	1,87E-13	9,92E-15	1,92E-15	1,2E-05	1,85E-15	0,000121
Cyclohexane (hexahydro benzene)	1,65E-13	0	0	0	0	0	1,49E-14	0	1,51E-13
Diethyl ether	2,89E-12	3,32E-13	2,67E-14	1,91E-12	1,3E-14	2,53E-15	5,39E-14	2,43E-15	5,45E-13
Dimethyl carbonate	5,75E-08	3,33E-09	8,4E-09	3,83E-08	5,37E-09	1,04E-09	4,07E-11	1E-09	0
Dimethyl ether	8,56E-09	0	0	8,42E-09	9,99E-11	1,94E-11	8,77E-12	1,86E-11	0
Ethane	0,386334	0,010729	0,001356	0,063023	0,000591	0,000114	0,027936	0,00011	0,282474
Ethanol	0,011008	1,87E-10	5,68E-12	1,09E-09	3,39E-12	6,57E-13	0,000991	6,31E-13	0,010017
Ethene (ethylene)	0,01818	0,000947	0,001152	0,007342	0,000716	0,000139	0,000702	0,000133	0,007049
Ethyl benzene	0,006179	1,16E-05	0,004122	8,14E-05	0,000252	4,89E-05	0,000145	4,69E-05	0,001471
Ethylene acetate (ethyl acetate)	2,33E-05	0	0	0	0	0	2,1E-06	0	2,12E-05
Ethyne (acetylene)	0,000308	2,31E-05	4,47E-05	0,000166	2,12E-05	4,11E-06	4,09E-06	3,95E-06	4,11E-05
Formaldehyde (methanal)	0,154988	5,06E-05	0,111767	0,000811	0,007111	0,001378	0,002929	0,001323	0,029617
Formic acid (methane acid)	4,84E-06	1,41E-07	1,19E-07	9,53E-07	6,22E-08	1,21E-08	3,19E-07	1,16E-08	3,22E-06
Heptane (isomers)	0,010228	6,79E-07	4,41E-07	6,22E-06	2,83E-07	5,49E-08	0,00092	5,27E-08	0,009301
Hexane (isomers)	0,138757	3,83E-11	0,001396	2,43E-10	8,43E-05	1,63E-05	0,012351	1,57E-05	0,124893
iso-Butane	0,137718	0	0	0	0	0	0,012394	0	0,125324
iso-Butanol	8,83E-09	0	0	0	0	0	7,95E-10	0	8,04E-09
Isoprene	1,75E-06	1,22E-12	5,38E-13	8,75E-12	4,64E-13	9E-14	1,58E-07	8,64E-14	1,6E-06
Isopropanol	0,0003	1,83E-05	4,26E-05	0,000195	2,88E-05	5,58E-06	6,34E-07	5,35E-06	4,11E-06
Methanol	0,00442	2,64E-06	1,1E-05	3,79E-05	7,29E-06	1,41E-06	0,000392	1,36E-06	0,003966
Methyl acetate	2,81E-09	3,04E-11	2,83E-10	1,79E-09	3,4E-10	6,6E-11	2,66E-11	6,33E-11	2,18E-10
Methyl formate	2,23E-10	4,55E-12	6,12E-12	6,07E-11	5,78E-12	1,12E-12	1,31E-11	1,08E-12	1,31E-10
Methyl tert-butylether	3,96E-06	0	0	0	0	0	3,56E-07	0	3,6E-06
NMVOC (unspecified)	4,88816	1,168089	0,518219	1,496253	0,221795	0,042992	0,127448	0,041272	1,272092
Pentane (n-pentane)	0,187113	1,2E-07	8,83E-08	1,16E-06	5,76E-08	1,12E-08	0,016839	1,07E-08	0,170273
Propane	0,18123	0,004298	0,001463	0,025794	0,000699	0,000135	0,013384	0,00013	0,135327

Propene (propylene)	0,014453	0,000267	0,000803	0,005393	0,000829	0,000161	0,000627	0,000154	0,006218
Propionaldehyde	0,018523	1,96E-06	0,017067	1,16E-05	0,001036	0,000201	1,06E-06	0,000193	1,07E-05
Propionic acid (propane acid)	0,000932	3,04E-05	6,88E-07	0,000177	4,69E-07	9,09E-08	6,51E-05	8,72E-08	0,000658
Styrene	0,000181	3,64E-07	0,000154	3,34E-06	9,46E-06	1,83E-06	9,12E-07	1,76E-06	9,21E-06
Toluene (methyl benzene)	0,07122	0,000388	0,017521	0,002889	0,001187	0,00023	0,004391	0,000221	0,044393
Xylene (dimethyl benzene)	0,156108	0,000598	0,026737	0,007548	0,004184	0,000811	0,010392	0,000779	0,105059
Xylene (meta-Xylene; 1,3-Dimethylbenzene)	0,000765	4,97E-06	3,24E-06	4,6E-05	2,08E-06	4,04E-07	6,37E-05	3,88E-07	0,000644
Xylene (ortho-Xylene; 1,2-Dimethylbenzene)	6,63E-05	1,93E-06	1,25E-06	1,77E-05	8,05E-07	1,56E-07	3,99E-06	1,5E-07	4,03E-05
Hydrocarbons (unspecified)	1,35E-05	5,03E-07	6,52E-07	3,9E-06	3,19E-07	6,19E-08	7,18E-07	5,94E-08	7,26E-06
Methane	0,7757	0,024255	0,011544	0,150343	0,005672	0,001099	0,052362	0,001055	0,52937
Methane (biotic)	0,062241	0,023948	7,99E-05	0,028462	4,51E-05	8,75E-06	0,000872	8,4E-06	0,008817
Methane, from soil or biomass stock	1,48E-06	1,62E-07	1,36E-07	1,09E-06	6,97E-08	1,35E-08	1,54E-10	1,3E-08	0
VOC (unspecified)	0,000742	2,2E-05	6,78E-05	0,000484	0,000121	2,35E-05	8,42E-07	2,26E-05	0
Urban air close to ground	5,248227	4,792469	0,014438	0,430233	0,008011	0,001553	3,16E-05	0,001491	0

ALLEGATO B

EMISSIONI PER LA PRODUZIONE DI 1 M³ DI TAVOLA ESSICCATA CON CIPPATTO AL 30% DI CONTENUTO IDRICO

Potenziale di riscaldamento climatico (GWP) kgCO ₂ eq	TOTALE	Combustione in caldaia cippato MC30	Movimentazione tronchi in piazzale	Taglio tronco segatronchi	Movimentazione segati in piazzale	Movimentazione tavole essiccatoio	Cippatura sciaveri	Movimentazione tavole essiccatoio	Essiccazione tavole
Emissions to air	125,0833	70,45945	4,781798	13,16627	0,592625	0,114873	3,227549	0,110278	32,63043
Ecoinvent long-term to air	4,08E-05	2,60E-07	1,18E-07	3,89E-05	2,32E-07	4,50E-08	1,23E-07	4,32E-08	1,09E-06
Carbon dioxide, fossil	3,73E-05	3,60E-08	1,53E-08	3,70E-05	1,75E-07	3,40E-08	1,48E-08	3,26E-08	0
Dinitrogen monoxide	1,74E-06	1,69E-07	7,87E-08	1,43E-06	3,89E-08	7,55E-09	1,13E-10	7,25E-09	0
Ethane, ⁸	1,76E-06	5,41E-08	2,41E-08	4,60E-07	1,77E-08	3,43E-09	1,08E-07	3,30E-09	1,09E-06
Methane, fossil	1,42E-08	0	0	1,41E-08	5,19E-11	1,01E-11	4,55E-12	9,65E-12	0
Inorganic emissions to air	121,208	70,28186	4,727037	12,32975	0,565695	0,109653	2,978289	0,105267	30,11046
Carbon dioxide	49,80236	1,136425	4,675512	10,97023	0,557649	0,108093	2,902845	0,10377	29,34783
Carbon dioxide (biotic)	70,52722	68,70438	0,005088	1,211833	0,002674	0,000518	0,054215	0,000498	0,548008
Nitrogen trifluoride	2,39E-11	2,22E-12	2,26E-13	1,62E-11	1,11E-13	2,14E-14	4,57E-13	2,06E-14	4,62E-12
Nitrous oxide (laughing gas)	0,867189	0,440945	0,046152	0,146266	0,005191	0,001006	0,020402	0,000966	0,206262
Sulphur hexafluoride	0,011247	0,000103	0,000285	0,001421	0,000181	3,50E-05	0,000828	3,36E-05	0,00836
Non-urban air or from high stacks	2,09E-07	1,20E-08	2,81E-08	1,42E-07	1,98E-08	3,83E-09	4,21E-11	3,68E-09	0
Chloroform	3,10E-08	1,78E-09	4,17E-09	2,10E-08	2,93E-09	5,68E-10	6,25E-12	5,46E-10	0
Ethane, 1,2-dichloro-	7,10E-10	4,09E-11	9,54E-11	4,81E-10	6,72E-11	1,30E-11	1,43E-13	1,25E-11	0
Methane, dichloro-, HCC-30	5,16E-08	2,97E-09	6,93E-09	3,50E-08	4,88E-09	9,46E-10	1,04E-11	9,08E-10	0
Methane, monochloro-, R-40	1,26E-07	7,24E-09	1,69E-08	8,52E-08	1,19E-08	2,31E-09	2,53E-11	2,21E-09	0
Organic emissions to air (group VOC)	3,875217	0,177591	0,05476	0,836477	0,02693	0,00522	0,249259	0,005011	2,519969
Group NMVOC to air	0,012398	0,000221	0,000516	0,002052	0,00025	4,84E-05	0,000834	4,65E-05	0,00843

⁸1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113

Halogenated organic emissions to air	0,012398	0,000221	0,000516	0,002052	0,00025	4,84E-05	0,000834	4,65E-05	0,00843
1,1,1-Trichloroethane	2,71E-07	3,64E-09	8,51E-09	4,29E-08	5,99E-09	1,16E-09	1,87E-08	1,11E-09	1,89E-07
Carbon tetrachloride (tetrachloromethane)	1,51E-05	3,10E-07	1,29E-06	4,73E-06	8,31E-07	1,61E-07	6,92E-07	1,55E-07	6,94E-06
Chloromethane (methyl chloride)	4,13E-07	0	0	0	0	0	3,71E-08	0	3,76E-07
Dichloroethane (ethylene dichloride)	9,91E-08	3,63E-10	1,34E-09	5,95E-09	9,35E-10	1,81E-10	8,12E-09	1,74E-10	8,20E-08
Dichloromethane (methylene chloride)	1,94E-07	1,10E-09	1,99E-09	1,08E-08	9,77E-10	1,89E-10	1,61E-08	1,82E-10	1,63E-07
Halon (1211)	0,001159	3,58E-05	8,84E-07	0,000263	4,63E-07	8,97E-08	7,73E-05	8,61E-08	0,000781
Halon (1301)	0,001698	1,21E-05	0,000459	0,000363	0,000212	4,11E-05	5,15E-05	3,95E-05	0,00052
Methyl bromide	1,08E-10	2,48E-15	1,39E-15	1,02E-10	3,64E-12	7,06E-13	3,61E-13	6,78E-13	4,21E-13
Perfluoropentane	0,002416	0	0	0	0	0	0,000217	0	0,002198
R 11 (trichlorofluoromethane)	4,12E-09	1,46E-10	9,26E-10	2,27E-09	5,19E-10	1,01E-10	7,88E-12	9,65E-11	5,43E-11
R 113 (trichlorotrifluoroethane)	0,000318	2,23E-06	8,45E-08	1,65E-05	5,64E-08	1,09E-08	2,69E-05	1,05E-08	0,000272
R 114 (dichlorotetrafluoroethane)	0,000692	7,99E-06	1,39E-05	5,81E-05	6,19E-06	1,20E-06	5,43E-05	1,15E-06	0,000549
R 116 (hexafluoroethane)	0,000102	3,21E-06	4,90E-06	4,55E-05	4,87E-06	9,44E-07	3,78E-06	9,06E-07	3,76E-05
R 12 (dichlorodifluoromethane)	2,47E-05	9,59E-07	4,94E-07	7,45E-06	2,48E-07	4,80E-08	1,39E-06	4,61E-08	1,41E-05
R 124 (chlorotetrafluoroethane)	2,88E-05	2,01E-07	5,50E-09	1,48E-06	2,82E-09	5,46E-10	2,44E-06	5,24E-10	2,46E-05
R 125 (pentafluoroethane)	3,66E-31	1,46E-32	3,42E-32	2,67E-31	3,61E-32	7,01E-33	4,90E-34	6,73E-33	0
R 134a (tetrafluoroethane)	0,000141	1,16E-06	2,35E-07	8,91E-06	1,34E-07	2,60E-08	1,17E-05	2,49E-08	0,000119
R 143a (trifluoroethane)	4,27E-32	1,70E-33	3,98E-33	3,11E-32	4,22E-33	8,17E-34	5,72E-35	7,84E-34	0
R 152a (difluoroethane)	7,47E-06	9,18E-08	9,70E-07	2,01E-06	5,72E-07	1,11E-07	3,28E-07	1,06E-07	3,29E-06
R 21 (Dichlorofluoromethane)	1,18E-10	4,19E-12	2,67E-11	6,54E-11	1,49E-11	2,89E-12	1,92E-13	2,78E-12	1,21E-12
R 22 (chlorodifluoromethane)	0,005154	0,000135	1,57E-05	0,001042	8,29E-06	1,61E-06	0,000356	1,54E-06	0,003596
R 23 (trifluoromethane)	3,15E-06	1,12E-07	7,11E-07	1,74E-06	3,98E-07	7,71E-08	5,12E-09	7,41E-08	3,23E-08
Tetrafluoromethane	0,000639	2,24E-05	1,77E-05	0,000238	1,55E-05	3,01E-06	3,06E-05	2,89E-06	0,000308
Trichloromethane (chloroform)	1,25E-07	2,04E-10	7,53E-10	3,34E-09	5,25E-10	1,02E-10	1,08E-08	9,77E-11	1,09E-07
Methane	3,595994	0,08925	0,05387	0,701599	0,026469	0,005131	0,244355	0,004925	2,470395
Methane (biotic)	0,266818	0,088119	0,000373	0,132821	0,000211	4,08E-05	0,00407	3,92E-05	0,041145

Methane, from soil or biomass stock	6,76E-06	5,97E-07	6,34E-07	5,08E-06	3,25E-07	6,30E-08	7,19E-10	6,05E-08	0
Urban air close to ground	7,95E-08	5,94E-09	6,74E-09	6,02E-08	4,79E-09	9,28E-10	4,49E-11	8,91E-10	0

Potenziale di tossicità umana (HTP) kg DCB eq.	TOTALE	Combustione in caldaia cippato MC30	Movimentazione tronchi in piazzale	Taglio tronco segatronchi	Movimentazione segati in piazzale	Movimentazione tavole essiccatoio	Cippatura sciaveri	Movimentazione e tavole essiccatoio	Essiccazione tavole
Emissions to air	9,94847	3,483641	0,399137	1,879077	0,151749	0,029415	0,35812	0,028238	3,619094
Ecoinvent long-term to air	0,060106	0,000467	0,000807	0,006015	0,000419	8,12E-05	0,004705	7,80E-05	0,047534
Ammonia	3,69E-09	3,91E-10	1,69E-10	3,02E-09	8,14E-11	1,58E-11	1,66E-13	1,51E-11	0
Antimony	8,56E-06	8,16E-08	1,25E-07	9,22E-07	6,53E-08	1,27E-08	6,62E-07	1,22E-08	6,68E-06
Arsenic	0,025534	0,000195	0,000342	0,002366	0,000177	3,43E-05	0,002016	3,29E-05	0,02037
Barium	6,19E-05	5,76E-07	8,90E-07	6,55E-06	4,65E-07	9,01E-08	4,79E-06	8,65E-08	4,84E-05
Beryllium	0,000397	3,06E-06	5,31E-06	3,69E-05	2,75E-06	5,33E-07	3,13E-05	5,11E-07	0,000316
Cadmium	0,000313	6,01E-06	5,33E-06	5,71E-05	2,88E-06	5,58E-07	2,17E-05	5,36E-07	0,000219
Chromium	9,55E-09	7,46E-10	6,88E-10	7,57E-09	3,94E-10	7,63E-11	2,15E-12	7,33E-11	0
Chromium VI	0,030586	0,000233	0,00041	0,002822	0,000212	4,10E-05	0,002417	3,94E-05	0,024412
Cobalt	0,000202	1,62E-06	2,64E-06	2,58E-05	1,40E-06	2,71E-07	1,54E-05	2,60E-07	0,000155
Copper	0,000578	7,05E-06	1,02E-05	0,000111	5,57E-06	1,08E-06	3,98E-05	1,04E-06	0,000402
Dioxins ⁹	2,53E-08	1,44E-10	3,96E-10	2,44E-08	2,91E-10	5,64E-11	7,54E-12	5,41E-11	0
Hydrogen chloride	8,81E-08	8,03E-09	4,15E-09	7,14E-08	3,29E-09	6,38E-10	1,34E-11	6,13E-10	0
Hydrogen fluoride	1,28E-06	1,07E-07	1,06E-07	9,76E-07	6,86E-08	1,33E-08	3,13E-10	1,28E-08	0
Hydrogen sulfide	8,68E-07	8,55E-10	7,90E-10	1,05E-08	9,43E-10	1,83E-10	7,69E-08	1,75E-10	7,78E-07
Lead	5,99E-05	6,22E-07	9,40E-07	6,90E-06	4,96E-07	9,62E-08	4,57E-06	9,23E-08	4,62E-05
Mercury	5,80E-06	5,01E-08	8,29E-08	5,86E-07	4,35E-08	8,42E-09	4,53E-07	8,09E-09	4,57E-06
Molybdenum	0,000131	1,00E-06	1,75E-06	1,21E-05	9,07E-07	1,76E-07	1,03E-05	1,69E-07	0,000104
Nickel	0,001285	9,06E-06	1,44E-05	0,000468	8,92E-06	1,73E-06	7,05E-05	1,66E-06	0,000711

⁹ measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin

Nitrogen oxides	2,22E-07	1,19E-09	5,10E-10	2,18E-07	1,04E-09	2,02E-10	7,04E-11	1,94E-10	0
NM VOC ¹⁰ ,	1,43E-09	0	0	1,42E-09	5,24E-12	1,02E-12	4,60E-13	9,75E-13	0
Particulates, < 2.5 um	1,24E-05	2,24E-07	2,22E-07	2,24E-06	1,41E-07	2,73E-08	8,54E-07	2,63E-08	8,62E-06
Particulates, > 10 um	2,70E-05	5,57E-07	5,52E-07	5,59E-06	3,49E-07	6,76E-08	1,79E-06	6,49E-08	1,81E-05
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	1,66E-05	3,35E-07	3,50E-07	3,73E-06	2,22E-07	4,30E-08	1,07E-06	4,13E-08	1,08E-05
Selenium	0,00033	2,53E-06	4,43E-06	3,06E-05	2,29E-06	4,43E-07	2,61E-05	4,26E-07	0,000264
Sulphur dioxide	1,71E-06	4,27E-08	6,09E-07	6,66E-07	2,81E-07	5,45E-08	1,79E-10	5,23E-08	0
Thallium	6,64E-07	6,47E-08	1,98E-08	5,58E-07	1,58E-08	3,06E-09	1,19E-10	2,93E-09	0
Tin	6,11E-09	1,32E-10	1,57E-10	1,30E-09	8,83E-11	1,71E-11	3,96E-10	1,64E-11	4,00E-09
Vanadium	0,000542	4,79E-06	7,25E-06	5,50E-05	3,76E-06	7,29E-07	4,23E-05	6,99E-07	0,000428
Zinc	1,04E-05	1,65E-07	2,17E-07	1,68E-06	1,17E-07	2,26E-08	7,34E-07	2,17E-08	7,41E-06
Heavy metals to air	2,95427	0,257244	0,21465	0,355203	0,094494	0,018316	0,179753	0,017584	1,817025
Inorganic emissions to air	1,024228	0,031105	0,02269	0,272817	0,005155	0,000999	0,062151	0,000959	0,62835
Ammonia	5,93E-05	1,57E-06	4,03E-06	1,39E-05	5,87E-07	1,14E-07	3,51E-06	1,09E-07	3,55E-05
Barium	0,003872	0,000127	5,00E-05	0,001061	3,02E-05	5,86E-06	0,000233	5,62E-06	0,002359
Beryllium	0,001694	4,14E-06	0,000157	0,000106	7,21E-05	1,40E-05	0,000119	1,34E-05	0,001208
Carbon disulphide	4,11E-05	1,71E-06	2,74E-06	1,71E-05	1,75E-06	3,40E-07	1,55E-06	3,26E-07	1,56E-05
Hydrogen chloride	0,000474	1,36E-05	8,73E-06	0,000113	5,25E-06	1,02E-06	2,98E-05	9,78E-07	0,000302
Hydrogen fluoride	0,883153	0,030674	0,006605	0,232864	0,003746	0,000726	0,054712	0,000697	0,553128
Hydrogen sulphide	8,72E-05	3,41E-06	2,34E-07	2,56E-05	2,43E-07	4,70E-08	5,19E-06	4,51E-08	5,25E-05
Nitrogen oxides	0,12519	0,000276	0,015677	0,038435	0,001215	0,000236	0,006221	0,000226	0,062904
Sulphur dioxide	0,009655	3,54E-06	0,000185	0,000179	8,36E-05	1,62E-05	0,000825	1,56E-05	0,008347
Sulphur oxides	1,14E-06	3,66E-08	3,63E-07	5,04E-07	1,70E-07	3,29E-08	6,03E-10	3,16E-08	4,66E-09
Lower stratosphere + upper troposphere	5,77E-08	4,23E-09	3,39E-09	4,59E-08	2,99E-09	5,79E-10	3,71E-11	5,56E-10	0
Cadmium	1,61E-10	4,39E-13	2,89E-12	1,49E-10	5,85E-12	1,13E-12	3,93E-13	1,09E-12	0
Chromium	3,60E-12	9,79E-15	6,45E-14	3,33E-12	1,31E-13	2,53E-14	8,76E-15	2,43E-14	0

¹⁰ non-methane volatile organic compounds, unspecified origin

Nitrogen oxides	5,75E-08	4,23E-09	3,39E-09	4,57E-08	2,98E-09	5,78E-10	3,66E-11	5,55E-10	0
Particulates, < 2.5 um	1,54E-11	4,19E-14	2,76E-13	1,43E-11	5,58E-13	1,08E-13	3,75E-14	1,04E-13	0
Sulphur dioxide	8,97E-12	2,44E-14	1,61E-13	8,31E-12	3,25E-13	6,31E-14	2,18E-14	6,06E-14	0
Non-urban air or from high stacks	0,593422	0,054704	0,044146	0,456477	0,027542	0,005339	8,88E-05	0,005125	0
Acrolein	7,63E-07	6,55E-08	5,29E-08	5,96E-07	3,57E-08	6,92E-09	8,93E-11	6,64E-09	0
Ammonia	0,000193	2,32E-05	5,15E-07	0,000169	2,37E-07	4,60E-08	3,41E-10	4,42E-08	0
Antimony	0,000312	3,04E-05	2,29E-05	0,000234	1,79E-05	3,47E-06	2,54E-08	3,33E-06	0
Arsenic	0,145287	0,014127	0,011121	0,10885	0,008103	0,001571	8,02E-06	0,001508	0
Benzene	0,091835	0,007521	0,005154	0,075381	0,002733	0,00053	8,88E-06	0,000509	0
Benzene, ethyl-	1,77E-07	1,09E-08	2,26E-08	1,24E-07	1,43E-08	2,78E-09	3,04E-11	2,67E-09	0
Beryllium	0,00018	1,35E-05	1,73E-05	0,000133	1,20E-05	2,32E-06	4,11E-08	2,23E-06	0
Cadmium	0,017878	0,001806	0,001282	0,013426	0,000989	0,000192	5,03E-07	0,000184	0
Chloroform	2,45E-08	1,41E-09	3,30E-09	1,66E-08	2,32E-09	4,50E-10	4,94E-12	4,32E-10	0
Chromium	0,00204	0,000185	0,000169	0,001546	0,000101	1,96E-05	5,07E-07	1,88E-05	0
Chromium VI	0,307395	0,028467	0,023459	0,235846	0,01417	0,002747	6,92E-05	0,002637	0
Dioxins ¹¹ ,	0,000646	6,41E-05	3,93E-05	0,000514	2,07E-05	4,02E-06	4,73E-08	3,86E-06	0
Ethane, 1,2-dichloro-	5,37E-09	3,09E-10	7,22E-10	3,64E-09	5,08E-10	9,85E-11	1,08E-12	9,46E-11	0
Ethene, tetrachloro-	4,69E-09	2,70E-10	6,31E-10	3,18E-09	4,44E-10	8,61E-11	9,46E-13	8,26E-11	0
Formaldehyde	7,95E-06	9,22E-07	7,45E-08	6,89E-06	4,62E-08	8,95E-09	2,61E-10	8,60E-09	0
Methane, dichloro-, HCC-30	1,13E-08	6,52E-10	1,52E-09	7,67E-09	1,07E-09	2,08E-10	2,28E-12	1,99E-10	0
m-Xylene	9,25E-14	7,32E-15	8,93E-15	6,99E-14	4,61E-15	8,93E-16	1,01E-17	8,58E-16	0
Nitrogen oxides	0,019015	0,001639	0,002273	0,013611	0,00108	0,000209	1,07E-06	0,000201	0
Particulates, < 2.5 um	0,001595	0,000142	0,000137	0,001211	7,53E-05	1,46E-05	1,37E-07	1,40E-05	0
Particulates, > 10 um	0,00418	0,000444	0,00013	0,003501	7,60E-05	1,47E-05	1,97E-07	1,41E-05	0
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	0,000503	3,94E-05	4,98E-05	0,000376	2,68E-05	5,20E-06	4,77E-08	4,99E-06	0
Phenol	3,18E-08	2,74E-09	1,36E-09	2,62E-08	1,09E-09	2,12E-10	9,37E-12	2,03E-10	0

¹¹measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin

Styrene	1,38E-08	8,48E-10	1,76E-09	9,65E-09	1,11E-09	2,15E-10	2,36E-12	2,07E-10	0
Sulphur dioxide	0,002348	0,000201	0,00029	0,001668	0,000137	2,65E-05	1,36E-07	2,55E-05	0
Toluene	2,77E-06	3,19E-07	3,22E-08	2,40E-06	1,92E-08	3,72E-09	1,02E-10	3,57E-09	0
Xylene	2,01E-06	2,34E-07	1,64E-08	1,74E-06	1,03E-08	2,00E-09	5,63E-11	1,92E-09	0
Organic emissions to air (group VOC)	3,517895	1,448749	0,109156	0,70825	0,020428	0,00396	0,110143	0,003801	1,113406
Group NMVOC to air	3,517895	1,448749	0,109156	0,70825	0,020428	0,00396	0,110143	0,003801	1,113406
Group PAH to air	2,841762	1,446772	0,019532	0,688731	0,010844	0,002102	0,060481	0,002018	0,611282
Anthracene	2,98E-10	5,93E-18	2,75E-10	4,76E-17	1,67E-11	3,23E-12	5,00E-21	3,10E-12	0
Naphthalene	4,96E-06	4,71E-11	4,57E-06	4,08E-10	2,78E-07	5,38E-08	3,92E-14	5,17E-08	0
Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)	2,841757	1,446772	0,019528	0,688731	0,010844	0,002102	0,060481	0,002018	0,611282
Halogenated organic emissions to air	0,015072	0,00021	0,001817	0,00203	0,000258	5,01E-05	0,000959	4,81E-05	0,0097
1,1,1-Trichloroethane	2,79E-08	3,75E-10	8,74E-10	4,41E-09	6,15E-10	1,19E-10	1,92E-09	1,15E-10	1,94E-08
2,4-Dichlorophenol	7,71E-09	2,80E-12	1,25E-12	2,38E-11	9,18E-13	1,78E-13	6,91E-10	1,71E-13	6,99E-09
Carbon tetrachloride (tetrachloromethane)	1,93E-06	3,96E-08	1,65E-07	6,03E-07	1,06E-07	2,05E-08	8,82E-08	1,97E-08	8,84E-07
Dichlorobenzene (o-DCB; 1,2-dichlorobenzene)	9,46E-10	0	0	0	0	0	8,51E-11	0	8,61E-10
Dichloroethane (ethylene dichloride)	7,50E-07	2,75E-09	1,01E-08	4,50E-08	7,07E-09	1,37E-09	6,14E-08	1,32E-09	6,20E-07
Dichloromethane (methylene chloride)	4,26E-08	2,42E-10	4,37E-10	2,37E-09	2,15E-10	4,16E-11	3,54E-09	3,99E-11	3,58E-08
Hexachlorobenzene (Perchlorobenzene)	0,002578	9,88E-05	9,70E-05	0,000894	4,77E-05	9,25E-06	0,000128	8,88E-06	0,001294
Methyl bromide	1,89E-08	4,35E-13	2,44E-13	1,79E-08	6,39E-10	1,24E-10	6,34E-11	1,19E-10	7,38E-11
Pentachlorobenzene	6,18E-09	1,18E-10	1,17E-10	1,04E-09	6,31E-11	1,22E-11	4,34E-10	1,18E-11	4,39E-09
Pentachlorophenol (PCP)	4,21E-06	7,59E-08	4,14E-08	5,31E-07	2,18E-08	4,22E-09	3,18E-07	4,05E-09	3,21E-06
Polychlorinated dibenzo-p-dioxins (2,3,7,8 - TCDD)	0,012483	0,000111	0,001719	0,001134	0,00021	4,08E-05	0,000831	3,92E-05	0,008397
Tetrachloroethene (perchloroethylene)	1,62E-08	3,71E-12	2,07E-12	3,38E-11	1,79E-12	3,47E-13	1,45E-09	3,33E-13	1,47E-08
Trichloroethene (isomers)	3,14E-07	3,69E-08	2,00E-09	2,73E-07	1,23E-09	2,38E-10	1,17E-11	2,28E-10	0

Trichloromethane (chloroform)	9,87E-08	1,61E-10	5,96E-10	2,64E-09	4,16E-10	8,05E-11	8,53E-09	7,73E-11	8,62E-08
Vinyl chloride (VCM; chloroethene)	4,48E-06	2,65E-08	5,29E-08	3,72E-07	4,12E-08	7,98E-09	3,58E-07	7,66E-09	3,62E-06
Acrolein	0,00035789 4	3,66E-07	0,000314	4,25E-06	1,93E-05	3,73E-06	1,17E-06	3,58E-06	1,18E-05
Benzene	0,65032888 1	0,001407	0,07956	0,016894	0,008752	0,001696	0,048636	0,001629	0,491755
Butadiene	8,16E-03	1,62E-10	7,54E-03	1,30E-09	4,56E-04	8,83E-05	1,82E-09	8,48E-05	1,84E-08
Ethene (ethylene)	1,14487E- 05	4,76E-07	7,34E-07	4,67E-06	4,56E-07	8,84E-08	4,47E-07	8,49E-08	4,49E-06
Ethyl benzene	8,23467E- 06	1,22E-08	5,5E-06	1,08E-07	3,36E-07	6,51E-08	1,94E-07	6,25E-08	1,96E-06
Ethylene oxide	6,55E-05	8,81E-08	2,82E-07	1,28E-06	1,80E-07	3,49E-08	5,72E-06	3,35E-08	5,78E-05
Formaldehyde (methanal)	0,00024804 3	6,38E-08	0,000179	1,3E-06	1,14E-05	2,21E-06	4,69E-06	2,12E-06	4,74E-05
NM VOC (unspecified)	0,00180494	0,000358	0,000202	0,000582	8,63E-05	1,67E-05	4,96E-05	1,61E-05	0,000495
Phenol (hydroxy benzene)	4,74E-08	1,52E-10	5,37E-10	1,68E-09	2,74E-10	5,31E-11	4,02E-09	5,10E-11	4,06E-08
Propylene oxide	2,45749E- 05	0	0	0	0	0	2,21E-06	0	2,24E-05
Styrene	6,02322E- 08	9,59E-11	5,13E-08	1,11E-09	3,16E-09	6,12E-10	3,04E-10	5,87E-10	3,07E-09
Toluene (methyl benzene)	3,65E-05	1,57E-07	8,99E-06	1,48E-06	6,09E-07	1,18E-07	2,25E-06	1,13E-07	2,28E-05
Xylene (dimethyl benzene)	9,56488E- 06	2,89E-08	1,64E-06	4,63E-07	2,57E-07	4,97E-08	6,37E-07	4,77E-08	6,44E-06
Xylene (meta-Xylene; 1,3-Dimethylbenzene)	1,87239E- 08	9,61E-11	7,93E-11	1,13E-09	5,1E-11	9,89E-12	1,56E-09	9,5E-12	1,58E-08
Xylene (ortho-Xylene; 1,2-Dimethylbenzene)	7,80E-09	1,80E-10	1,49E-10	2,09E-09	9,54E-11	1,85E-11	4,73E-10	1,77E-11	4,77E-09
Hydrocarbons (unspecified)	2,0675E-09	6,14E-11	1,01E-10	6,03E-10	4,94E-11	9,58E-12	1,11E-10	9,2E-12	1,12E-09
VOC (unspecified)	1,14084E- 07	2,68E-09	1,05E-08	7,49E-08	1,88E-08	3,64E-09	1,3E-10	3,5E-09	0
Particles to air	0,02020283 3	0,000225	0,001372	0,004261	0,000218	4,23E-05	0,001264	4,06E-05	0,012779
Dust (> PM10)	0,01162693 5	0,000214	0,00032	0,00189	0,000124	2,4E-05	0,000813	2,3E-05	0,008219
Dust (PM2.5 - PM10)	0,00000000	0,00E+00							

	00								
Dust (PM2.5)	0,008544057	8,65E-06	0,00105	0,002358	9,31E-05	1,8E-05	0,00045	1,73E-05	0,00455
Silicon dust	3,18E-05	1,54E-06	2,76E-06	1,37E-05	1,40E-06	2,72E-07	1,08E-06	2,61E-07	1,08E-05
Pesticides to air	4,30188E-08	4,95E-10	4,8E-10	4,06E-09	2,28E-10	4,42E-11	3,39E-09	4,25E-11	3,43E-08
Urban air close to ground	1,778347	1,691147	0,006315	0,076053	0,003491	0,000677	1,42E-05	0,00065	0

Potenziale riduzione di ozono (ODP) mg R11 eq.	TOTALE	Combustione in caldaia cippato MC30	Movimentazione tronchi in piazzale	Taglio tronco segatronchi	Movimentazione segati in piazzale	Movimentazione tavole essiccatoio	Cippatura sciaveri	Movimentazione tavole essiccatoio	Essiccazione tavole
Emissions to air	7,499751	0,151112	0,882258	1,633548	0,407685	0,079025	0,384563	0,075864	3,885696
Ecoinvent long-term to air	0,000302	0,000009	0,000004	0,000079	0,000003	5,90E-07	0,000019	5,66E-07	0,000187
Ethane ¹² ,	0,000302	0,000009	0,000004	0,000079	0,000003	5,90E-07	0,000019	5,66E-07	0,000187
Non-urban air or from high stacks	0,000210	0,000012	0,000028	0,000142	0,000020	0,000004	4,22E-08	0,000004	0,000000
Methane, monochloro-, R-40	0,000210	0,000012	0,000028	0,000142	0,000020	0,000004	4,22E-08	0,000004	0,000000
Organic emissions to air (group VOC)	7,499239	0,151091	0,882226	1,633327	0,407662	0,079020	0,384544	0,075859	3,885509
Group NMVOC to air	7,499239	0,151091	0,882226	1,633327	0,407662	0,079020	0,384544	0,075859	3,885509
Halogenated organic emissions to air	7,499239	0,151091	0,882226	1,633327	0,407662	0,079020	0,384544	0,075859	3,885509
1,1,1-Trichloroethane	0,000203	0,000003	0,000006	0,000032	0,000004	8,70E-07	0,000014	8,36E-07	0,000142
Carbon tetrachloride (tetrachloromethane)	0,006379	0,000131	0,000546	0,001998	0,000351	0,000068	0,000292	0,000065	0,002928
Halon (1211)	3,972214	0,122764	0,003029	0,900010	0,001586	0,000307	0,264976	0,000295	2,679246
Halon (1301)	3,239497	0,023011	0,876614	0,691697	0,404773	0,078460	0,098308	0,075322	0,991313
Methyl bromide	0,000020	4,71E-10	2,64E-10	0,000019	6,92E-07	1,34E-07	6,86E-08	1,29E-07	7,99E-08
R 11 (trichlorofluoromethane)	8,84E-07	3,13E-08	1,99E-07	4,87E-07	1,11E-07	2,16E-08	1,69E-09	2,07E-08	1,17E-08
R 113 (trichlorotrifluoroethane)	0,054597	0,000383	0,000015	0,002834	0,000010	0,000002	0,004622	0,000002	0,046731

¹²1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113

R 114 (dichlorotetrafluoroethane)	0,075694	0,000875	0,001521	0,006362	0,000678	0,000131	0,005940	0,000126	0,060061
R 12 (dichlorodifluoromethane)	0,002421	0,000094	0,000048	0,000730	0,000024	0,000005	0,000136	0,000005	0,001378
R 124 (chlorotetrafluoroethane)	0,001091	0,000008	2,09E-07	0,000056	1,07E-07	2,07E-08	0,000092	1,99E-08	0,000935
R 22 (chlorodifluoromethane)	0,146433	0,003823	0,000445	0,029589	0,000236	0,000046	0,010103	0,000044	0,102148
Urban air close to ground	1,11E-18	4,43E-20	1,04E-19	8,12E-19	1,10E-19	2,13E-20	1,49E-21	2,05E-20	0,000000

Smog fotochimico (POCP) g Ethene eq	TOTALE	Combustione in caldaia cippato MC30	Movimentazione tronchi in piazzale	Taglio tronco segatronchi	Movimentazione segati in piazzale	Movimentazione tavole essiccatoio	Cippatura sciaveri	Movimentazione tavole essiccatoio	Essiccazione tavole
Emissions to air	28,578697	11,434078	1,665619	4,975422	0,448671	0,086969	0,891241	0,083491	8,993206
Ecoinvent long-term to air	0,000953	0,000021	0,000305	0,000432	0,000141	0,000027	1,22E-07	0,000026	0,000000
Carbon monoxide, fossil	0,000091	0	0	0,000090	3,32E-07	6,43E-08	2,91E-08	6,17E-08	0
Methane, fossil	3,035E-09	0	0	3,02E-09	1,11E-11	2,15E-12	9,75E-13	2,07E-12	0
Nitrogen oxides	0,000005	2,77E-08	1,19E-08	5,1E-06	2,43E-08	4,71E-09	1,64E-09	4,52E-09	0
NM _{VOC} , ¹³	0,000004	0	0	3,66E-06	1,35E-08	2,61E-09	1,18E-09	2,51E-09	0
Sulphur dioxide	0,000853	0,000021	0,000305	0,000333	0,000141	0,000027	0,000000	0,000026	0
Inorganic emissions to air	15,369922	6,524156	0,661550	1,455835	0,095443	0,018501	0,593714	0,017761	6,002963
Carbon monoxide	1,085407	0,026809	0,202780	0,442960	0,025063	0,004858	0,034063	0,004664	0,344209
Carbon monoxide, from soil or biomass stock	0,000100	0,000009	0,000009	0,000075	0,000005	9,3E-07	1,06E-08	8,93E-07	0
Carbon monoxide, non-fossil	6,535035	6,489114	0,000261	0,026075	0,000145	0,000028	0,001745	0,000027	0,017640
Nitrogen monoxide	-3,52E-07	-3,78E-09	-1,8E-08	-1,3E-07	-1,5E-07	-2,9E-08	-4,3E-11	-2,8E-08	0
Nitrogen oxides	2,921106	0,006435	0,365802	0,896827	0,028355	0,005496	0,145161	0,005276	1,467754

¹³ non-methane volatile organic compounds, unspecified origin

Sulphur dioxide	4,827703	0,001771	0,092515	0,089646	0,041791	0,008101	0,412745	0,007777	4,173357
Sulphur oxides	0,000572	0,000018	0,000182	0,000252	0,000085	0,000016	3,02E-07	0,000016	0,000002
Lower stratosphere + upper troposphere	0,000001	9,875E-08	7,92E-08	0,000001	6,97E-08	1,35E-08	8,65E-10	1,3E-08	0
Nitrogen oxides	0,000001	9,874E-08	7,91E-08	0,000001	6,96E-08	1,35E-08	8,54E-10	1,29E-08	0
Sulphur dioxide	4,484E-09	1,221E-11	8,04E-11	4,16E-09	1,63E-10	3,15E-11	1,09E-11	3,03E-11	0
Non-urban air or from high stacks	1,745836	0,153628	0,199238	1,262560	0,094435	0,018305	0,000097	0,017573	0
4-Methyl-2-pentanone	6,163E-11	4,99E-12	7,2E-12	4,43E-11	3,74E-12	7,25E-13	9,11E-15	6,96E-13	0
Acetaldehyde	0,000272	0,000023	0,000022	0,000209	0,000014	0,000003	3,05E-08	0,000003	0
Acetone	0,000153	0,000012	0,000010	0,000124	0,000005	9,83E-07	1,64E-08	9,43E-07	0
Benzaldehyde	-0,000006	-6,48E-07	-3,4E-08	-0,000005	-1,9E-08	-3,8E-09	-2E-10	-3,6E-09	0
Benzene	0,010537	0,000863	0,000591	0,008649	0,000314	0,000061	0,000001	0,000058	0
Benzene, ethyl-	0,000133	0,000008	0,000017	0,000093	0,000011	0,000002	2,28E-08	0,000002	0
Chloroform	4,458E-08	2,565E-09	5,99E-09	3,02E-08	4,22E-09	8,17E-10	8,98E-12	7,84E-10	0
Cumene	5,385E-08	3,099E-09	7,23E-09	3,65E-08	5,09E-09	9,87E-10	1,08E-11	9,48E-10	0
Ethanol	0,000088	0,000005	0,000010	0,000062	0,000008	0,000002	4,15E-08	0,000001	0
Ethene, tetrachloro-	2,463E-08	1,417E-09	3,31E-09	1,67E-08	2,33E-09	4,51E-10	4,96E-12	4,33E-10	0
Formaldehyde	0,004968	0,000576	0,000047	0,004305	0,000029	0,000006	1,63E-07	0,000005	0
Hexane	0,032010	0,003814	0,000088	0,028019	0,000064	0,000012	4E-07	0,000012	0
Isoprene	6,205E-07	5,48E-08	5,81E-08	4,66E-07	2,98E-08	5,79E-09	6,6E-11	5,55E-09	0
Methane, dichloro-, HCC-30	3,899E-07	2,244E-08	5,24E-08	2,64E-07	3,69E-08	7,15E-09	7,85E-11	6,86E-09	0
Methane, monochloro-, R-40	5,24E-08	3,016E-09	7,04E-09	3,55E-08	4,96E-09	9,61E-10	1,06E-11	9,22E-10	0
Methanol	0,000067	0,000004	0,000008	0,000049	0,000005	9,29E-07	3,21E-08	8,92E-07	0
Methyl ethyl ketone	5,622E-10	4,552E-11	6,57E-11	4,04E-10	3,41E-11	6,61E-12	8,31E-14	6,34E-12	0
m-Xylene	3,775E-09	2,986E-10	3,64E-10	2,85E-09	1,88E-10	3,65E-11	4,14E-13	3,5E-11	0
Nitrogen oxides	0,443686	0,038244	0,053030	0,317598	0,025211	0,004887	0,000025	0,004691	0
Pentane	0,041689	0,004961	0,000126	0,036478	0,000090	0,000017	5,83E-07	0,000017	0
Styrene	0,000041	0,000003	0,000005	0,000029	0,000003	6,46E-07	7,08E-09	6,2E-07	0

Sulphur dioxide	1,174092	0,100680	0,144954	0,833898	0,068477	0,013273	0,000068	0,012742	0
Toluene	0,005402	0,000621	0,000063	0,004667	0,000037	0,000007	1,98E-07	0,000007	0
Xylene	0,032701	0,003816	0,000267	0,028384	0,000168	0,000033	9,18E-07	0,000031	0
Organic emissions to air (group VOC)	7,227426	0,977470	0,790089	1,826361	0,250640	0,048584	0,297399	0,046640	2,990243
Group NMVOC to air	6,398928	0,939445	0,778397	1,647067	0,244801	0,047452	0,244164	0,045554	2,452048
Halogenated organic emissions to air	0,000005	3,571E-07	3,55E-08	2,67E-06	2,01E-08	3,89E-09	1,61E-07	3,73E-09	0,000002
1,1,1-Trichloroethane	1,525E-08	2,05E-10	4,79E-10	2,41E-09	3,37E-10	6,53E-11	1,05E-09	6,27E-11	1,06E-08
Chloromethane (methyl chloride)	1,719E-07	0	0	0	0	0	1,55E-08	0	1,56E-07
Dichloromethane (methylene chloride)	0,000001	8,327E-09	1,5E-08	8,15E-08	7,39E-09	1,43E-09	1,22E-07	1,37E-09	0,000001
Tetrachloroethene (perchloroethylene)	8,481E-08	1,944E-11	1,09E-11	1,77E-10	9,39E-12	1,82E-12	7,61E-09	1,75E-12	7,7E-08
Trichloroethene (isomers)	0,000003	3,483E-07	1,89E-08	2,58E-06	1,16E-08	2,24E-09	1,11E-10	2,15E-09	0
Trichloromethane (chloroform)	1,794E-07	2,934E-10	1,08E-09	4,8E-09	7,55E-10	1,46E-10	1,55E-08	1,4E-10	1,57E-07
1-Butanol	1,826E-08	0	0	0	0	0	1,64E-09	0	1,66E-08
1-Pentene	6,644E-08	4,738E-09	1,41E-09	3,84E-08	9,52E-10	1,84E-10	1,86E-09	1,77E-10	1,88E-08
1-Propanol	1,314E-07	2,376E-09	1,89E-09	2,32E-08	9,31E-10	1,81E-10	9,25E-09	1,73E-10	9,34E-08
2-Methyl-2-butene	4,726E-10	1,148E-13	2,45E-13	1,24E-12	2,38E-13	4,61E-14	4,24E-11	4,43E-14	4,28E-10
3-Methylpentane	2,666E-06	2,097E-07	5,23E-08	1,68E-06	3,65E-08	7,07E-09	6,1E-08	6,79E-09	6,14E-07
Acetaldehyde (Ethanal)	0,076836	0,000018	0,061767	0,000218	0,003762	0,000729	0,000868	0,000700	0,008773
Acetic acid	0,011145	0,000250	0,000027	0,001873	0,000017	0,000003	0,000807	0,000003	0,008164
Acetone (dimethyl ketone)	0,0020884	3,23E-07	9,32E-07	4,66E-06	6,17E-07	1,2E-07	0,000187	1,15E-07	0,001894
Alkane (unspecified)	0,052457	0	0	0	0	0	0,004721	0	0,047736
Benzaldehyde	-0,000025	-4,55E-07	-3,8E-07	-5,3E-06	-2,4E-07	-4,7E-08	-1,6E-06	-4,5E-08	-1,7E-05
Benzene	0,074620	0,0001615	0,009129	0,001938	0,001004	0,000195	0,005581	0,000187	0,056425
Butadiene	0,003124	6,193E-11	0,002883	4,98E-10	0,000174	3,38E-05	6,96E-10	3,24E-05	7,04E-09

Butane (n-butane)	0,042035	0,004293	0,002730	0,033234	0,001288	0,000250	0,000002	0,00024	0
Butanone (methyl ethyl ketone)	0,000042	0	0	0	0	0	0,000004	0	0,000038
Cumene (isopropylbenzene)	0,000133	2,053E-14	1,15E-14	1,87E-13	9,92E-15	1,92E-15	0,000012	1,85E-15	0,000121
Cyclohexane (hexahydro benzene)	1,654E-13	0	0	0	0	0	1,49E-14	0	1,51E-13
Diethyl ether	2,818E-12	2,618E-13	2,67E-14	1,91E-12	1,3E-14	2,53E-15	5,39E-14	2,43E-15	5,45E-13
Dimethyl carbonate	5,677E-08	2,626E-09	8,4E-09	3,83E-08	5,37E-09	1,04E-09	4,07E-11	1E-09	0
Dimethyl ether	8,563E-09	0	0	8,42E-09	9,99E-11	1,94E-11	8,77E-12	1,86E-11	0
Ethane	0,384065	0,008460	0,001356	0,063023	0,000591	0,000114	0,027936	0,000110	0,282474
Ethanol	0,011008	1,477E-10	5,68E-12	1,09E-09	3,39E-12	6,57E-13	0,000991	6,31E-13	0,010017
Ethene (ethylene)	0,017980	0,0007468	0,001152	0,007342	0,000716	0,000139	0,000702	0,000133	0,007049
Ethyl benzene	0,006177	0,000009	0,004122	0,000081	0,000252	0,000049	0,000145	0,000047	0,001471
Ethylene acetate (ethyl acetate)	0,000023	0	0	0	0	0	2,1E-06	0	0,000021
Ethyne (acetylene)	0,000304	0,000018	0,000045	0,000166	0,000021	0,000004	0,000004	0,000004	0,000041
Formaldehyde (methanal)	0,154977	0,000040	0,111767	0,000811	0,007111	0,001378	0,002929	0,001323	0,029617
Formic acid (methane acid)	0,000005	1,11E-07	1,19E-07	9,53E-07	6,22E-08	1,21E-08	3,19E-07	1,16E-08	3,22E-06
Heptane (isomers)	0,010228	5,35E-07	4,41E-07	6,22E-06	2,83E-07	5,49E-08	0,00092	5,27E-08	0,009301
Hexane (isomers)	0,138757	3,024E-11	0,001396	2,43E-10	0,000084	0,000016	0,012351	0,000016	0,124893
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	0	0	0	0	0	0	0	0	0
iso-Butane	0,137718	0	0	0	0	0	0,012394	0	0,125324
iso-Butanol	8,834E-09	0	0	0	0	0	7,95E-10	0	8,04E-09
Isoprene	1,755E-06	9,607E-13	5,38E-13	8,75E-12	4,64E-13	9E-14	1,58E-07	8,64E-14	1,6E-06
Isopropanol	0,0002966	0,000014	0,000043	0,000195	0,000029	0,000006	6,34E-07	0,000005	0,000004
Methanol	0,0044195	0,000002	0,000011	0,000038	0,000007	0,000001	0,000392	0,000001	0,003966
Methyl acetate	2,807E-09	2,396E-11	2,83E-10	1,79E-09	3,4E-10	6,6E-11	2,66E-11	6,33E-11	2,18E-10
Methyl formate	2,225E-10	3,588E-12	6,12E-12	6,07E-11	5,78E-12	1,12E-12	1,31E-11	1,08E-12	1,31E-10

Methyl tert-butylether	3,959E-06	0	0	0	0	0	3,56E-07	0	3,6E-06
NM VOC (unspecified)	4,641095	0,921023	0,518219	1,496253	0,221795	0,042992	0,127448	0,041272	1,272092
Pentane (n-pentane)	0,187113	9,482E-08	8,83E-08	1,16E-06	5,76E-08	1,12E-08	0,016839	1,07E-08	0,170273
Propane	0,180321	0,003389	0,001463	0,025794	0,000699	0,000135	0,013384	0,000130	0,135327
Propene (propylene)	0,014397	0,000211	0,000803	0,005393	0,000829	0,000161	0,000627	0,000154	0,006218
Propionaldehyde	0,018522	0,000002	0,017067	0,000012	0,001036	0,000201	0,000001	0,000193	0,000011
Propionic acid (propane acid)	0,000926	0,000024	6,88E-07	0,000177	4,69E-07	9,09E-08	0,000065	8,72E-08	0,000658
Styrene	0,000181	2,873E-07	0,000154	0,000003	0,000009	0,000002	9,12E-07	1,76E-06	0,000009
Toluene (methyl benzene)	0,071138	0,000306	0,017521	0,002889	0,001187	0,000230	0,004391	0,000221	0,044393
Xylene (dimethyl benzene)	0,155981	0,000472	0,026737	0,007548	0,004184	0,000811	0,010392	0,000779	0,105059
Xylene (meta-Xylene; 1,3-Dimethylbenzene)	0,000764	0,000004	0,000003	0,000046	0,000002	4,04E-07	0,000064	3,88E-07	0,000644
Xylene (ortho-Xylene; 1,2-Dimethylbenzene)	0,000066	0,000002	0,000001	0,000018	8,05E-07	1,56E-07	0,000004	1,5E-07	0,000040
Hydrocarbons (unspecified)	0,000013	3,97E-07	6,52E-07	0,000004	3,19E-07	6,19E-08	7,18E-07	5,94E-08	0,000007
Methane	0,770570	0,019125	0,011544	0,150343	0,005672	0,001099	0,052362	0,001055	0,529370
Methane (biotic)	0,057175	0,0188826	0,000080	0,028462	0,000045	8,75E-06	0,000872	8,4E-06	0,008817
Methane, from soil or biomass stock	0,000001	1,28E-07	1,36E-07	1,09E-06	6,97E-08	1,35E-08	1,54E-10	1,3E-08	0
VOC (unspecified)	0,000737	0,000017	0,000068	0,000484	0,000121	0,000024	8,42E-07	0,000023	0
Urban air close to ground	4,234559	3,7788016	0,014438	0,430233	0,008011	0,001553	0,000032	0,001491	0

ALLEGATO C

EMISSIONI PER LA PRODUZIONE DI 1 M³ DI TAVOLA ESSICCATA CON CIPPATTO AL 25% DI CONTENUTO IDRICO

Potenziale di riscaldamento climatico (GWP) kgCO ₂ eq	TOTALE	Combustione in caldaia cippato MC 25	Movimentazione tronchi in piazzale	Taglio tronco segatronchi	Movimentazione segati in piazzale	Movimentazione tavole essiccatoio	Cippatura sciaveri	Movimentazione tavole essiccatoio	Essiccazione tavole
Emissions to air	124,0763	69,4525	4,781798	13,16627	0,592625	0,114873	3,227549	0,110278	32,63043
Ecoinvent long-term to air	4,08E-05	2,56E-07	1,18E-07	3,89E-05	2,32E-07	4,50E-08	1,23E-07	4,32E-08	1,09E-06
Carbon dioxide, fossil	3,73E-05	3,55E-08	1,53E-08	3,70E-05	1,75E-07	3,40E-08	1,48E-08	3,26E-08	0
Dinitrogen monoxide	1,73E-06	1,67E-07	7,87E-08	1,43E-06	3,89E-08	7,55E-09	1,13E-10	7,25E-09	0
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	1,76E-06	5,33E-08	2,41E-08	4,60E-07	1,77E-08	3,43E-09	1,08E-07	3,30E-09	1,09E-06
Methane, fossil	1,42E-08	0	0	1,41E-08	5,19E-11	1,01E-11	4,55E-12	9,65E-12	0
Inorganic emissions to air	120,2036	69,27745	4,727037	12,32975	0,565695	0,109653	2,978289	0,105267	30,11046
Carbon dioxide	49,78611	1,120184	4,675512	10,97023	0,557649	0,108093	2,902845	0,10377	29,34783
Carbon dioxide (biotic)	69,54535	67,72252	0,005088	1,211833	0,002674	0,000518	0,054215	0,000498	0,548008
Nitrogen trifluoride	2,39E-11	2,19E-12	2,26E-13	1,62E-11	1,11E-13	2,14E-14	4,57E-13	2,06E-14	4,62E-12
Nitrous oxide (laughing gas)	0,860888	0,434644	0,046152	0,146266	0,005191	0,001006	0,020402	0,000966	0,206262
Sulphur hexafluoride	0,011245	0,000102	0,000285	0,001421	0,000181	3,50E-05	0,000828	3,36E-05	0,00836
Non-urban air or from high stacks	2,09E-07	1,19E-08	2,81E-08	1,42E-07	1,98E-08	3,83E-09	4,21E-11	3,68E-09	0
Chloroform	3,10E-08	1,76E-09	4,17E-09	2,10E-08	2,93E-09	5,68E-10	6,25E-12	5,46E-10	0
Ethane, 1,2-dichloro-	7,10E-10	4,03E-11	9,54E-11	4,81E-10	6,72E-11	1,30E-11	1,43E-13	1,25E-11	0
Methane, dichloro-, HCC-30	5,16E-08	2,93E-09	6,93E-09	3,50E-08	4,88E-09	9,46E-10	1,04E-11	9,08E-10	0
Methane, monochloro-, R-40	1,26E-07	7,13E-09	1,69E-08	8,52E-08	1,19E-08	2,31E-09	2,53E-11	2,21E-09	0
Organic emissions to air (group VOC)	3,872679	0,175053	0,05476	0,836477	0,02693	0,00522	0,249259	0,005011	2,519969
Group NMVOC to air	0,012395	0,000218	0,000516	0,002052	0,00025	4,84E-05	0,000834	4,65E-05	0,00843
Halogenated organic emissions	0,012395	0,000218	0,000516	0,002052	0,00025	4,84E-05	0,000834	4,65E-05	0,00843

to air									
1,1,1-Trichloroethane	2,71E-07	3,59E-09	8,51E-09	4,29E-08	5,99E-09	1,16E-09	1,87E-08	1,11E-09	1,89E-07
Carbon tetrachloride (tetrachloromethane)	1,51E-05	3,06E-07	1,29E-06	4,73E-06	8,31E-07	1,61E-07	6,92E-07	1,55E-07	6,94E-06
Chloromethane (methyl chloride)	4,13E-07	0	0	0	0	0	3,71E-08	0	3,76E-07
Dichloroethane (ethylene dichloride)	9,91E-08	3,58E-10	1,34E-09	5,95E-09	9,35E-10	1,81E-10	8,12E-09	1,74E-10	8,20E-08
Dichloromethane (methylene chloride)	1,94E-07	1,09E-09	1,99E-09	1,08E-08	9,77E-10	1,89E-10	1,61E-08	1,82E-10	1,63E-07
Halon (1211)	0,001158	3,53E-05	8,84E-07	0,000263	4,63E-07	8,97E-08	7,73E-05	8,61E-08	0,000781
Halon (1301)	0,001698	1,19E-05	0,000459	0,000363	0,000212	4,11E-05	5,15E-05	3,95E-05	0,00052
Methyl bromide	1,08E-10	2,44E-15	1,39E-15	1,02E-10	3,64E-12	7,06E-13	3,61E-13	6,78E-13	4,21E-13
Perfluoropentane	0,002416	0	0	0	0	0	0,000217	0	0,002198
R 11 (trichlorofluoromethane)	4,12E-09	1,44E-10	9,26E-10	2,27E-09	5,19E-10	1,01E-10	7,88E-12	9,65E-11	5,43E-11
R 113 (trichlorotrifluoroethane)	0,000318	2,20E-06	8,45E-08	1,65E-05	5,64E-08	1,09E-08	2,69E-05	1,05E-08	0,000272
R 114 (dichlorotetrafluoroethane)	0,000692	7,88E-06	1,39E-05	5,81E-05	6,19E-06	1,20E-06	5,43E-05	1,15E-06	0,000549
R 116 (hexafluoroethane)	0,000102	3,17E-06	4,90E-06	4,55E-05	4,87E-06	9,44E-07	3,78E-06	9,06E-07	3,76E-05
R 12 (dichlorodifluoromethane)	2,47E-05	9,45E-07	4,94E-07	7,45E-06	2,48E-07	4,80E-08	1,39E-06	4,61E-08	1,41E-05
R 124 (chlorotetrafluoroethane)	2,87E-05	1,98E-07	5,50E-09	1,48E-06	2,82E-09	5,46E-10	2,44E-06	5,24E-10	2,46E-05
R 125 (pentafluoroethane)	3,66E-31	1,44E-32	3,42E-32	2,67E-31	3,61E-32	7,01E-33	4,90E-34	6,73E-33	0
R 134a (tetrafluoroethane)	0,000141	1,15E-06	2,35E-07	8,91E-06	1,34E-07	2,60E-08	1,17E-05	2,49E-08	0,000119
R 143a (trifluoroethane)	4,27E-32	1,68E-33	3,98E-33	3,11E-32	4,22E-33	8,17E-34	5,72E-35	7,84E-34	0
R 152a (difluoroethane)	7,47E-06	9,04E-08	9,70E-07	2,01E-06	5,72E-07	1,11E-07	3,28E-07	1,06E-07	3,29E-06
R 21 (Dichlorofluoromethane)	1,18E-10	4,13E-12	2,67E-11	6,54E-11	1,49E-11	2,89E-12	1,92E-13	2,78E-12	1,21E-12
R 22 (chlorodifluoromethane)	0,005153	0,000133	1,57E-05	0,001042	8,29E-06	1,61E-06	0,000356	1,54E-06	0,003596
R 23 (trifluoromethane)	3,15E-06	1,10E-07	7,11E-07	1,74E-06	3,98E-07	7,71E-08	5,12E-09	7,41E-08	3,23E-08
Tetrafluoromethane	0,000638	2,20E-05	1,77E-05	0,000238	1,55E-05	3,01E-06	3,06E-05	2,89E-06	0,000308
Trichloromethane (chloroform)	1,25E-07	2,01E-10	7,53E-10	3,34E-09	5,25E-10	1,02E-10	1,08E-08	9,77E-11	1,09E-07
Methane	3,594719	0,087975	0,05387	0,701599	0,026469	0,005131	0,244355	0,004925	2,470395
Methane (biotic)	0,265559	0,08686	0,000373	0,132821	0,000211	4,08E-05	0,00407	3,92E-05	0,041145

Methane, from soil or biomass stock	6,75E-06	5,89E-07	6,34E-07	5,08E-06	3,25E-07	6,30E-08	7,19E-10	6,05E-08	0
Urban air close to ground	7,94E-08	5,85E-09	6,74E-09	6,02E-08	4,79E-09	9,28E-10	4,49E-11	8,91E-10	0

Potenziale di tossicità umana (HTP) kg DCB eq.	TOTALE	Combustione in caldaia cippato MC 25	Movimentazione e tronchi in piazzale	Taglio tronco segatronchi	Movimentazione segati in piazzale	Movimentazione tavole essiccatore	Cippatura sciaveri	Movimentazione tavole essiccatore	Essiccazione tavole
Emissions to air	9,898685	3,433855	0,399137	1,879077	0,151749	0,029415	0,35812	0,028238	3,619094
Ecoinvent long-term to air	0,060099	0,00046	0,000807	0,006015	0,000419	8,12E-05	0,004705	7,80E-05	0,047534
Ammonia	3,69E-09	3,85E-10	1,69E-10	3,02E-09	8,14E-11	1,58E-11	1,66E-13	1,51E-11	0
Antimony	8,56E-06	8,04E-08	1,25E-07	9,22E-07	6,53E-08	1,27E-08	6,62E-07	1,22E-08	6,68E-06
Arsenic	0,025531	0,000192	0,000342	0,002366	0,000177	3,43E-05	0,002016	3,29E-05	0,02037
Barium	6,19E-05	5,68E-07	8,90E-07	6,55E-06	4,65E-07	9,01E-08	4,79E-06	8,65E-08	4,84E-05
Beryllium	0,000397	3,02E-06	5,31E-06	3,69E-05	2,75E-06	5,33E-07	3,13E-05	5,11E-07	0,000316
Cadmium	0,000313	5,92E-06	5,33E-06	5,71E-05	2,88E-06	5,58E-07	2,17E-05	5,36E-07	0,000219
Chromium	9,54E-09	7,35E-10	6,88E-10	7,57E-09	3,94E-10	7,63E-11	2,15E-12	7,33E-11	0
Chromium VI	0,030583	0,00023	0,00041	0,002822	0,000212	4,10E-05	0,002417	3,94E-05	0,024412
Cobalt	0,000202	1,60E-06	2,64E-06	2,58E-05	1,40E-06	2,71E-07	1,54E-05	2,60E-07	0,000155
Copper	0,000578	6,95E-06	1,02E-05	0,000111	5,57E-06	1,08E-06	3,98E-05	1,04E-06	0,000402
Dioxins, ¹⁴	2,53E-08	1,42E-10	3,96E-10	2,44E-08	2,91E-10	5,64E-11	7,54E-12	5,41E-11	0
Hydrogen chloride	8,80E-08	7,91E-09	4,15E-09	7,14E-08	3,29E-09	6,38E-10	1,34E-11	6,13E-10	0
Hydrogen fluoride	1,28E-06	1,05E-07	1,06E-07	9,76E-07	6,86E-08	1,33E-08	3,13E-10	1,28E-08	0
Hydrogen sulfide	8,68E-07	8,43E-10	7,90E-10	1,05E-08	9,43E-10	1,83E-10	7,69E-08	1,75E-10	7,78E-07
Lead	5,99E-05	6,13E-07	9,40E-07	6,90E-06	4,96E-07	9,62E-08	4,57E-06	9,23E-08	4,62E-05
Mercury	5,80E-06	4,94E-08	8,29E-08	5,86E-07	4,35E-08	8,42E-09	4,53E-07	8,09E-09	4,57E-06
Molybdenum	0,000131	9,87E-07	1,75E-06	1,21E-05	9,07E-07	1,76E-07	1,03E-05	1,69E-07	0,000104

¹⁴ measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin

Nickel	0,001285	8,93E-06	1,44E-05	0,000468	8,92E-06	1,73E-06	7,05E-05	1,66E-06	0,000711
Nitrogen oxides	2,22E-07	1,17E-09	5,10E-10	2,18E-07	1,04E-09	2,02E-10	7,04E-11	1,94E-10	0
NM VOC, ¹⁵	1,43E-09	0	0	1,42E-09	5,24E-12	1,02E-12	4,60E-13	9,75E-13	0
Particulates, < 2.5 um	1,24E-05	2,21E-07	2,22E-07	2,24E-06	1,41E-07	2,73E-08	8,54E-07	2,63E-08	8,62E-06
Particulates, > 10 um	2,70E-05	5,49E-07	5,52E-07	5,59E-06	3,49E-07	6,76E-08	1,79E-06	6,49E-08	1,81E-05
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	1,66E-05	3,30E-07	3,50E-07	3,73E-06	2,22E-07	4,30E-08	1,07E-06	4,13E-08	1,08E-05
Selenium	0,00033	2,50E-06	4,43E-06	3,06E-05	2,29E-06	4,43E-07	2,61E-05	4,26E-07	0,000264
Sulphur dioxide	1,71E-06	4,21E-08	6,09E-07	6,66E-07	2,81E-07	5,45E-08	1,79E-10	5,23E-08	0
Thallium	6,63E-07	6,38E-08	1,98E-08	5,58E-07	1,58E-08	3,06E-09	1,19E-10	2,93E-09	0
Tin	6,11E-09	1,30E-10	1,57E-10	1,30E-09	8,83E-11	1,71E-11	3,96E-10	1,64E-11	4,00E-09
Vanadium	0,000542	4,72E-06	7,25E-06	5,50E-05	3,76E-06	7,29E-07	4,23E-05	6,99E-07	0,000428
Zinc	1,04E-05	1,62E-07	2,17E-07	1,68E-06	1,17E-07	2,26E-08	7,34E-07	2,17E-08	7,41E-06
Heavy metals to air	2,950593	0,253568	0,21465	0,355203	0,094494	0,018316	0,179753	0,017584	1,817025
Antimony	0,01587	0,000464	0,000554	0,005491	0,000321	6,22E-05	0,000804	5,97E-05	0,008114
Arsenic	0,370402	0,000241	0,018292	0,010834	0,008412	0,001631	0,029651	0,001565	0,299775
Cadmium	0,073195	0,000136	0,011043	0,006531	0,004333	0,00084	0,004457	0,000806	0,045047
Chromium	0,003751	1,52E-05	9,50E-05	0,000244	4,45E-05	8,63E-06	0,0003	8,29E-06	0,003035
Chromium (+VI)	0,543882	7,72E-05	0,000523	0,000793	0,000138	2,68E-05	0,048804	2,57E-05	0,493494
Cobalt	0,050702	0,000966	0,002728	0,008606	0,001268	0,000246	0,003299	0,000236	0,033354
Copper	0,102815	0,060185	0,010431	0,010157	0,001136	0,00022	0,001844	0,000211	0,01863
Hydrogen arsenic (arsine)	3,29E-09	1,03E-10	3,36E-10	2,35E-09	3,57E-10	6,92E-11	5,46E-12	6,65E-11	5,97E-12
Lead	0,010728	0,007465	0,000194	0,000891	0,000102	1,98E-05	0,000183	1,90E-05	0,001853
Mercury	0,004544	0,001245	0,000114	0,000883	5,61E-05	1,09E-05	0,0002	1,04E-05	0,002024
Molybdenum	0,004545	0,000111	6,84E-05	0,001014	3,81E-05	7,38E-06	0,000297	7,09E-06	0,003001
Nickel	1,14361	0,151795	0,117201	0,201302	0,054277	0,010521	0,053884	0,0101	0,544531
Selenium	0,083021	0,002283	0,004572	0,019647	0,001963	0,000381	0,004844	0,000365	0,048967
Thallium	0,021013	0,000178	0,008705	0,005526	0,003997	0,000775	1,00E-04	0,000744	0,000988

¹⁵non-methane volatile organic compounds, unspecified origin

Tin	7,97E-07	1,97E-08	1,50E-07	2,56E-07	7,20E-08	1,40E-08	2,46E-08	1,34E-08	2,48E-07
Vanadium	0,501362	0,008578	0,039954	0,082802	0,018373	0,003561	0,031028	0,003419	0,313648
Zinc	0,021153	0,019829	0,000175	0,000482	3,35E-05	6,49E-06	5,59E-05	6,23E-06	0,000564
Inorganic emissions to air	1,023783	0,030661	0,02269	0,272817	0,005155	0,000999	0,062151	0,000959	0,62835
Ammonia	5,93E-05	1,54E-06	4,03E-06	1,39E-05	5,87E-07	1,14E-07	3,51E-06	1,09E-07	3,55E-05
Barium	0,003871	0,000126	5,00E-05	0,001061	3,02E-05	5,86E-06	0,000233	5,62E-06	0,002359
Beryllium	0,001694	4,08E-06	0,000157	0,000106	7,21E-05	1,40E-05	0,000119	1,34E-05	0,001208
Carbon disulphide	4,11E-05	1,69E-06	2,74E-06	1,71E-05	1,75E-06	3,40E-07	1,55E-06	3,26E-07	1,56E-05
Hydrogen chloride	0,000474	1,34E-05	8,73E-06	0,000113	5,25E-06	1,02E-06	2,98E-05	9,78E-07	0,000302
Hydrogen fluoride	0,882715	0,030236	0,006605	0,232864	0,003746	0,000726	0,054712	0,000697	0,553128
Hydrogen sulphide	8,72E-05	3,36E-06	2,34E-07	2,56E-05	2,43E-07	4,70E-08	5,19E-06	4,51E-08	5,25E-05
Nitrogen oxides	0,125186	0,000272	0,015677	0,038435	0,001215	0,000236	0,006221	0,000226	0,062904
Sulphur dioxide	0,009655	3,49E-06	0,000185	0,000179	8,36E-05	1,62E-05	0,000825	1,56E-05	0,008347
Sulphur oxides	1,14E-06	3,61E-08	3,63E-07	5,04E-07	1,70E-07	3,29E-08	6,03E-10	3,16E-08	4,66E-09
Lower stratosphere + upper troposphere	5,76E-08	4,17E-09	3,39E-09	4,59E-08	2,99E-09	5,79E-10	3,71E-11	5,56E-10	0
Cadmium	1,61E-10	4,33E-13	2,89E-12	1,49E-10	5,85E-12	1,13E-12	3,93E-13	1,09E-12	0
Chromium	3,60E-12	9,65E-15	6,45E-14	3,33E-12	1,31E-13	2,53E-14	8,76E-15	2,43E-14	0
Nitrogen oxides	5,74E-08	4,17E-09	3,39E-09	4,57E-08	2,98E-09	5,78E-10	3,66E-11	5,55E-10	0
Particulates, < 2.5 um	1,54E-11	4,13E-14	2,76E-13	1,43E-11	5,58E-13	1,08E-13	3,75E-14	1,04E-13	0
Sulphur dioxide	8,97E-12	2,41E-14	1,61E-13	8,31E-12	3,25E-13	6,31E-14	2,18E-14	6,06E-14	0
Non-urban air or from high stacks	0,59264	0,053922	0,044146	0,456477	0,027542	0,005339	8,88E-05	0,005125	0
Acrolein	7,62E-07	6,46E-08	5,29E-08	5,96E-07	3,57E-08	6,92E-09	8,93E-11	6,64E-09	0
Ammonia	0,000193	2,29E-05	5,15E-07	0,000169	2,37E-07	4,60E-08	3,41E-10	4,42E-08	0
Antimony	0,000311	3,00E-05	2,29E-05	0,000234	1,79E-05	3,47E-06	2,54E-08	3,33E-06	0
Arsenic	0,145086	0,013925	0,011121	0,10885	0,008103	0,001571	8,02E-06	0,001508	0
Benzene	0,091728	0,007413	0,005154	0,075381	0,002733	0,00053	8,88E-06	0,000509	0
Benzene, ethyl-	1,77E-07	1,07E-08	2,26E-08	1,24E-07	1,43E-08	2,78E-09	3,04E-11	2,67E-09	0
Beryllium	0,00018	1,33E-05	1,73E-05	0,000133	1,20E-05	2,32E-06	4,11E-08	2,23E-06	0

Cadmium	0,017853	0,00178	0,001282	0,013426	0,000989	0,000192	5,03E-07	0,000184	0
Chloroform	2,45E-08	1,39E-09	3,30E-09	1,66E-08	2,32E-09	4,50E-10	4,94E-12	4,32E-10	0
Chromium	0,002037	0,000182	0,000169	0,001546	0,000101	1,96E-05	5,07E-07	1,88E-05	0
Chromium VI	0,306988	0,02806	0,023459	0,235846	0,01417	0,002747	6,92E-05	0,002637	0
Dioxins ¹⁶ ,	0,000645	6,32E-05	3,93E-05	0,000514	2,07E-05	4,02E-06	4,73E-08	3,86E-06	0
Ethane, 1,2-dichloro-	5,37E-09	3,05E-10	7,22E-10	3,64E-09	5,08E-10	9,85E-11	1,08E-12	9,46E-11	0
Ethene, tetrachloro-	4,69E-09	2,66E-10	6,31E-10	3,18E-09	4,44E-10	8,61E-11	9,46E-13	8,26E-11	0
Formaldehyde	7,94E-06	9,09E-07	7,45E-08	6,89E-06	4,62E-08	8,95E-09	2,61E-10	8,60E-09	0
Methane, dichloro-, HCC-30	1,13E-08	6,42E-10	1,52E-09	7,67E-09	1,07E-09	2,08E-10	2,28E-12	1,99E-10	0
m-Xylene	9,24E-14	7,21E-15	8,93E-15	6,99E-14	4,61E-15	8,93E-16	1,01E-17	8,58E-16	0
Nitrogen oxides	0,018992	0,001616	0,002273	0,013611	0,00108	0,000209	1,07E-06	0,000201	0
Particulates, < 2.5 um	0,001593	0,00014	0,000137	0,001211	7,53E-05	1,46E-05	1,37E-07	1,40E-05	0
Particulates, > 10 um	0,004174	0,000438	0,00013	0,003501	7,60E-05	1,47E-05	1,97E-07	1,41E-05	0
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	0,000502	3,88E-05	4,98E-05	0,000376	2,68E-05	5,20E-06	4,77E-08	4,99E-06	0
Phenol	3,18E-08	2,70E-09	1,36E-09	2,62E-08	1,09E-09	2,12E-10	9,37E-12	2,03E-10	0
Styrene	1,38E-08	8,36E-10	1,76E-09	9,65E-09	1,11E-09	2,15E-10	2,36E-12	2,07E-10	0
Sulphur dioxide	0,002345	0,000198	0,00029	0,001668	0,000137	2,65E-05	1,36E-07	2,55E-05	0
Toluene	2,77E-06	3,14E-07	3,22E-08	2,40E-06	1,92E-08	3,72E-09	1,02E-10	3,57E-09	0
Xylene	2,00E-06	2,31E-07	1,64E-08	1,74E-06	1,03E-08	2,00E-09	5,63E-11	1,92E-09	0
Organic emissions to air (group VOC)	3,49719	1,428045	0,109156	0,70825	0,020428	0,00396	0,110143	0,003801	1,113406
Group NMVOC to air	3,49719	1,428045	0,109156	0,70825	0,020428	0,00396	0,110143	0,003801	1,113406
Group PAH to air	2,821086	1,426096	0,019532	0,688731	0,010844	0,002102	0,060481	0,002018	0,611282
Anthracene	2,98E-10	5,84E-18	2,75E-10	4,76E-17	1,67E-11	3,23E-12	5,00E-21	3,10E-12	0
Naphthalene	4,96E-06	4,65E-11	4,57E-06	4,08E-10	2,78E-07	5,38E-08	3,92E-14	5,17E-08	0
Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)	2,821081	1,426096	0,019528	0,688731	0,010844	0,002102	0,060481	0,002018	0,611282

¹⁶measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin

Halogenated organic emissions to air	0,015069	0,000207	0,001817	0,00203	0,000258	5,01E-05	0,000959	4,81E-05	0,0097
1,1,1-Trichloroethane	2,79E-08	3,69E-10	8,74E-10	4,41E-09	6,15E-10	1,19E-10	1,92E-09	1,15E-10	1,94E-08
2,4-Dichlorophenol	7,71E-09	2,76E-12	1,25E-12	2,38E-11	9,18E-13	1,78E-13	6,91E-10	1,71E-13	6,99E-09
Carbon tetrachloride (tetrachloromethane)	1,93E-06	3,90E-08	1,65E-07	6,03E-07	1,06E-07	2,05E-08	8,82E-08	1,97E-08	8,84E-07
Dichlorobenzene (o-DCB; 1,2-dichlorobenzene)	9,46E-10	0	0	0	0	0	8,51E-11	0	8,61E-10
Dichloroethane (ethylene dichloride)	7,49E-07	2,71E-09	1,01E-08	4,50E-08	7,07E-09	1,37E-09	6,14E-08	1,32E-09	6,20E-07
Dichloromethane (methylene chloride)	4,26E-08	2,38E-10	4,37E-10	2,37E-09	2,15E-10	4,16E-11	3,54E-09	3,99E-11	3,58E-08
Hexachlorobenzene (Perchlorobenzene)	0,002576	9,74E-05	9,70E-05	0,000894	4,77E-05	9,25E-06	0,000128	8,88E-06	0,001294
Methyl bromide	1,89E-08	4,29E-13	2,44E-13	1,79E-08	6,39E-10	1,24E-10	6,34E-11	1,19E-10	7,38E-11
Pentachlorobenzene	6,18E-09	1,16E-10	1,17E-10	1,04E-09	6,31E-11	1,22E-11	4,34E-10	1,18E-11	4,39E-09
Pentachlorophenol (PCP)	4,21E-06	7,48E-08	4,14E-08	5,31E-07	2,18E-08	4,22E-09	3,18E-07	4,05E-09	3,21E-06
Polychlorinated dibenzo-p-dioxins (2,3,7,8 - TCDD)	0,012481	0,00011	0,001719	0,001134	0,00021	4,08E-05	0,000831	3,92E-05	0,008397
Tetrachloroethene (perchloroethylene)	1,62E-08	3,65E-12	2,07E-12	3,38E-11	1,79E-12	3,47E-13	1,45E-09	3,33E-13	1,47E-08
Trichloroethene (isomers)	3,13E-07	3,63E-08	2,00E-09	2,73E-07	1,23E-09	2,38E-10	1,17E-11	2,28E-10	0
Trichloromethane (chloroform)	9,87E-08	1,59E-10	5,96E-10	2,64E-09	4,16E-10	8,05E-11	8,53E-09	7,73E-11	8,62E-08
Vinyl chloride (VCM; chloroethene)	4,48E-06	2,61E-08	5,29E-08	3,72E-07	4,12E-08	7,98E-09	3,58E-07	7,66E-09	3,62E-06
Acrolein	0,000358	3,61E-07	0,000314	4,25E-06	1,93E-05	3,73E-06	1,17E-06	3,58E-06	1,18E-05
Benzene	0,650309	0,001387	0,07956	0,016894	0,008752	0,001696	0,048636	0,001629	0,491755
Butadiene	0,008165	1,60E-10	0,007536	1,30E-09	0,000456	8,83E-05	1,82E-09	8,48E-05	1,84E-08
Ethene (ethylene)	1,14E-05	4,69E-07	7,34E-07	4,67E-06	4,56E-07	8,84E-08	4,47E-07	8,49E-08	4,49E-06
Ethyl benzene	8,23E-06	1,20E-08	5,50E-06	1,08E-07	3,36E-07	6,51E-08	1,94E-07	6,25E-08	1,96E-06
Ethylene oxide	6,55E-05	8,69E-08	2,82E-07	1,28E-06	1,80E-07	3,49E-08	5,72E-06	3,35E-08	5,78E-05
Formaldehyde (methanal)	0,000248	6,29E-08	0,000179	1,30E-06	1,14E-05	2,21E-06	4,69E-06	2,12E-06	4,74E-05
NM VOC (unspecified)	0,0018	0,000353	0,000202	0,000582	8,63E-05	1,67E-05	4,96E-05	1,61E-05	0,000495

Phenol (hydroxy benzene)	4,74E-08	1,49E-10	5,37E-10	1,68E-09	2,74E-10	5,31E-11	4,02E-09	5,10E-11	4,06E-08
Propylene oxide	2,46E-05	0	0	0	0	0	2,21E-06	0	2,24E-05
Styrene	6,02E-08	9,45E-11	5,13E-08	1,11E-09	3,16E-09	6,12E-10	3,04E-10	5,87E-10	3,07E-09
Toluene (methyl benzene)	3,65E-05	1,55E-07	8,99E-06	1,48E-06	6,09E-07	1,18E-07	2,25E-06	1,13E-07	2,28E-05
Xylene (dimethyl benzene)	9,56E-06	2,85E-08	1,64E-06	4,63E-07	2,57E-07	4,97E-08	6,37E-07	4,77E-08	6,44E-06
Xylene (meta-Xylene; 1,3-Dimethylbenzene)	1,87E-08	9,47E-11	7,93E-11	1,13E-09	5,10E-11	9,89E-12	1,56E-09	9,50E-12	1,58E-08
Xylene (ortho-Xylene; 1,2-Dimethylbenzene)	7,80E-09	1,78E-10	1,49E-10	2,09E-09	9,54E-11	1,85E-11	4,73E-10	1,77E-11	4,77E-09
Hydrocarbons (unspecified)	2,07E-09	6,05E-11	1,01E-10	6,03E-10	4,94E-11	9,58E-12	1,11E-10	9,20E-12	1,12E-09
VOC (unspecified)	1,14E-07	2,64E-09	1,05E-08	7,49E-08	1,88E-08	3,64E-09	1,30E-10	3,50E-09	0
Particles to air	0,0202	0,000221	0,001372	0,004261	0,000218	4,23E-05	0,001264	4,06E-05	0,012779
Dust (> PM10)	0,011624	0,000211	0,00032	0,00189	0,000124	2,40E-05	0,000813	2,30E-05	0,008219
Dust (PM2.5)	0,008544	8,52E-06	0,00105	0,002358	9,31E-05	1,80E-05	0,00045	1,73E-05	0,00455
Silicon dust	3,18E-05	1,52E-06	2,76E-06	1,37E-05	1,40E-06	2,72E-07	1,08E-06	2,61E-07	1,08E-05
Pesticides to air	4,30E-08	4,88E-10	4,80E-10	4,06E-09	2,28E-10	4,42E-11	3,39E-09	4,25E-11	3,43E-08
Urban air close to ground	1,754179	1,666978	0,006315	0,076053	0,003491	0,000677	1,42E-05	0,00065	0

Potenziale di riduzione di ozono (ODP) mg R11eq	TOTALE	Combustione in caldaia cippato MC 25	Movimentazione tronchi in piazzale	Taglio tronco segatronchi	Movimentazione segati in piazzale	Movimentazione tavole essiccatoio	Cippatura sciaveri	Movimentazione tavole essiccatoio	Essiccazione tavole
Emissions to air	7,497591	0,148953	0,882258	1,633548	0,407685	0,079025	0,384563	0,075864	3,885696
Ecoinvent long-term to air	0,000302	0,000009	0,000004	0,000079	0,000003	0,000001	0,000019	0,000001	0,000187
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	0,000302	0,000009	0,000004	0,000079	0,000003	0,000001	0,000019	0,000001	0,000187
Non-urban air or from high stacks	0,000209	0,000012	0,000028	0,000142	0,000020	0,000004	4,22E-08	0,000004	0
Methane, monochloro-, R-40	0,000209	0,000012	0,000028	0,000142	0,000020	0,000004	4,22E-08	0,000004	0
Organic emissions to air (group VOC)	7,497080	0,148932	0,882226	1,633327	0,407662	0,079020	0,384544	0,075859	3,885509
Group NMVOC to air	7,497080	0,148932	0,882226	1,633327	0,407662	0,079020	0,384544	0,075859	3,885509

Halogenated organic emissions to air	7,497080	0,148932	0,882226	1,633327	0,407662	0,079020	0,384544	0,075859	3,885509
1,1,1-Trichloroethane	0,000203	0,000003	0,000006	0,000032	0,000004	0,000001	0,000014	0,000001	0,000142
Carbon tetrachloride (tetrachloromethane)	0,006377	0,000129	0,000546	0,001998	0,000351	0,000068	0,000292	0,000065	0,002928
Chloromethane (methyl chloride)	0,000688	0	0	0	0	0	0,000062	0,000000	0,000626
Halon (1211)	3,970460	0,121010	0,003029	0,900010	0,001586	0,000307	0,264976	0,000295	2,679246
Halon (1301)	3,239168	0,022682	0,876614	0,691697	0,404773	0,078460	0,098308	0,075322	0,991313
Methyl bromide	0,000020	4,64E-10	2,64E-10	0,000019	6,92E-07	1,34E-07	6,86E-08	1,29E-07	7,99E-08
R 11 (trichlorofluoromethane)	0,000007	3,08E-08	1,99E-07	4,87E-07	1,11E-07	2,16E-08	1,69E-09	2,07E-08	1,17E-08
R 113 (trichlorotrifluoroethane)	0,054591	0,000378	0,000015	0,002834	0,000010	0,000002	0,004622	0,000002	0,046731
R 114 (dichlorotetrafluoroethane)	0,075681	0,000862	0,001521	0,006362	0,000678	0,000131	0,005940	0,000126	0,060061
R 12 (dichlorodifluoromethane)	0,002420	0,000093	0,000048	0,000730	0,000024	4,71E-06	0,000136	4,52E-06	0,001378
R 124 (chlorotetrafluoroethane)	0,001091	7,53E-06	2,09E-07	0,000056	1,07E-07	2,07E-08	0,000092	1,99E-08	0,000935
R 22 (chlorodifluoromethane)	0,146379	0,003768	0,000445	0,029589	0,000236	0,000046	0,010103	0,000044	0,102148
Urban air close to ground	1,11E-18	4,37E-20	1,04E-19	8,12E-19	1,10E-19	2,13E-20	1,49E-21	2,05E-20	0

Smog fotochimico (POCP) g Etheneeq	TOTALE	Combustione in caldaia cippato MC 25	Movimentazione tronchi in piazzale	Taglio tronco segatronchi	Movimentazione segati in piazzale	Movimentazione tavole essiccatoio	Cippatura sciaveri	Movimentazione tavole essiccatoio	Essiccazione tavole
Emissions to air	28,415291	11,270671	1,665619	4,975422	0,448671	0,086969	0,891241	0,083491	8,993206
Ecoinvent long-term to air	0,000952	0,000021	0,000305	0,000432	0,000141	0,000027	1,22E-07	0,000026	0
Carbon monoxide, fossil	0,000091	0	0	0,000090	3,32E-07	6,43E-08	2,91E-08	6,17E-08	0
Methane, fossil	3,0353E-09	0	0	3,02E-09	1,11E-11	2,15E-12	9,75E-13	2,07E-12	0
Nitrogen oxides	5,1699E-06	2,73E-08	1,19E-08	5,1E-06	2,43E-08	4,71E-09	1,64E-09	4,52E-09	0
NMVO ¹⁷ ,	3,6788E-06	0	0	3,66E-06	1,35E-08	2,61E-09	1,18E-09	2,51E-09	0
Sulphur dioxide	0,000853	0,000021	0,000305	0,000333	0,000141	0,000027	8,96E-08	0,000026	0
Inorganic emissions to air	15,276685	6,430919	0,661550	1,455835	0,095443	0,018501	0,593714	0,017761	6,002963
Carbon monoxide	1,085024	0,026426	0,202780	0,442960	0,025063	0,004858	0,034063	0,004664	0,344209
Carbon monoxide, from soil or biomass stock	0,000100	8,68E-06	9,34E-06	7,49E-05	4,8E-06	9,3E-07	1,06E-08	8,93E-07	0
Carbon monoxide, non-fossil	6,442298	6,396377	0,000261	0,026075	0,000145	2,8E-05	0,001745	2,69E-05	0,01764
Nitrogen monoxide	-3,519E-07	-3,72E-09	-1,8E-08	-1,3E-07	-1,5E-07	-2,87E-08	-4,3E-11	-2,8E-08	0
Nitrogen oxides	2,921014	0,006343	0,365802	0,896827	0,028355	0,005496	0,145161	0,005276	1,467754
Sulphur dioxide	4,827677	0,001746	0,092515	0,089646	0,041791	0,008101	0,412745	0,007777	4,173357
Sulphur oxides	0,000571	0,000018	0,000182	0,000252	0,000085	0,000016	3,02E-07	0,000016	0,000002
lower stratosphere + upper troposphere	0,000001	9,73E-08	7,92E-08	0,000001	6,97E-08	1,35E-08	8,65E-10	1,3E-08	0
Nitrogen oxides	0,000001	9,73E-08	7,91E-08	0,000001	6,96E-08	1,35E-08	8,54E-10	1,29E-08	0
Sulphur dioxide	4,4837E-09	1,2E-11	8,04E-11	4,16E-09	1,63E-10	3,15E-11	1,09E-11	3,03E-11	0

¹⁷ non-methane volatile organic compounds, unspecified origin

non-urban air or from high stacks	1,743640	0,151433	0,199238	1,262560	0,094435	0,018305	0,000097	0,017573	0
4-Methyl-2-pentanone	6,1558E-11	4,92E-12	7,2E-12	4,43E-11	3,74E-12	7,25E-13	9,11E-15	6,96E-13	0
Acetaldehyde	0,000271	0,000022	0,000022	0,000209	0,000014	0,000003	3,05E-08	0,000003	0
Acetone	0,000153	0,000012	0,000010	0,000124	0,000005	9,83E-07	1,64E-08	9,43E-07	0
Benzaldehyde	-0,000006	-6,38E-07	-3,4E-08	-0,000005	-1,9E-08	-3,78E-09	-2E-10	-3,6E-09	0
Benzene	0,010525	0,000851	0,000591	0,008649	0,000314	0,000061	0,000001	0,000058	0
Benzene, ethyl-	0,000133	0,000008	0,000017	0,000093	0,000011	0,000002	2,28E-08	0,000002	0
Chloroform	4,454E-08	2,53E-09	5,99E-09	3,02E-08	4,22E-09	8,17E-10	8,98E-12	7,84E-10	0
Cumene	5,3802E-08	3,05E-09	7,23E-09	3,65E-08	5,09E-09	9,87E-10	1,08E-11	9,48E-10	0
Ethanol	0,000088	0,000005	0,000010	0,000062	0,000008	0,000002	4,15E-08	0,000001	0
Ethene, tetrachloro-	2,4607E-08	1,4E-09	3,31E-09	1,67E-08	2,33E-09	4,51E-10	4,96E-12	4,33E-10	0
Formaldehyde	0,004960	0,000568	0,000047	0,004305	0,000029	0,000006	1,63E-07	0,000005	0
Hexane	0,031956	0,003760	0,000088	0,028019	0,000064	0,000012	4E-07	0,000012	0
Isoprene	6,1967E-07	5,4E-08	5,81E-08	4,66E-07	2,98E-08	5,79E-09	6,6E-11	5,55E-09	0
Methane, dichloro-, HCC-30	3,8955E-07	2,21E-08	5,24E-08	2,64E-07	3,69E-08	7,15E-09	7,85E-11	6,86E-09	0
Methane, monochloro-, R-40	5,2358E-08	2,97E-09	7,04E-09	3,55E-08	4,96E-09	9,61E-10	1,06E-11	9,22E-10	0
Methanol	0,000067	0,000004	0,000008	0,000049	0,000005	9,29E-07	3,21E-08	8,92E-07	0
Methyl ethyl ketone	5,6155E-10	4,49E-11	6,57E-11	4,04E-10	3,41E-11	6,61E-12	8,31E-14	6,34E-12	0
m-Xylene	3,7711E-09	2,94E-10	3,64E-10	2,85E-09	1,88E-10	3,65E-11	4,14E-13	3,5E-11	0
Nitrogen oxides	0,443140	0,037697	0,053030	0,317598	0,025211	0,004887	0,000025	0,004691	0
Pentane	0,041618	0,004890	0,000126	0,036478	0,000090	0,000017	5,83E-07	0,000017	0
Styrene	0,000041	0,000003	0,000005	0,000029	0,000003	6,46E-07	7,08E-09	6,2E-07	0
Sulphur dioxide	1,172654	0,099241	0,144954	0,833898	0,068477	0,013273	0,000068	0,012742	0
Toluene	0,005393	0,000612	0,000063	0,004667	0,000037	0,000007	1,98E-07	0,000007	0
Xylene	0,032647	0,003762	0,000267	0,028384	0,000168	0,000033	9,18E-07	0,000031	0
Organic emissions to air (group VOC)	7,213456	0,963501	0,790089	1,826361	0,250640	0,048584	0,297399	0,046640	2,990243

Group NMVOC to air	6,385502	0,926019	0,778397	1,647067	0,244801	0,047452	0,244164	0,045554	2,452048
Halogenated organic emissions to air	0,000005	3,52E-07	3,55E-08	2,67E-06	2,01E-08	3,89E-09	1,61E-07	3,73E-09	0,000002
1,1,1-Trichloroethane	1,5246E-08	2,02E-10	4,79E-10	2,41E-09	3,37E-10	6,53E-11	1,05E-09	6,27E-11	1,06E-08
Chloromethane (methyl chloride)	1,7194E-07	0	0	0	0	0	1,55E-08	0	1,56E-07
Dichloromethane (methylene chloride)	0,000001	8,21E-09	1,5E-08	8,15E-08	7,39E-09	1,43E-09	1,22E-07	1,37E-09	0,000001
Tetrachloroethene (perchloroethylene)	8,4805E-08	1,92E-11	1,09E-11	1,77E-10	9,39E-12	1,82E-12	7,61E-09	1,75E-12	7,7E-08
Trichloroethene (isomers)	0,000003	3,43E-07	1,89E-08	0,000003	1,16E-08	2,24E-09	1,11E-10	2,15E-09	0
Trichloromethane (chloroform)	1,7938E-07	2,89E-10	1,08E-09	4,8E-09	7,55E-10	1,46E-10	1,55E-08	1,4E-10	1,57E-07
1-Butanol	1,8261E-08	0	0	0	0	0	1,64E-09	0	1,66E-08
1-Pentene	6,6373E-08	4,67E-09	1,41E-09	3,84E-08	9,52E-10	1,84E-10	1,86E-09	1,77E-10	1,88E-08
1-Propanol	1,3141E-07	2,34E-09	1,89E-09	2,32E-08	9,31E-10	1,81E-10	9,25E-09	1,73E-10	9,34E-08
2-Methyl-2-butene	4,7265E-10	1,13E-13	2,45E-13	1,24E-12	2,38E-13	4,61E-14	4,24E-11	4,43E-14	4,28E-10
3-Methylpentane	0,000003	2,07E-07	5,23E-08	0,000002	3,65E-08	7,07E-09	6,1E-08	6,79E-09	6,14E-07
Acetaldehyde (Ethanal)	0,076835	0,000018	0,061767	0,000218	0,003762	0,000729	0,000868	0,000700	0,008773
Acetic acid	0,011142	0,000246	0,000027	0,001873	0,000017	0,000003	0,000807	0,000003	0,008164
Acetone (dimethyl ketone)	0,002088	3,18E-07	9,32E-07	4,66E-06	6,17E-07	1,2E-07	0,000187	1,15E-07	0,001894
Alkane (unspecified)	0,052457	0	0	0	0	0	0,004721	0	0,047736
Benzaldehyde	-2,462E-05	-4,49E-07	-3,8E-07	-5,3E-06	-2,4E-07	-4,67E-08	-0,000002	-4,5E-08	-0,000017
Benzene	0,074618	0,000159	0,009129	0,001938	0,001004	0,000195	0,005581	0,000187	0,056425
Butadiene	0,003124	6,1E-11	0,002883	4,98E-10	0,000174	3,38E-05	6,96E-10	3,24E-05	7,04E-09
Butane (n-butane)	0,041974	0,004231	0,002730	0,033234	0,001288	0,000250	0,000002	0,000240	0,000000
Butanone (methyl ethyl ketone)	0,000042	0	0	0	0	0	0,000004	0,000000	0,000038

Cumene (isopropylbenzene)	0,000133	2,02E-14	1,15E-14	1,87E-13	9,92E-15	1,92E-15	0,000012	1,85E-15	0,000121
Cyclohexane (hexahydro benzene)	1,6543E-13	0	0	0	0	0	1,49E-14	0	1,51E-13
Diethyl ether	2,8139E-12	2,58E-13	2,67E-14	1,91E-12	1,3E-14	2,53E-15	5,39E-14	2,43E-15	5,45E-13
Dimethyl carbonate	5,6728E-08	2,59E-09	8,4E-09	3,83E-08	5,37E-09	1,04E-09	4,07E-11	1E-09	0
Dimethyl ether	8,5634E-09	0	0	8,42E-09	9,99E-11	1,94E-11	8,77E-12	1,86E-11	0
Ethane	0,383944	0,008339	0,001356	0,063023	0,000591	0,000114	0,027936	0,000110	0,282474
Ethanol	0,011008	1,46E-10	5,68E-12	1,09E-09	3,39E-12	6,57E-13	0,000991	6,31E-13	0,010017
Ethene (ethylene)	0,017969	0,000736	0,001152	0,007342	0,000716	0,000139	0,000702	0,000133	0,007049
Ethyl benzene	0,006177	0,000009	0,004122	0,000081	0,000252	0,000049	0,000145	0,000047	0,001471
Ethylene acetate (ethyl acetate)	0,000023	0	0	0	0	0	0,000002	0	0,000021
Ethyne (acetylene)	0,000303	0,000018	0,000045	0,000166	0,000021	0,000004	0,000004	0,000004	0,000041
Formaldehyde (methanal)	0,154976	0,000039	0,111767	0,000811	0,007111	0,001378	0,002929	0,001323	0,029617
Formic acid (methane acid)	0,000005	1,09E-07	1,19E-07	9,53E-07	6,22E-08	1,21E-08	3,19E-07	1,16E-08	0,000003
Heptane (isomers)	0,010228	5,27E-07	4,41E-07	6,22E-06	2,83E-07	5,49E-08	0,00092	5,27E-08	0,009301
Hexane (isomers)	0,138757	2,98E-11	0,001396	2,43E-10	0,000084	0,000016	0,012351	0,000016	0,124893
iso-Butane	0,137718	0	0	0	0	0	0,012394	0	0,125324
iso-Butanol	8,8338E-09	0	0	0	0	0	7,95E-10	0	8,04E-09
Isoprene	0,000002	9,47E-13	5,38E-13	8,75E-12	4,64E-13	9E-14	1,58E-07	8,64E-14	0,000002
Isopropanol	0,000296	0,000014	0,000043	0,000195	0,000029	0,000006	6,34E-07	0,000005	0,000004
Methanol	0,004419	0,000002	0,000011	0,000038	0,000007	0,000001	0,000392	0,000001	0,003966
Methyl acetate	2,807E-09	2,36E-11	2,83E-10	1,79E-09	3,4E-10	6,6E-11	2,66E-11	6,33E-11	2,18E-10
Methyl formate	2,2248E-10	3,54E-12	6,12E-12	6,07E-11	5,78E-12	1,12E-12	1,31E-11	1,08E-12	1,31E-10
Methyl tert-butylether	0,000004	0	0	0	0	0	3,56E-07	0	0,000004
NMVOC (unspecified)	4,627933	0,907861	0,518219	1,496253	0,221795	0,042992	0,127448	0,041272	1,272092
Pentane (n-pentane)	0,187113	9,35E-08	8,83E-08	1,16E-06	5,76E-08	1,12E-08	0,016839	1,07E-08	0,170273

Propane	0,180273	0,003341	0,001463	0,025794	0,000699	0,000135	0,013384	0,000130	0,135327
Propene (propylene)	0,014394	0,000208	0,000803	0,005393	0,000829	0,000161	0,000627	0,000154	0,006218
Propionaldehyde	0,018522	0,000002	0,017067	0,000012	0,001036	0,000201	0,000001	0,000193	0,000011
Propionic acid (propane acid)	0,000926	0,000024	6,88E-07	0,000177	4,69E-07	9,09E-08	0,000065	8,72E-08	0,000658
Styrene	0,000180	2,83E-07	0,000154	0,000003	0,000009	0,000002	9,12E-07	0,000002	0,000009
Toluene (methyl benzene)	0,071133	0,000301	0,017521	0,002889	0,001187	0,000230	0,004391	0,000221	0,044393
Xylene (dimethyl benzene)	0,155974	0,000465	0,026737	0,007548	0,004184	0,000811	0,010392	0,000779	0,105059
Xylene (meta- Xylene; 1,3- Dimethylbenzene)	0,000764	0,000004	0,000003	0,000046	0,000002	4,04E-07	6,37E-05	3,88E-07	0,000644
Xylene (ortho- Xylene; 1,2- Dimethylbenzene)	0,000066	0,000001	0,000001	0,000018	8,05E-07	1,56E-07	3,99E-06	1,5E-07	0,000040
Hydrocarbons (unspecified)	0,000013	3,91E-07	6,52E-07	0,000004	3,19E-07	6,19E-08	7,18E-07	5,94E-08	0,000007
Methane	0,770297	0,018852	0,011544	0,150343	0,005672	0,001099	0,052362	0,001055	0,529370
Methane (biotic)	0,056905	0,018613	0,000080	0,028462	0,000045	0,000009	0,000872	0,000008	0,008817
Methane, from soil or biomass stock	0,000001	1,26E-07	1,36E-07	0,000001	6,97E-08	1,35E-08	1,54E-10	1,3E-08	0
VOC (unspecified)	0,000737	0,000017	0,000068	0,000484	0,000121	0,000024	8,42E-07	0,000023	0
Urban air close to ground	4,180556	3,724798	0,014438	0,430233	0,008011	0,001553	0,000032	0,001491	0