



IL PIOPPO COME MATERIA PRIMA PER L'EDILIZIA

Studio ed elaborazione degli impatti, dalla
coltura alla produzione, di un pannello di
compensato, con metodologia LCA.

Andrea Deidda



POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento di Architettura e Design

Laurea Magistrale in
Architettura per il Progetto Sostenibile.

a.a. 2017/2018

Il Pioppo come materia prima per l'edilizia.
Studio ed elaborazione degli impatti, dalla coltura alla produzione,
di un pannello di compensato, con metodologia LCA.

Tesi di laurea di Andrea Deidda

Relatore Prof.sa Simonetta Pagliolico
Correlatore Arch. Corrado Carbonaro

INDICE

ABSTRACT

1. INTRODUZIONE	01
2. LEGNO E EDILIZIA	07
2.1 Il materiale legno.....	08
2.2 Prodotti di legno per la realizzazione di edifici all'avanguardia.....	08
2.3 Sistemi costruttivi per la realizzazione di edifici in legno all'avanguardia.....	20
2.4 Analisi del ciclo di vita dei prodotti base legno.....	24
3. IL PIOPPO.....	27
3.1 Il legno di pioppo.....	27
3.2 I cloni.....	30
3.3 La coltivazione.....	33
3.4 Norme tecniche pefc per la gestione sostenibile della pioppicoltura	40
3.5 Aspetti ambientali ed ecologici del pioppo	40
4. IL COMPENSATO	43
4.1 Classificazione dei pannelli di compensato.....	44
4.2 La produzione.....	55
4.3 Gli adesivi	60
5. METODOLOGIA E SOFTWARE	67
5.1 Metodologia LCA.....	67
5.2 Software SimaPro.....	69
6. ANALISI DEL CICLO DI VITA DELLA PIOPPICOLTURA	73
6.1 Materiali e metodi	73
6.2 Risultati e discussione	86
6.3 Analisi di sensibilità	118
6.3 Note conclusive.....	124
7. ANALISI DEL CICLO DI VITA DEL COMPENSATO	129
7.1 Materiali e metodi	129
7.2 Risultati e discussione	136

7.3 Analisi di sensibilità	143
7.4 Note conclusive	146
8. CONCLUSIONI	153
RIFERIMENTI	157

ABSTRACT

Nel settore delle costruzioni è cresciuta l'esigenza di certificare l'eco-sostenibilità degli edifici, tramite protocolli di valutazione che classificano il progetto/l'edificio, dando molta importanza alla sostenibilità dei materiali e dei componenti edilizi.

In Italia sono stati definiti i Criteri Ambientali Minimi (CAM) per le fasi di acquisto e l'affidamento di servizi di progettazione, costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici, che richiedono per quasi tutti i materiali una certificazione ambientale di prodotto.

In Europa l'etichetta di Tipo III, Environmental Product Declaration (EPD), definita dalla ISO 14025, è stata riconosciuta come lo strumento più efficace per la qualificazione ambientale di un prodotto. Recentemente l'impiego del legno ingegnerizzato in architettura è aumentato enormemente, date le qualità ambientali della materia prima legno e le ottime prestazioni fisiche e meccaniche dei componenti: viene ancora ampiamente utilizzato il compensato, nonostante sia un prodotto tradizionale, grazie alle sue caratteristiche di resistenza e leggerezza.

I CAM relativi ai materiali base-legno richiedono la certificazione PEFC o FSC della materia prima legnosa, che garantisca la provenienza da boschi/foreste gestiti in maniera sostenibile, ma non l'EPD del componente. Diversi produttori si sono mossi nella certificazione dei prodotti tramite analisi LCA e dichiarazioni EPD; nessuna di esse tuttavia ha analizzato nel dettaglio il ciclo di vita della coltivazione delle piante da sfogliato.

Il lavoro di tesi ha come obiettivo quello di analizzare il ciclo di vita di un pannello di compensato di pioppo, partendo dalla "culla", l'impianto di arboricoltura, fino al "cancello", il pannello di compensato finito, imballato e pronto per la spedizione. Valutando gli effettivi benefici apportati da materia prima proveniente da colture certificate PEFC, si vogliono individuare i fattori che determinano il maggior impatto nel ciclo produttivo del pannello di compensato sui quali è possibile intervenire per migliorare l'eco-sostenibilità del prodotto.

L'analisi LCA è stata svolta secondo la normativa ISO 14040 con il supporto del software di calcolo SimaPro 8.2.3.0. I dati primari per la coltivazione sono stati forniti dal CREA - Foreste e Legno, Centro di Ricerca di Casale Monferrato (AL), mentre i dati sul compensato dall'azienda E. Vigolungo di Canale (CN).

La ricerca ha portato a poter affermare che per il materiale legno, usato senza l'impiego di adesivi e colle, la certificazione PEFC porta sicuramente a notevoli benefici. Nel caso del legno ingegnerizzato, invece, la certificazione PEFC è irrilevante e i Criteri Ambientali Minimi per il Green Public Procurement dovrebbero essere rivisti o, quantomeno, integrati con la richiesta di EPD.

La grande sfida per riuscire ad abbassare gli impatti relativi ai prodotti ingegnerizzati base-legno è quella di utilizzare adesivi più eco-compatibili, a base vegetale, che impieghino materia prima parzialmente rinnovabile e che abbiano minor impronta di carbonio ed energia incorporata.

1. INTRODUZIONE

Nel 1998 la Commissione Europea inizia a porre il proprio interesse sul problema relativo ai prodotti: data la continua crescita della popolazione mondiale e la conseguente crescita della domanda di prodotti (sempre più innovativi e allo stesso tempo sempre più inquinanti), nella conferenza viene discusso un metodo per dare evidenza a livello sociale e commerciale ai prodotti ecologici di provenienza europea, sviluppando così una “Politica Integrata del Prodotto” (IPP).

Nel 2003 la Commissione Europea esamina i contenuti della conferenza e vuole sottolineare l’approccio IPP come fondamentale per il perseguimento di uno sviluppo sostenibile.

Pubblica quindi la “Politica integrata dei prodotti (IPP), sviluppando il concetto di ciclo di vita ambientale”, partendo così da un importante presupposto: ogni prodotto e servizio ha un impatto ambientale durante tutta la sua vita, a partire dalla produzione, passando per la fase d’uso, per poi terminare con lo smaltimento.

Basando dunque questo strumento sulla considerazione del ciclo di vita, l’IPP vuole incoraggiare le aziende ad adottare pratiche consapevoli e a basso impatto ambientale per la gestione dell’intero ciclo di vita del prodotto.

Con questo documento la Commissione Europea propone agli stati membri di stilare dei piani d’azione nazionali partendo proprio dalla domanda degli enti pubblici.

In Italia, il Ministero dell’Ambiente e della

Tutela del Territorio e del Mare ha elaborato dunque il “Piano d’azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della pubblica amministrazione” (PAN GPP). Il PAN GPP fornisce un quadro generale sul Green Public Procurement, definisce degli obiettivi nazionali, identifica le categorie di beni, servizi e lavori di intervento prioritarie per gli impatti ambientali e i volumi di spesa, su cui definire i ‘Criteri Ambientali Minimi’ (CAM) (COM, 2003).

In particolare nella sezione “Edilizia” abbiamo i “Criteri ambientali minimi per l’affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici”.

Questo documento, aggiornato nel Gennaio 2017, ha come scopo generale quello di regolare con i Criteri Ambientali Minimi gli appalti di nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione degli edifici e la gestione dei cantieri a livello ambientale, economico e sociale.

Quindi la stazione appaltante dovrà prevedere il rispetto dei CAM per ogni fase della progettazione, da quella preliminare a quella esecutiva.

Ogni materiale da costruzione o comunque ogni componente utile al buon funzionamento dell’edificio, dovrà essere reperito da fornitori che ne possono attestare l’effettiva efficienza in termini di impatti ambientali, sempre in un’ottica di ciclo di vita.

Grazie alle comunicazioni della Commissione Europea e al Decreto Ministeriale italiano, siamo arrivati ad accreditare una certa importanza all’analisi del ciclo

di vita di singoli componenti piuttosto che dell'edificio nel suo insieme.

I prodotti da costruzione (e non solo) vengono certificati tramite diversi modelli di certificazione regolati dalla ISO e vengono suddivisi in: certificazioni di *Tipo I (ISO 14024) Environmental Labels*, strumento volontario, derivazione dei sistemi multicriterio e consente al consumatore di riconoscere il rispetto dell'ambiente da parte del prodotto (EU Ecolabel, White Swan Ecological Label); le certificazioni di *Tipo II (ISO 14021)*, standard internazionale che si occupa delle autocertificazioni e regola le modalità di etichettatura, con l'obiettivo generale di fornire informazioni precise, utili e non ingannevoli sull'impatto che il bene può avere sull'ambiente, allo scopo di incoraggiare la domanda e l'offerta di prodotti eco-sostenibili, attraverso una comunicazione verificabile. L'etichettatura avviene su base volontaria (etichettatura per certificare materiale riciclabile o biodegradabile); le certificazioni di *Tipo III (ISO 14025)*, si basa su analisi LCA fornisce un documento tecnico-informativo non selettivo. Rappresentato dalle EPD (Environmental Product Declaration) che hanno lo scopo di descrivere i principi, i requisiti e la struttura della dichiarazione ambientale di Tipo III dei prodotti da costruzione al fine di rendere i mezzi e le modalità di compilazione uniformi, in modo da garantire una facile comprensione dello studio e la comparazione con lavori simili, senza dare nessun tipo di valutazione o so-

glie da rispettare. Prevede il rispetto di un formato nella comunicazione dei dati che faciliti il confronto tra prodotti diversi sono soggette alla verifica di un organismo indipendente [Fig.1.1].

L'EPD viene utilizzato per qualsiasi tipo di prodotto ed è il miglior strumento per riuscire a comparare prodotti analoghi e scegliere quindi quello che più rispetta i requisiti richiesti.

Per riuscire in questo è stato fondamentale definire delle regole di calcolo che devono seguire tutti coloro che intendono preparare un EPD relativo ad uno specifico prodotto: queste regole sono le PCR (Product Category Rules) e costituiscono la base per la verifica da parte terza degli studi LCA sui prodotti e delle relative dichiarazioni (EPD Italia, <http://www.environdec.com/>).

Quasi parallelamente ai pensieri sul ciclo di vita l'attenzione ricade anche sulla definizione e sull'applicazione di principi di una politica sostenibile per la gestione delle foreste.

Alla Conferenza ministeriale paneuropea svoltasi a Helsinki nel 1993 il concetto di gestione sostenibile del patrimonio forestale è stato definito come: "la gestione e l'utilizzazione delle foreste e dei terreni boschivi in modo e ad un'intensità tali da consentire loro di mantenere la biodiversità, la produttività, la capacità di rigenerazione, la vitalità e la capacità di soddisfare, attualmente e in futuro, le funzioni ecologiche, economiche e so-



Figura 1.1 - Logo EPD



Figura 1.2 - Logo FSC



Figura 1.3 - Logo PEFC

ciali pertinenti, a livello locale, nazionale e mondiale, senza causare pregiudizio ad altri ecosistemi” (<http://eur-lex.europa.eu>).

Da questa conferenza l’Unione Europea inizia a guardare le foreste come una grande fonte ecologica, come un ecosistema da salvaguardare in tutto e per tutto, attribuendo loro un valore prettamente ambientale.

Ciò porta a deviare l’approvvigionamento di legname a scopo industriale ed energetico verso gli impianti di arboricoltura da legno.

Questi impianti sono temporanei e sono costituiti da alberi di specie forestali con la finalità sopraindicata, ovvero quella di produrre legno destinato all’industria per la produzione di pannelli da costruzione, cassette e pallet o semplicemente per l’utilizzo di biomassa.

Anche in questo ambito si sono sviluppate diverse certificazioni per la gestione sostenibile delle colture: FSC (Forest Stewardship Council) [Fig. 1.2] e PEFC (Programme for Endorsement of Forest Certificatio) [Fig.1.3] sono tra le più riconosciute certificazioni sia per foreste che per piantagioni ed hanno lo scopo di garantire al consumatore che il prodotto utilizzato sia proveniente da foreste/piantagioni gestite correttamente.

Da questi due principi nasce l’idea di tesi, articolata in modo da rispondere ad un grande quesito: un componente per l’edilizia in legno prodotto a partire da materiale proveniente da modelli colturali sostenibili (come quello del pioppo), se sottoposto ai criteri di certificazione che tutti oggi ricerchiamo nei nostri prodotti, in tutto il suo ciclo di vita, quali impatti può avere sull’ecosistema? Le certificazioni offrono davvero una soluzione all’abbattimento di questi ultimi?

Oggi i prodotti a base di legno stanno assumendo un ruolo fondamentale nell’edilizia sostenibile: inoltre essendo

realizzati a partire da materiali naturali hanno un valore aggiunto dal punto di vista ambientale.

Diventa dunque molto importante valutare l’effettiva sostenibilità e gli impatti dati da tutto il ciclo produttivo, mentre spesso si chiude un occhio su ciò che avviene prima della produzione vera e propria del prodotto finito.

Il pioppo è una specie molto ricercata per la produzione di compensato, e può essere il punto di partenza per la filiera corta dell’industria del legno e del mobile in Italia.

Legato alle nuove direttive sull’ambiente in quanto risulta avere, durante il turno di coltivazione, degli aspetti benefici nei suoi confronti: le piantagioni di pioppo possono avere funzioni di regolazione nel controllo dei fenomeni di piena dei fiumi, prevedono un minimo apporto di fertilizzanti in confronto ad altre colture, hanno una valenza ecologica nei confronti della qualità biologica del suolo e dell’inquinamento delle falde legato all’accumulo di azoto nel terreno, fungono da bio-filtro per i nitrati e fito-rimedio nei siti inquinati, il bilancio di carbonio nel ciclo di vita risulta più che positivo, la produzione di legno fuori foresta riduce la pressione sui boschi naturali.

La pioppicoltura inoltre si adatta agli scenari di global change, con incrementi di produttività in presenza di maggiore concentrazione di CO₂ atmosferica [Castro, 2014].

L’importanza del pioppo in Italia deriva principalmente dal suo impiego a livello industriale in quanto risulta essere una fonte di materia prima legnosa rinnovabile, capace di rispondere alle esigenze dell’industria del legno in brevi tempi grazie ai brevi turni di coltivazione, che stanno intorno ai 10-12 anni.

Questo ha dato un grande contributo all’incremento delle risorse interne e di

conseguenza alla diminuzione delle importazioni di legname grezzo dal resto dell'Europa.

A livello forestale il pioppo ha delle caratteristiche molto apprezzate dai coltivatori: si propaga molto facilmente e si adatta a diversi ambienti, cresce rapidamente (come detto prima i turni di coltivazione vanno dai 10 ai 12 anni), risponde bene alle cure colturali e offre un prodotto legnoso di ottima qualità, che potrebbe essere utilizzato in tutti i campi di trasformazione industriale (Castro, 2014).

Molti sono gli studi in tutto il mondo sulle coltivazioni di pioppo, sulle tecniche e sui prodotti concimanti piuttosto che antiparassitari, sulle quantità di acqua minime da apportare alla coltivazione e sulle risposte ottenute da diversi tipi di cloni studiati.

L'analisi LCA viene già utilizzata soprattutto per gli impianti da biomassa, in quanto, essendo delle colture a breve turno (per biomassa bastano 5 -6 anni) possono essere la fonte principale di approvvigionamento di legname per il futuro. Al contrario non vengono approfondite analisi LCA sugli impianti colturali destinati all'industria del compensato.

Il compensato, nonostante sia un materiale apparentemente datato e già ampiamente studiato, in realtà viene riscoperto soprattutto oggi, con la crescita e la richiesta di costruzioni "a secco", facilmente assemblabili e altrettanto facilmente disassemblabili a fine vita, in grado da garantire il recupero e il riciclo dei componenti edili utilizzati.

Il compensato viene utilizzato principalmente nell'industria dell'arredamento per la composizione di mobili, nell'edilizia come tamponamento o per la costituzione di solai e tramezzi, nella nautica e nell'ambito dell'automotive.

Diverse sono le certificazioni ambientali (EPD) che vengono stilate negli Stati

Uniti ed in Australia dove il compensato è un componente fondamentale nell'edilizia. In questi paesi risulta essere però poco utilizzato il pioppo, che viene inserito in quantità minima nella lavorazione, accoppiato spesso con il Pino derivato da foreste autoctone (Puettmann, 2016).

Inoltre per quanto riguarda le prime citate PCR, se per il calcestruzzo, il laterizio e l'acciaio esistono delle regole ben specifiche che guidano i produttori nella certificazione dei loro specifici manufatti, per i prodotti a base legno non esiste ancora un documento regolamentare; contattando l'ente EPDIItaly risulta che per ora viene assunta a PCR la normativa europea EN 16485 "Regole per la categoria di prodotto per il legno e i prodotti a base di legno per l'impiego nelle costruzioni" e l'ente EPD sta pensando, con il 2018, di riferire ad alcune norme europee come PCR, ma fondamentalmente non esistono delle regole ben chiare e precise per certificare nel modo adeguato qualsiasi prodotto a base legno.

L'obiettivo principale della tesi è dunque quello di studiare interamente il ciclo di vita di un pannello di compensato di pioppo, partendo appunto dalla coltivazione fino alla produzione del prodotto finito, imballato e pronto per la spedizione.

L'importanza dell'analisi sta nel fatto che poche aziende si sono mosse per certificare i propri prodotti a base di legno, nonostante le direttive emesse a livello nazionale ed europeo e che di solito non si tiene in considerazione la fase di coltivazione, facendo riferimento a banche dati europee e mondiali, ma senza dare una valutazione ben precisa.

Con questa analisi si possono fare emergere le effettive difficoltà riscontrate, per quanto riguarda la pioppicoltura

ra, nel reperimento e nell'analisi dei dati relativi ad oltre 10 anni di coltivazione; inoltre, provando ad adottare come linea guida per la coltivazione il documento di certificazione PEFC, paragonare diversi modelli colturali a dimostrazione che la scelta di un buon clone accompagnato da una gestione sostenibile della coltura, può portare alla diminuzione degli impatti ambientali.

Alla luce dei risultati ottenuti e utilizzati come dati di input nella fase successiva, svolgere un'analisi del ciclo di vita di un caso studio, quindi partendo da un caso reale, su un pannello di compensati di pioppo.

Tutto questo studio potrà essere utile non solo ai pioppicoltori, ma alla comunità di produttori di manufatti in legno per la buona riuscita di una certificazione ambientale veritiera e comparabile.

Inoltre lo studio condotto nella tesi si concentra su una filiera a km 0: tutto il materiale, partendo dalla coltivazione, deriva dal nord Italia. Questo è stato possibile grazie alla disponibilità del CREA Centro di Ricerca Foreste e Legno di Casale Monferrato (ex-Istituto sperimentale per la pioppicoltura) che ha fornito i dati diretti relativi alla coltivazione del pioppeto, e dell'azienda E. Vigolungo di Canale (CN), che ha fornito i dati successivi relativi alla produzione di un pannello di compensato di pioppo.

Attraverso la metodologia LCA potremo così verificare quali sono gli effettivi impatti ambientali di uno dei materiali e prodotti che, a livello di studi per quanto riguarda i più innovativi sistemi di costruzione, sta raccogliendo molti consensi: il legno e i suoi prodotti.

2. LEGNO E EDILIZIA

La consapevolezza che la produzione di ogni manufatto può comportare dei seri impatti è stata conquistata dai consumatori, che, ogni giorno, scelgono e cercano prodotti etichettati e certificati, prodotti eco-sostenibili e basso impatto ambientale, ottenuti a partire da materiali rinnovabili, diminuendo l'uso di risorse naturali e abbattendo le emissioni di gas serra.

Questa è una grande sfida per l'umanità che vuole indirizzarsi verso una società sostenibile.

Il settore delle costruzioni risulta essere uno dei settori maggiormente critici.

In Europa, migliori costruzioni e gestione sostenibile degli edifici potrebbero contribuire ad un notevole risparmio delle risorse e ad una diminuzione degli impatti ambientali: il 42% del consumo energetico, il 35% delle emissioni totali di gas serra, il 50% dell'estrazione di materia prima, facendo risparmiare il 30% del consumo di acqua (DG Environment,

2014).

In particolare il settore delle costruzioni risulta essere il maggior consumatore di risorse che, anche se non sempre in modo diretto, causa problemi legati al cambiamento climatico, perdita della biodiversità, desertificazione ed erosione del suolo.

Tra il 2003 ed il 2011 l'Europa ha utilizzato 1200/1800 milioni di tonnellate di materiale da costruzione ogni anno, per nuovi edifici e ristrutturazioni: la frazione più grande riguarda l'aggregato per calcestruzzo, che copre circa il 45%, mentre il legno (maggior frazione biotica) copre l'1,6% [Fig. 2.1] (DG Environment, 2014).

Cercando di rimanere competitivi sul mercato i produttori e gli enti stanno cercando di soddisfare le esigenze dei consumatori, portando i loro prodotti a livelli qualitativi sempre più alti e rispettando le normative e le direttive nazionali e internazionali sempre più rigide.

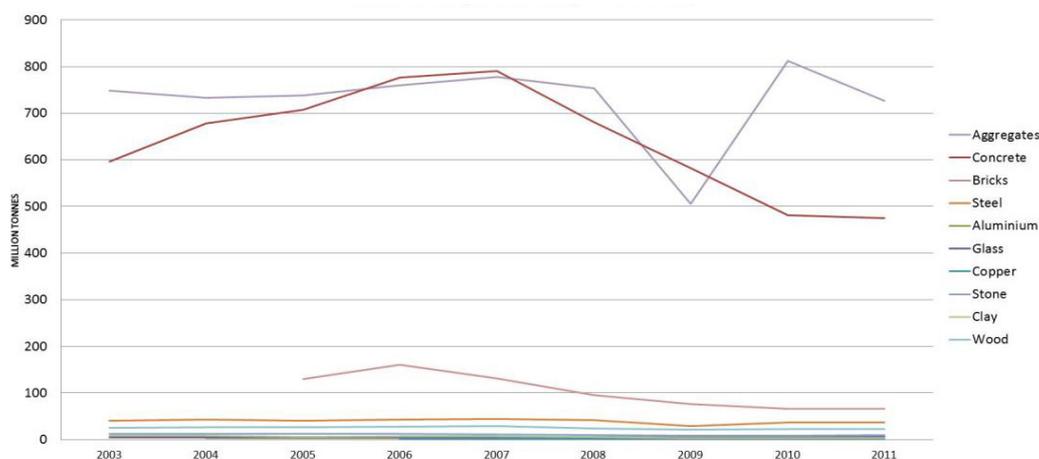


Figura 2.1 - Utilizzo dei materiali da costruzione nell'EU27 (milioni di tonnellate)
CRI Calculation

L'industria dei prodotti in legno non è esente da queste pressioni. Principalmente pressioni di tipo ambientale, dal momento che le risorse forestali sono in pericolo a causa dei continui abbattimenti per ricavare legno da biomassa, della produzione di manufatti, e della ricerca di nuovi spazi adibiti a coltura e pascolo (Puettmann *et al.*, 2006).

Informazioni distorte, talvolta divulgate da associazioni ambientaliste, indicano i manufatti a base legno come principale causa di deforestazione.

Il legno è invece un materiale rinnovabile che, al contrario degli altri materiali da costruzione, non viene prodotto per mano dell'uomo ma attraverso processi naturali.

Durante la produzione di manufatti in legno vi è un'ottimizzazione degli scarti (che possono essere destinati a biomassa o alla produzione di elementi non di pregio come ad esempio i pallet).

Le foreste inoltre vengono gestite in modo sempre più sostenibile oppure vengono predisposti impianti creati esclusivamente per l'approvvigionamento della materia prima, che verranno gestiti in tempi diversi in base alle esigenze.

2.1 IL MATERIALE LEGNO

Nel campo dell'edilizia il legno risulta essere un'ottima alternativa ai materiali da costruzione tradizionali quali il calcestruzzo ed il laterizio in cui, oltre all'utilizzo di materia prima non rinnovabile, il processo produttivo comporta un grosso dispendio di energia.

Il legno infatti è una materia prima rinnovabile ed ha moltissimi pregi: ha ottime caratteristiche acustiche, termiche (che permettono di risparmiare in termini energetici), buone caratteristiche meccaniche che vengono oggi migliorate tramite la composizioni di pannelli e travi

in legno ingegnerizzato.

È un materiale sano: di per se non rilascia in ambiente sostanze nocive, equilibra l'umidità dell'aria, alla vista e all'olfatto risulta essere rilassante e piacevole.

Grazie alle nuove tecniche costruttive prefabbricate il legno si presta bene per la creazione di pareti portanti assemblabili facilmente a secco, risparmiando tempo e costi legati al cantiere; in ugual modo, in fase di fine vita, vi è la possibilità di disassemblarlo completamente e prevederne il totale riutilizzo in altre costruzioni.

I difetti più grandi del legno e dei prodotti a base legno sono legati alla sua biodegradabilità: essendo un materiale naturale può essere soggetto ad attacchi da parte di muffe, funghi e parassiti e quindi necessita di una buona e costante manutenzione; per la creazione di pannelli ingegnerizzati è necessario l'utilizzo di adesivi, resine e prodotti chimici per la protezione che, oltre ad aumentare l'impatto ambientale in fase di produzione, non permette a fine vita di inviare il componente alla termovalorizzazione ed in fase di utilizzo rilasciano in ambiente i VOC (Composti Organici Volatili) a causa dell'utilizzo di formaldeide (uno dei principali componenti degli adesivi), che possono causare danni alla salute degli utilizzatori.

2.2 PRODOTTI DI LEGNO PER LA REALIZZAZIONE DI EDIFICI ALL'AVANGUARDIA

La diffusione di altri materiali, la difficoltà di reperire la materia prima e la competitività sul mercato, soprattutto in Italia, hanno portato alla riduzione dell'applicazione del legno in edilizia, con il conseguente affermarsi di differenti tecnologie costruttive (prevalentemente in calcestruzzo e laterizio). Con il passare del tempo la ricerca e la sperimenta-

zione hanno messo a punto prodotti in grado di soddisfare requisiti progettuali fino ad ora irraggiungibili: inoltre, come già citato precedentemente, la questione ambientale porta la ricerca verso la sostenibilità dei nuove strutture e dell'involucro edilizio volto al risparmio energetico: ciò ha fornito un potente impulso all'utilizzo del legno come materiale sostenibile. Il progresso tecnologico nei processi produttivi, il miglioramento dei sistemi di trasporto, l'ingresso di nuovi prodotti in legno sul mercato. Esaltando le sue caratteristiche quindi troviamo oggi sul mercato un'ampia gamma di nuovi prodotti che garantiscono possibilità espressive in tutti i campi dell'architettura (Ferrante, 2008).

Di seguito una piccola classificazione dei prodotti in legno più innovativi o che comunque ricoprono una certa importanza nell'innovazione tecnologica delle costruzioni in legno.

Compensato.

Il compensato è il più utilizzato e antico prodotto in legno ingegnerizzato.

È costituito da sfogliati o piallacci di legno, che vanno a formare con l'ausilio di adesivi, il pannello finale.

I fogli vengono incollati a strati alterni, l'uni perpendicolare all'altro, in modo da "compensare" le forze in entrambe le direzioni: da qui deriva il nome di compensato.

Gli strati possono essere di numero variabile (sempre dispari), come gli spessori, dettando la resistenza meccanica del pannello.

La produzione del compensato parte dalla scortecciatura dei tronchi, che vengono tramite sfogliatrice vengono risotti in fogli.

Passando dall'essiccatore si diminuisce l'umidità tra fino ad arrivare al 10% circa: selezionati gli sfogliati che qualitativamente staranno all'esterno, quindi con l'aspetto migliore della faccia, si passa alla composizione del pannello, dove a strati alterni viene steso stramite rulli uno strato di adesivo.

Per fare in modo che la presa tra i due elementi avvenga, con la polimerizzazione della resina, si passa alla pressatura. Infine il pannello viene squadrate, levigato ed imballato, proto per la messa in opera.

In commercio esistono diversi tipi di pannelli in compensato, per ogni tipo di utilizzo ed esigenza strutturale ed estetica.

Le differenze si possono riscontrare nel legno utilizzato: i più comuni per la composizione sono il pino, il pioppo, il cedro, l'abete, l'abete rosso e il pino. Per ottenere una qualità delle facce migliore spesso vengono utilizzati sfogliati derivati da legni pregiati e tropicali, come l'acero, la betulla o il castagno.

In base i differenti utilizzi possiamo trovare il compensato classico (per interni o per esterni), il compensato marino (resistente all'acqua), il compensato rivestito con diversi materiali e resine, il compensato curvato o flessibile.

Le applicazioni sono molteplici: viene utilizzato in architettura come rivestimento per pareti, nell'industria dell'arredamento, nell'automotive e nella nautica.

Scheda esemplificativa del prodotto

Denominazione	Compensato
Descrizione	<p>La struttura del compensato è caratterizzata dall'impiego di sfogliati dello stesso spessore con le fibre disposte in modo ortogonale. Il numero di strati è dispari per mantenere una struttura simmetrica.</p> <p>Il modo più comune per produrre compensato è la sfogliatura: i fogli vengono giuntati con strati di colla e pressati per garantirne la presa.</p>
Dimensioni	lunghezza da 1200 a 5000 mm larghezza da 1220 a 3000 mm Spessore da 4 a 50 mm
Installazione e connessioni	Viti, piatti, giunti di vario tipo
Manutenzione	Dipende dal legno che viene utilizzato per la sua composizione e dall'utilizzo (per esterni, interni, ambienti umidi).
Applicazioni ed usi	Rivestimento di costruzioni leggere (sistemi intelaiati), rinforzo dei collegamenti, supporto per pavimentazioni e pareti divisorie, mobili e arredamento, composizione di aste composte/assemblate (prevalentemente con sezione a I).



Figura 2.2 - House Morran - Johannes Norlander Arkitektur, Svezia, 2010



Figura 2.3 - Plywood Cube Pendant Lamp by Massow Design, Londra

X-Lam.

I pannelli di compensato strutturale X-Lam (Cross Laminated Timber o Cross-Lam), sono una creazione relativamente recente.

Il pannello viene creato in modo molto simile al compensato classico: la differenza sta nel l'utilizzo di assi invece che di sfogliati.

Questo materiale da costruzione ha una notevole resistenza fisica e meccanica: da questo punto di vista molto importante risulta la scelta della materia prima. Le specie arboree più utilizzate sono le conifere, l'abete rosso, l'abete, il pino, il larice e la douglasia.

Per la produzione del componente il tronco viene tagliato in quattro parti, da cui vengono ricavati gli assi per la composizione del "foglio": prima delle lavorazioni gli assi devono necessariamente passare all'essiccatore per abbassare il grado di umidità.

Gli assi vengono successivamente assemblati tramite giunti a dita tra loro tramite l'utilizzo di appositi adesivi per l'ottenimento delle talove: questa procedura deve essere attenta e accurata, in quanto può compromettere la resistenza del prodotto.

Succeddicamente le tavole vengono levigate e devono essere lasciate essiccare per fare in modo che il legno raggiunga la giusta umidità per non causare problemi durante la fase di composizione ed incollaggio.

La composizione del pannello prevede l'assemblaggio delle tavole con strati dispari paralleli tra loro: questo, come per il compensato, per fare in modo da "compensare" le forze in entrambe le direzioni. Il numero minimo di strati da utilizzare per garantire la resistenza necessaria ad un prodotto strutturale è di 5: esistono comunque pannelli da tre strati, con minore resistenza, che vengono

spesso utilizzati per i tramezzi interni o per strutture semplici.

Questo sistema costruttivo a dei limiti legati principalmente al trasporto degli elementi in cantiere, date le grandi dimensioni. In realtà essendo un elemento prefabbricato permette di risparmiare costi e tempi di cantiere.

Scheda esemplificativa del prodotto

Denominazione	X-Lam, Cross Laminated Timber, Cross Lam
Descrizione	Nasce circa 15 anni fa in Germania, il materiale di base è costituito da tavole allo stato grezzo, ricavate dalle porzioni esterne del tronco e possiede proprietà in termini di resistenza e rigidità. La struttura tipica è costituita da strati di tavole o pannelli monostrato sovrapposti, orientati alternativamente a 90°.
Dimensioni	lunghezza da 10 a 15 m larghezza da 1 a 5 m Spessore da 60 a 320 mm
Installazione e connessioni	Viti, piatti, giunti di vario tipo
Manutenzione	Dipende dal legno che viene utilizzato per la sua composizione e dai materiali di rivestimento.
Applicazioni ed usi	Pareti esterne ed interne, elementi per coperture e solai, scale e balconi e ancora elementi portanti di tipo lineare come travi e pilastri.



Figura 2.4 - Struttura in pannelli di compensato strutturale X-Lam



Figura 2.5 - Salisbury Street townhouses - Warren and Mahoney, Nuova Zelanda, 2015

Laminated Veener Lumber (LVL).

L'LVL è un prodotto in legno ingegnerizzato composto da fogli derivati da legno massiccio, riassemblati tra loro tramite l'utilizzo di specifiche colle: questo permette di ottenere una maggiore resistenza meccanica.

Brevettato negli Stati Uniti, in Europa è più conosciuto con il nome di Kerto, brevetto finlandese.

Le specie legnose utilizzate per questo componente possono essere molteplici: l'abete rosso, il pino, il larice, l'eucalipto, il pioppo, il noce, il faggio e la betulla.

Come per i tutti i prodotti in legno strutturali la scelta della materia prima risulta essere fondamentale per il rispetto di determinate caratteristiche meccaniche.

La fase di produzione parte dalla riduzione del legno massiccio in fogli di 2-4 mm, che vengono sottoposti ad appropriati controlli di qualità per l'eliminazione dei difetti.

Successivamente all'essiccazione i fogli vengono disposti in modo longitudinale e parallele tra loro, pronte per l'incollaggio: una parte di esse, ad intervalli regolari, viene incrociata, creando degli strati paralleli.

Infine si passa alla pressatura, dove le colle utilizzate, principalmente fenoliche, polimerizzano e si insinuano nelle porosità del legno, creando un legame forte e resistente.

Le tavole composte vengono così levigate per eliminare le impurità e squadrate in base alle richieste del mercato.

Con l'LVL si possono creare sia elementi lineari, come travi e pilastri, che pannelli strutturali.

Inoltre si possono comporre prodotti misti: l'I-Joist ne è un esempio. Consiste nella creazione di travi a doppia "T" con l'anima in OSB e le ali in LVL.

Scheda esemplificativa del prodotto

Denominazione	Laminated Veener Lumber (LVL)
Descrizione	Come struttura è molto simile ai pannelli di compensato tradizionale, con fogli di legno incollati tra loro. La resistenza in generale è molto più alta: per questo viene utilizzato per strutture portanti.
Dimensioni	lunghezza oltre i 20 m in base all'esigenza larghezza da 1800 a 2500 mm Spessore da 20 a 80 mm
Installazione e connessioni	Viti, piatti, giunti di vario tipo
Manutenzione	Per lunghe esposizioni in spazi esterni sono applicati prodotti protettivi, per tutelare il legno, materiale biodegradabile.
Applicazioni ed usi	Travetti, costruzioni a telaio in legno, architravi, utilizzati principalmente per costruzioni in cui vengono richieste grandi luci a sbalzo.



Figura 2.6 - Candlebark School Library - Paul Haar Architect, Victoria, 2012

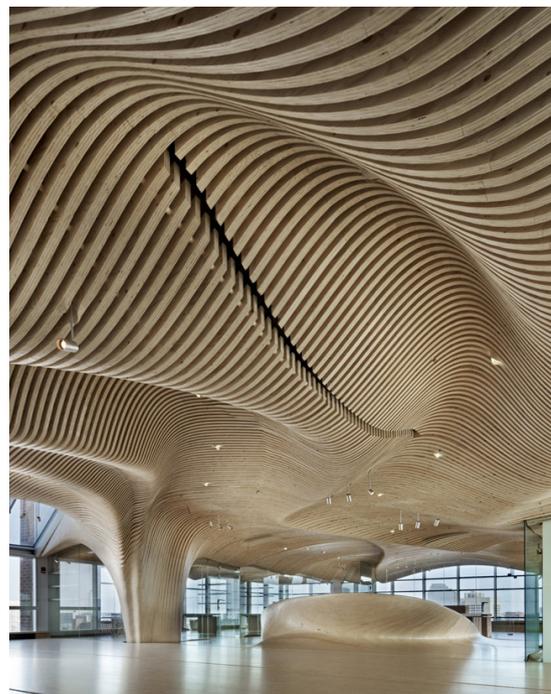


Figura 2.7 -One Main - dECOi architects, Massachusetts, 2003

Oriented Strand Board (OSB).

L'OSB è un prodotto in legno ingegnerizzato formato principalmente da tre strati di scaglie di legno, incollate e pressate tra loro.

Le scaglie vengono ricavate da legno massiccio di scarso valore, trucioli o da legno vecchio riciclato: principalmente gli esemplari utilizzati sono le conifere, tra cui il pino proveniente anche dalla ripulitura delle foreste.

Le scaglie vengono selezionate ed essicate, in modo da controllarne l'umidità. Il pannello viene composto e sulle scaglie viene spruzzato l'adesivo, in modo da ottenere una maggiore omogeneità: il pannello passa così da una pressa che permette la polimerizzazione dell'adesivo e la conseguente unione delle scaglie. L'orientamento delle scaglie è differente per ogni strato: gli strati esterni hanno scaglie ben disposte ed orientate parallelamente alla direzione di produzione, mentre lo strato interno ha le scaglie orientate a "random" o perpendicolari a quelle esterne.

Le caratteristiche dell'OSB sono molto buone, sia meccaniche, che fisiche: infatti è un buon isolante termico e acustico.

Per questo l'OSB risulta particolarmente adatto alla funzione di supporto per pavimentazioni, soffitti, rivestimenti di pareti e tetti.

Vi sono diversi tipi di pannelli in commercio in base alle caratteristiche richieste. Secondo la norma EN 300:1997 possiamo suddividere in quattro famiglie i pannelli: OSB/1 per impieghi generici e per l'arredamento interno, OSB/2 adatti ad impieghi strutturali in ambiente asciutto, OSB/3 adatti ad impieghi strutturali in ambiente umido, OSB/4 pannelli con elevata resistenza meccanica utiliz-

zabili in ambiente umido.

Oltre al suo utilizzo singolo l'OSB viene largamente utilizzato anche per la creazione di prodotti diversi da tavole: viene impiegato ad esempio nell'I-Joist come anima o per la composizione dei blocchi Xylevo, mattoni in OSB prefabbricati e assemblabili facilmente e velocemente.

Scheda esemplificativa del prodotto

Denominazione	Oriented Strand Board (OSB)
Descrizione	Pannello di legno a tre strati a struttura simmetrica composto da trucioli (strand). La produzione di OSB in Europa viene realizzata con tondame a basso costo (principalmente di conifere), che viene sminuzzato ottenendo i trucioli; dopo l'essiccazione vengono spalmati di colla, formati in strati e pressati.
Dimensioni	lunghezza da 500 a 2500 mm larghezza da 600 a 3000 mm Spessore da 8 a 50 mm
Installazione e connessioni	Viti, piatti, giunti di vario tipo
Manutenzione	Come materiale risulta essere molto resistente, dato dall'alto contenuto di adesivo.
Applicazioni ed usi	Rivestimento di costruzioni leggere (sistemi intelaiati) supporto per pavimentazioni, soffittature, rivestimenti, tetti, recinzioni, pallet e imballaggi industriali, arredamento, casseri da calcestruzzo.



Figura 2.8 - Mison Familiare - Archi7, Svizzera, 2011-2012



Figura 2.9 - Viewpoint Sint Jans klooster - Zecc Architecten, Olanda, 2014

Laminated Strand Lumber (LSL).

È prodotto da strisce di piallacci di legno derivati principalmente dal riciclaggio del pioppo.

La composizione del pannello è simile a tutte le produzioni di componenti in cui la materia prima viene ridotta a strisce o scaglie: esse vengono messe insieme e disposte parallelamente al senso del pannello con degli strati ad orientamento parallelo.

Viene così aggiunto l'adesivo: tramite pressatura polimerizza dando così forza ed unione alle scaglie, formando il componente finale.

Viene utilizzato principalmente per la creazione di componenti lineari come pilastri o per la creazione di pannelli di tamponamento.

Nel componente vi è un altissimo contenuto di colla, che purtroppo alza moltissimo gli impatti ambientali (Firrone, 2010).

Scheda esemplificativa del prodotto

Denominazione	Laminated Strend Lumber (LSL), Intrallam
Descrizione	Molto simile all'OSB anche nella composizione, è un prodotto ottenuto da trucioli di legno orientati e uniti tra loro da colle resinose.
Dimensioni	lunghezza oltre i 10 m in base all'esigenza larghezza oltre i 2 000 mm Spessore da 20 a 80 mm
Installazione e connessioni	Viti, piatti, giunti di vario tipo
Manutenzione	Le resine utilizzate sono molto resistenti all'acqua.
Applicazioni ed usi	Travi e travetti per solai, pilastri, pannelli per pareti e solai.



Figura 2.10 - Struttura a telaio in LSL



Figura 2.11 - Pedate in LSL con supporto di acciaio

2.3 SISTEMI COSTRUTTIVI PER LA REALIZZAZIONE DI EDIFICI IN LEGNO ALL'AVANGUARDIA

Grazie ai nuovi prodotti a base legno oggi presenti sul mercato si sono potute intraprendere nuove strade anche nell'ambito delle tecnologie e dei sistemi costruttivi.

Come precedentemente detto l'utilizzo di prodotti ingegnerizzati in legno ci consente di creare elementi prefabbricati che possono abbattere i tempi e i costi di costruzione e che permettono il totale recupero in fase di smaltimento.

Di seguito alcuni tra i più innovativi e conosciuti sistemi costruttivi.

Sistema costruttivo in pannelli portanti di compensato strutturale X-Lam.

L'avvento dell'XLAM ha radicalmente modificato il modo di pensare le strutture in legno: la realizzazione di superfici strutturali di grandi dimensioni, come

con materiali utilizzati ormai da tempo quali il calcestruzzo, è possibile così anche con il legno.

I pannelli XLAM permettono di realizzare elementi strutturali di legno massiccio piani, che formano la struttura dell'edificio componendo pareti (funzione strutturale di lastra) e solette (funzione strutturale di piastra), collegate fra loro con connessioni semplici e facilmente realizzabili. Le strutture in X-Lam si portano dietro i vantaggi derivanti dall'uso del legno: primo fra tutti la prefabbricazione di pareti e di solette, che permettono l'assemblaggio della struttura in modo veloce e preciso riducendo così i tempi di costruzione e rendendo il processo progettuale e costruttivo più efficace sotto tutti i punti di vista (Bernasconi, 2010).

Le aperture sono ottenute tramite estrusione della parte formante la stessa e non richiede l'introduzione di un elemento strutturale supplementare di rinforzo. La costruzione può essere vista come una struttura tridimensionale monolitica,



Figura 2.12 - Platea di fondazione X Lam



Figura 2.13 - Connessione tra pareti e solaio composti da pannelli in X-Lam.



Figura 2.14 - e 3 - Kaden Klingbeil Architekten, X-Lam House, Berlino, 2008

con caratteristiche di continuità sia dal punto di vista del materiale che delle sollecitazioni.

Le strutture in X-Lam sono un'ottima soluzione in caso di sisma.

Si possono comporre con questo sistema costruttivo edifici abitativi multipiano, edifici pubblici, scuole. (Bernasconi, 2010)

Sistema costruttivo Xylevo.

Questo innovativo e particolare sistema costruttivo è brevettato in Piemonte, dall'azienda Nordtex di Bagnolo Piemonte (CN).

Xylevo è un sistema a secco modulare caratterizzato da blocchi di legno, principalmente OSB, che vengono sagomati in modo tale da poter essere assemblati ed incastrati tra loro.

Possono essere assemblati a partire da piastre di fondazione, reticoli di travi continue di nuova costruzione o solai esistenti.

I blocchi vengono preparati in modo da

evitare qualsiasi tipo di errore in cantiere: sono muniti di codici alfanumerici e vengono sagomati affinché possano avere una sola ed unica posizione nell'intera griglia strutturale del manufatto.

I moduli sono di differenti dimensioni in base alla posizione e vengono supportati da montanti verticali posti all'intersezione tra pareti, negli angoli ed in corrispondenza delle aperture.

Fanno parte del sistema anche pezzi speciali come cordoli in legno lamellare per la base della parete o elementi realizzati su misura come travi, timpani, pareti diagonali, balconi, ecc (<http://www.xylevo.com>).

Gli elementi vengono connessi tramite piastre metalliche, nastri forati, hold down, viti piatte e filettate.

Gli interstizi dei moduli ospitano un isolante granulato sfuso.

Si possono trovare blocchi di diversa lunghezza e dimensione che vengono posizionati in modo da formare una parete portante.

Dal punto di vista statico, il modulo in



Figura 2.15 - Blocco Xylevo



Figura 2.17 - Connessione alla fondazione



Figura 2.16 - Preparazione cantiere



Figura 2.18 - Isolamento interno

OSB, dotato di incastri, porta sia i carichi verticali che quelli orizzontali: per assorbire eventuali azioni di trazione causate da ribaltamenti di caso di eventi sismici, vengono posti alle estremità delle pareti e in corrispondenza delle aperture elementi in legno lamellare di conifera (<http://www.xylevo.com>).

Inoltre con questo sistema costruttivo consente si possono raggiungere le migliori classi energetiche scegliendo il materiale isolante idoneo in base ai progetti. Oltre che all'isolamento inerito negli interstizi è previsto un isolamento a cappotto di differenti materiali in base alle esigenze (consigliato dal produttore il pannello rigido in fibra di legno). Esternamente la parete può assumere gli aspetti più svariati: dalla rasatura con intonaco all'applicazione di doghe in legno, mentre all'interno viene normalmente realizzata una controparete come cavedio per gli impianti elettrici e idrosanitari, chiusa da lastre in gessofibra. I vantaggi di questo sistema stanno nella completa prefabbricazione degli ele-

menti, riducendo sensibilmente la durata della fase di realizzazione: essendo un sistema completamente a secco non sono previste attese per quanto riguarda l'asciugatura di murature e massetti; la maneggevolezza dei moduli si rapporta con una grande facilità di posa.

Si può realizzare qualsiasi tipologia edilizia, da residenze a fabbricati destinati al terziario, adatto alle ristrutturazioni e alle sopraelevazioni (<http://www.xylevo.com>).

Sistema costruttivo Wikihouse.

Wikihouse è un progetto sviluppato dalla collaborazione tra architetti, designer, ingegneri, produttori e costruttori che cercano un modo alternativo, più semplice, sostenibile e ad alte prestazioni per realizzare i nostri edifici.

Le costruzioni si basano sull'idea di digitalizzare il taglio e la creazione di tutti gli elementi.

Il prodotto di base è il compensato strutturale (o a volte il cartongesso), che vie-

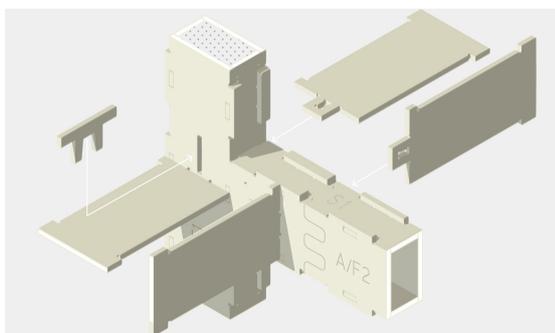


Figura 2.19 - Connessione WikiHouse



Figura 2.21 - CNC, taglio del compensato



Figura 2.20 - Connessione WikiHouse



Figura 2.22 - Wikihouse 4.0, Londra, 2014

ne tagliato tramite macchinari a controllo numerico per creare la struttura, che viene così ad assomigliare ad un puzzle: ogni componente ha una sezione ben precisa, che ne permette l'incastro con tutti gli altri componenti accostati.

I tamponamenti vengono inseriti successivamente con lo stesso procedimento; vi è la possibilità di inserire pannelli rigidi per l'isolamento termo-acustico e gli impianti quali scarichi, rete elettrica etc.

Questo sistema costruttivo non richiede l'utilizzo di materiale supplementare come giunti, chiodi o travi in acciaio.

Le strutture possono essere assemblate in breve tempo senza il supporto di una ditta costruttrice: infatti, come detto dall'associazione, lo scopo principale è quello di permettere a chiunque di potersi costruire la propria casa da solo.

Nonostante non esistano ancora sistemi Wikihouse abitati, esistono diversi prototipi e rifugi, basati più o meno sullo stesso modulo, come ad esempio rifugi per camminatori, le potenzialità di questo nuovo sistema costruttivo sono

enormi, sia per i Paesi sviluppati che per i Paesi in via di sviluppo, che potrebbero con il supporto delle macchine a controllo numerico, pensare e costruire le loro abitazioni a basso costo (<https://wikihouse.cc/>).

Suteki Wood System.

Suteki Wood System è una tecnologia giapponese: consiste nel montaggio con elementi ad incastro puntuali riducendo drasticamente i tempi e la difficoltà di posa (<http://www.suteki-europe.be/suteki-wood-system/>).

Il sistema è realizzato in base alla progettazione di elementi prefabbricati: la struttura in legno lamellare viene collegata con connettori metallici rinforzati al carbonio.

Non sono presenti viti e bulloni, tutto su basa su sistemi ad incastro certificati e brevettati, che garantiscono una forte antisismicità.

La struttura alla vista è una normale struttura a telaio, che viene poi dotata di



Figura 2.23 - Elementi costruttivi Suteki



Figura 2.25 - Connessione trave-pilastro Suteki

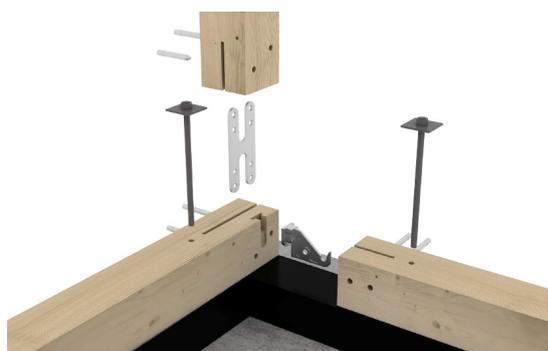


Figura 2.24 - Ancoraggio a terra



Figura 2.26 - Suteki Home, USA, Kengo Kuma

tamponamenti, isolamento e solai. I tamponamenti possono essere scelti ad hoc per tutte le esigenze in ambito energetico e, come in ogni struttura a telaio, sono possibili tutte le soluzioni: cappotto, facciata ventilata, isolamenti in intercapedine.

2.4 ANALISI DEL CICLO DI VITA DEI PRODOTTI BASE LEGNO

Capire, e di conseguenza migliorare, i profili ambientali dei materiali utilizzati nel settore delle costruzioni risulta quindi essenziale per ridurre l'impatto ambientale derivato dal costruito.

La valutazione del ciclo di vita (LCA) è un approccio che negli ultimi anni è andato sempre più affermandosi, utile a valutare accuratamente gli impatti ambientali associati alla produzione di un manufatto già in fase di concezione e progettazione, dall'estrazione delle risorse fino allo smaltimento o al riuso finale.

L'approccio al ciclo di vita diventa fondamentale a livello europeo in tutti gli ambiti in cui è richiesta una certificazione di sostenibilità: è centrale nel Piano per la Produzione e il Consumo Sostenibile (COM 397, 2008), nella Direttiva Ecodesign (EuP 2005/32/CE), in quella sui rifiuti (COM 666, 2005), nell'ETAP (Environmental Technologies Action Plan) (COM38, 2004) e anche nel regolamento REACH (1907/2006) (Cappellaro, 2011).

Molti sono gli studi effettuati per la valutazione degli impatti ambientali di prodotti base-legno quali, ad esempio, rivestimenti, serramenti, componenti per arredo, pannelli per edilizia.

Le differenze che si possono riscontrare tra uno studio e l'altro riguardano principalmente i confini del sistema e i dati che vengono considerati e raccolti per completare l'inventario.

I confini del sistema, nella gran parte dei

casi, partono dalla fase di abbattimento dell'albero in foresta o in piantagione e terminano all'uscita dal "cancello" dell'impianto di produzione, prima della distribuzione. L'albero tagliato viene pulito e trasportato nell'azienda produttrice del manufatto e qui trasformato in semilavorato e prodotto finale.

Pochi studi allargano i confini dell'analisi alla "culla", cioè alla piantagione, sebbene le diverse fasi di coltura richiedano l'intervento dell'uomo, di macchinari e di sostanze per la fertilizzazione e per i trattamenti fitosanitari.

I dati relativi alle produzioni aziendali sono numerosi e facilmente reperibili: i dati maggiormente trovati arrivano da Australia e Stati Uniti, molti meno in Europa, nonostante in Italia diverse aziende abbiano già ottenuto le dichiarazioni ambientali di prodotto.

Al contrario dati sulle coltivazioni scarseggiano. Molte sono le analisi effettuate su impianti arborei coltivati a scopo alimentare (come ad esempio nel caso della coltivazione di palme, per il crescente interesse a livello mondiale verso l'olio di palma) e su impianti da biomassa, soprattutto pioppo e salice, specie adatte ad impianti a turno breve, a dimostrazione che questi impianti da produzione di biomassa riducono gli impatti del 30-40% (Becenetti *et al.*, 2016).

Sono pressochè inesistenti le analisi effettuate sulle coltivazioni create appositamente per l'approvvigionamento di materiali da costruzione.

Per poter effettivamente dimostrare quale sia l'impatto ambientale di un prodotto edilizio base-legno è necessario considerare: una parte molto rilevante del suo ciclo di vita: la piantagione.

Il CORRIM (Consortium for Research on Renewable Industrial Materials), centro di ricerca americano, già dal 1998 ha focalizzato la ricerca sulla creazione di database e sulla definizione di linee gui-

da per l'analisi dei pannelli e manufatti a base di legno a partire dalla piantagione finendo alla dismissione del componente a fine vita.

Nel 2010 viene divulgato un documento (Research Guideline for Life Cycle Inventories) sugli standard e le metodologie armonizzate (PCR, Product Core Rules) per l'analisi del ciclo di vita di pannelli base-legno.

Il documento si pone tre obiettivi (Briggs, 2010): raccogliere dati ambientali ed economici per tutte le fasi del ciclo di vita della piantagione, considerando energia, macchinari e sostanze utilizzate per la crescita della materia prima, fino ad arrivare alla progettazione, assemblaggio e demolizione dell'edificio garantire l'affidabilità dei dati e strutturare una procedura di raccolta univoca; creare nuove procedure per la corretta integrazione dei risultati relativi ad ogni fase del ciclo di vita, in modo da ottenere una giusta analisi della prestazione ambientale di prodotto.

Questo studio mette inoltre in evidenza le gradi problematiche e difficoltà che si possono avere nell'esaminare una piantagione o una foresta con turni molto lunghi. La complessità dell'analisi infatti deriva da vari fattori quali: il lungo periodo di coltivazione, le raccolte e le potature intermedie che possono essere destinate alla produzione, la più ampia gamma di prodotti che possono derivare da un singolo albero, l'immenso numero di co-prodotti (ad esempio le bacche) e degli effetti di impatto ambientale della piantagione (acqua, fauna, bio-sottrazione di carbonio).

Per tutti questi motivi è molto difficile e impegnativa in termini di tempo la raccolta e l'organizzazione di tutti i dati relativi a coltivazioni della durata di almeno 10-15 anni (Bowyer et al., 2005).

Il pioppo potrebbe essere in Europa e nel resto del mondo un'ottima alternativa allo sfruttamento delle foreste, oggi gelosamente tutelate e considerate primaria fonte di vita e biodiversità.

La diffusione del pioppo nei diversi Paesi del Mondo rappresenta circa il 2% della superficie forestale mondiale, dimostrando di essere una specie notevolmente adattabile alle diverse condizioni ambientali che caratterizzano tutte le zone del nostro pianeta.

Le piantagioni di pioppo sono particolarmente diffuse in Asia, con la Cina che detiene il primato mondiale per ha coltivati a pioppo. In India ad esempio, il pioppo viene utilizzato principalmente per migliorare lo status degli agricoltori e per la produzione legnosa, oppure come funzioni lineari consociate con altre colture, siepi frangivento e boschetti nei sistemi agroforestali e non necessariamente destinati alla produzione di legno (Chandra, 2001; Coaloa, 2007).

Le destinazioni d'uso del legno di pioppo sono le più svariate: pasta di legno, pallets, cassette da imballaggio e compensati.

La produzione di fiammiferi si limita all'India, Federazione Russa, Cile e Brasile. In altri Paesi europei, asiatici e del Sud America il pioppo è caratterizzato da usi secondari: in Paesi come Cina, Finlandia e Turchia il pioppo viene impiegato in componenti per l'edilizia. Le fonti di approvvigionamento del legno cambiano rapidamente: se oggi la domanda è soddisfatta dalle piantagioni per circa il 35%, nei prossimi 50 anni arriverà al 50-75% (Coaloa, 2007).

Entro il 2050 si pensa che ci sarà la riduzione degli approvvigionamenti da foreste primarie lasciando così che il legno proveniente da piantagioni specializzate a rapido (come la pioppicoltura) preda piede, comprendo il 50% del fabbisogno totale (Coaloa, 2007).



3. IL PIOPPO

Il pioppo è una specie caratteristica delle zone di fascia temperata dell'emisfero boreale e si estende sin quasi al circolo polare artico; si colloca principalmente in presenza di corsi d'acqua, di depositi terrosi formatisi dopo le frane e lungo le scarpate di sponda; questo in quanto il pioppo necessita di abbondante rifornimento idrico.

Infatti la specie in questione ha bisogno per la sua buona crescita principalmente di ottima esposizione alla radiazione solare (pianta eliofila) e di un suolo ricco di acqua (pianta igrofila) e ben drenato. Per questi motivi i pioppi prediligono le sponde dei fiumi o i terreni agricoli, come le zone della Pianura Padana, che in Italia risultano essere tra le più favorevoli per la loro coltivazione.

Il genere *Populus* appartiene alla famiglia delle *Salicaceae* e, all'interno del genere, vengono riconosciute 29 specie suddivise in base a 6 sezioni:

- Aigeiros (*Populus nigra*, *Populus deltoides*, *Populus x canadensis*)
- Populus (*Populus Alba*, *Populus tremula*, *Populus tremuloides*, *Populus grandidentata*)
- Tacamahaca (*Populus trichocarpa*, *Populus balsamifera*, *Populus suaveolens*, *Populus yunnanensis*, *Populus ciliata*, *Populus x generosa*)
- Turanga
- Leucoides
- Abaso

I più noti per quanto riguarda la pioppi-coltura specializzata derivano dalle prime tre famiglie o da ibridi di sezioni di-

verse (Picco *et al.* 2007).

3.1 IL LEGNO DI PIOPPO

Caratteristiche macroscopiche.

A livello macroscopico il legno del pioppo si presenta, in sezione trasversale [Fig. 3.1], caratterizzato da un ampio alborno, di colore biancastro e con qualche sfumatura giallognola, in cui si possono notare abbastanza chiaramente gli anelli di accrescimento ad ampiezza variabile, con andamento regolare. Si possono trovare dei falsi anelli, distinguibili in quanto non risultano presenti le cellule parenchimatiche. Interessante è il fatto che non vi sia un durame vero e proprio, ma solo un falso durame, a volte distinto cromaticamente da un colore bruno o comunque più scuro; presenta dei bordi frastagliati e non regolari ed il suo colore si attenua in fase di essiccamento.



Figura 3.1 - Rotella basale di pioppo

Infine il tronco del pioppo presenta una corteccia sottile (Castro *et al.* 2014).

Caratteristiche microscopiche.

Il legno di pioppo presenta una porosità diffusa [Fig. 3.2], quindi omogenea.

Gli anelli di accrescimento, come sopraddetto, sono facilmente individuabili grazie alla presenza di parenchima terminale. Il parenchima terminale è costituito da raggi uniseriali ed omogenei, rettilinei e fini, formati da cellule procombenti.

Questi raggi sono molto importanti in quanto costituiscono un elemento tassonomico, permettendoci di distinguere il pioppo dal salice (specie affine).

È difficile riuscire a creare una vera e propria “carta di identità” che riesca a dare un profilo ben preciso sulle caratteristiche del pioppo, in quanto in questi anni si sono sviluppati nuovi metodi colturali, sono stati studiati nuovi tipi di cloni e sono arrivate nel nostro territorio nuove specie spontanee, connotando così il pioppo come una specie estremamente diversificata. (Castro *et al.* 2014).

Caratteristiche fisico - meccaniche.

Le caratteristiche fisico-meccaniche del

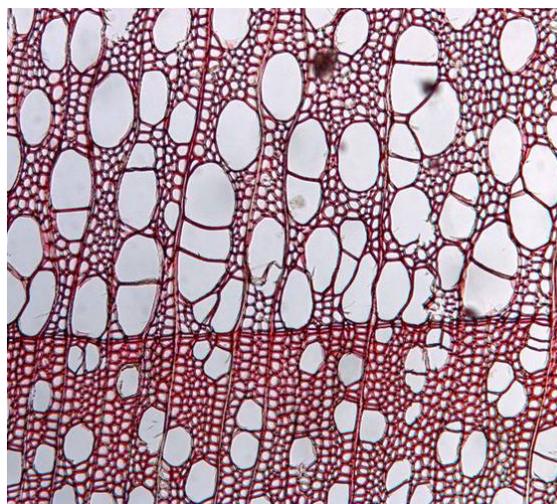


Figura 3.2 - Sezione anatomica trasversale di legno di pioppo

legno di pioppo sono legate alla sua ottima stabilità dimensionale, al fatto che non vi sono forti ritiri durante la stagionatura e che ha una durezza abbastanza modesta. La sua umidità normale varia da 350 a 500 kg/m³ (Castro *et al.* 2014). Non è resistente agli attacchi fungini ma durabile nei confronti degli attacchi di insetti xilofagi.

Di seguito riportate le principali caratteristiche fisico-meccaniche (Castro *et al.* 2014).

Massa volumica:

- Allo stato fresco 600-900 kg/m³
- A umidità normale 300-520 kg/m³
- Densità basale 280-420 kg/m³

Ritiri totali:

- Assiale 0,1 %
- Radiale 2,8 %
- Tangenziale 6,3 %
- Volumetrico 9,8 %

Resistenze meccaniche:

- Compressione assiale 21,5-41 N/mm²
- Flessione statica 39-69 N/mm²
- Modulo di elasticità a flessione 6350-9150 N/mm²
- Resistenza a taglio 2,1-4,9 N/mm²
- Resistenza a flessione dinamica e all'usura superficiale bassa

Caratteristiche tecnologiche.

Le caratteristiche tecnologiche variano in base all'utilizzo e alla destinazione del legno di pioppo, dando a volte buoni e a volte pessimi risultati.

La lavorazione privilegiata è la sfogliatura, processo di base per la produzione di pannelli di compensato; risulta essere la lavorazione più agevole, soprattutto se abbiamo dei tronchi provenienti da piantagioni ben curate.

Anche la tinteggiatura, l'incollaggio e la verniciatura danno risultati positivi.

Per quanto riguarda invece lavorazioni come segagione e tranciatura, risultano più difficoltose e a volte causano problemi per lavorazioni successive (come ad esempio carteggiatura e levigatura); l'essiccazione anche risulta essere poco agevole e spesso provoca difetti come rotture.

Infine, se l'incollaggio risulta essere efficace, l'unione a secco tramite viti o chiodi fa registrare una scarsa tenuta e provoca difetti come fessurazioni di testa.

Difetti.

I difetti del legno sono quelle anomalie che si vanno a sviluppare per diverse cause, legate al legno stesso o alla lavorazione. Non sempre i difetti sono negativi, ma a volte vengono considerate delle "caratteristiche" ricercate per alcuni di tipi di lavorazioni.

Difetti di origine abiotica:

- Curvatura del fusto: effetto dato da eventi meteorologici quali vento, neve, che si verificano della fase giovanile del pioppo. Se avviene dopo il secondo anno può provocare legno di tensione, nemico della sfogliatura. Sono più soggette ed in pericolo le piante poste ai limiti esterni dell'impianto.
- Cretti da gelo: causati da forti escursioni termiche che formano fessurazioni longitudinali. La zona interessata a cretti non può essere destinata alla sfogliatura.
- Contrafforti: la pianta per ancorarsi meglio al terreno sviluppa un ingrossamento nella parte basale del fusto. Lo sfogliato ricavato da questa zona risulterà avere una fibratura deviata.
- Ellitticità: grande differenza tra diametro maggiore e diametro minore del fusto. Causa problemi nella prima parte della sfogliatura, "la messa

in tondo", in quanto causa una minore resa nella lavorazione.

- Macchie brune: sono causate da mancanza di acqua o nutrienti. Si riconosce da macchie sulla corteccia che presentano necrosi; nel caso in cui il problema non venga risolto il legno è compromesso, e non è possibile destinarlo alla sfogliatura.

Difetti di origine biotica:

- Alterazioni cromatiche: danno estetico causato dalla variazione del colore del legno per mano di funghi cromogeni.
- Fori nel legno: sono causati da gallerie create dagli insetti xilofagi. Tra i più pericolosi per il pioppo troviamo il punteruolo e la saperda maggiore. Se vi sono stati attacchi da parte di questi insetti, gli sfogliati che ne derivano vengono declassati.
- Necrosi da afide lanigero: possiamo riconoscere sulla corteccia una lanugine cerosa, creata dall'insetto per proteggere la colonia. Nel caso di attacchi prolungati il legno verrebbe compromesso a tal punto da non poter essere destinato alla sfogliatura.

Difetti dovuti alle lavorazioni sul pioppo:

- Nodi: sono dovuti alla potatura a volte inadeguata, durante la vita del pioppeto, e possono essere "visibili" o "non visibili". I nodi visibili possono essere sani e aderenti, quando derivano da rami potati di recente o da getti epicormici. Causano colorazione e fibratura anomala, producendo uno sfogliato di bassa qualità. Oppure possono essere secchi quando derivano da porzioni di rami morti; questi staccandosi lasciano fori sullo sfogliato che viene notevolmente declassato. I nodi non visibili invece determinano tracce particolari sul tronco, detti anche "baffi": pur essendo aderenti, di-

minuiscono la qualità dello sfogliato in proporzione alla loro dimensione.

- Lesioni di agenti chimici, fisici e meccanici: sono dati principalmente da urti con i macchinari per la lavorazione del terreno e da un uso scorretto di insetticidi e diserbanti, che causano visibile necrosi sulla corteccia: il tronco generalmente non potrà essere destinato alla sfogliatura.

Il controllo dei difetti risulta essere molto importante soprattutto per quanto riguarda quelle piantagioni destinate all'industria del compensato: spesso un minimo difetto può compromettere la riuscita di uno sfogliato di qualità, declassando così il prodotto finale, a volte anche drasticamente (Castro *et al.* 2014).

3.2 I CLONI

I primi studi effettuati sull'ibridazione genetica risalgono agli anni '20 circa, quando gli impianti italiani vengono colpiti da una terribile epidemia di "defogliazione primaverile": causata dal fungillo *Venturia populina*, provoca imbrunimento e disseccamento delle foglie e dei germogli. Le piante così perdono gran parte se non la totalità della loro chioma. La pianta risulta indebolita, perde incremento legnoso ed è più vulnerabile all'attacco di altri parassiti.

In Italia settentrionale ha provocato diversi danni economici e alle piantagioni. Lo studioso Jacometti, dopo anni di incroci e prove, verso la metà del decennio riesce a scoprire degli ibridi ancora oggi tra i più usati, tra cui il famoso I-214.

Successivamente altri incroci e ibridazioni furono studiate per combattere un altro nemico del pioppo come la *Marssonina Brunnea*.

L'ibridazione può avvenire sia naturalmente sia artificialmente e dalla moltiplicazione vegetativa si ottiene una serie di

piante identiche dal punto di vista genetico, che costituiscono quindi un clone.

L'Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura di Casale Monferrato (ora CREA-Foreste e Legno), ed altri enti come il Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale di Roma, hanno sviluppato ricerche approfondite per la scelta dei cloni migliori, più resistenti e a meno impatto ambientale da destinarsi all'industria del legno e non solo.

I cloni, per avere la possibilità di essere coltivati, devono essere iscritti al Registro Nazionale dei Cloni Forestali, in modo da poter favorire le coltivazioni con piante resistenti alle avversità e con caratteristiche colturali e di qualità del legno favorevoli.

Oggi al Registro Nazionale dei Cloni Forestali risultano iscritti circa 40 cloni di pioppo; alcuni di essi hanno un valore più storico che economico/qualitativo.

Nonostante gli studi compiuti su nuovi modelli più resistenti alle varie avversità, che permettono una produzione maggiore (con una media del 35% in più di legname utilizzabile), in Italia il più usato risulta ancora essere l'I-214 (Facciotto *et al.* 2007).

È un clone molto esigente dal punto di vista colturale e non sempre il tronco permette di ottenere topi basali di dimensioni tali da poter essere inviati all'industria del compensato. È però il più richiesto e remunerato dall'industria di prima trasformazione. Il difficile passaggio alla coltivazione di altri cloni è principalmente legato, quindi, alla fiducia nei loro confronti da parte dei pioppicoltori (in passato alcuni cloni promettenti hanno riservato ai coltivatori sorprese spiacevoli) e al fattore economico (Castro *et al.*, 2014; Facciotto *et al.*, 2007).

I cloni generalmente più utilizzati possono essere riassunti in brevi descrizioni (Ente Nazionale per la cellulosa e per la

carta, 1994) dove vengono evidenziate le caratteristiche, la resistenza alle avversità e la qualità del legno per future destinazioni. Quelli che interessano al progetto di tesi sono i cloni resistenti al maggior numero di infestanti (considerando il minore impatto ambientale legato al minor utilizzo di prodotti chimici) e quelli che producono materiale da sfogliatura migliore per la creazione di un compensato che non venga declassato.

- *Populus x euroamericana* I 214: clone femmina, di facile attecchimento, vigoroso e adattabile sia a terreni con eccesso che con scarsità di drenaggio. Robusto e forte, tronco sinuoso e corteccia rugosa. Immune alla defogliazione primaverile, resistente al mosaico, alle macchie brune e ai marciumi radicali. Suscettibile agli attacchi da *Marssonina brunnea* e Afide lanigero. Il legno si può utilizzare per tutti gli usi industriali, dal compensato alle paste meccaniche.
- *Populus x euroamericana* “BL Costanzo”: clone femmina, accrescimento rapido, fusto dritto, chioma raccolta, ramificazione in palchi distanti, buon attecchimento, adatto a terreni sciolti e freschi, notevole plasticità edafica. Sensibile a *Marssonina brunnea*, alla defogliazione primaverile, resistenza assoluta al mosaico, suscettibile all’Afide lanigero. Il legno si presenta a tutti gli impieghi.
- *Populus x euroamericana* “Pan”: clone femmina, simile al precedente per aspetto ed esigenze, e per comportamento agli attacchi. Legno per tutti gli impieghi.
- *Populus x euroamericana* “Cappa Bigliona”: clone femmina, simile ai precedenti in tutto.
- *Populus x euroamericana* “Boccalari”: clone femmina, canadese, accrescimento giovanile lento, corteccia chiara e liscia, chioma leggera con rami sottili, esige terreni freschi, adattabile a quelli pesanti. Poco sensibile a *Marssonina brunnea*, molto sensibile a defogliazione primaverile, macchie brune, suscettibile all’Afide lanigero. Legno compatto, apprezzato nei compensati e nei fiammiferi.
- *Populus x euroamericano* “Branagesi”: clone femmina, canadese, accrescimento giovanile lento, corteccia molto chiara, liscia, chioma leggera con rami sottili, si adatta a terreni relativamente pesanti. Poco sensibile a *Marssonina brunnea*, molto sensibile alla defogliazione primaverile e all’Afide lanigero. Legno compatto, apprezzato per compensati e fiammiferi.
- *Populus x euramericana* “302 San Giacomo”: clone femmina, di tipo canadese, accrescimento giovanile lento, corteccia molto chiara, liscia, chioma leggera con rami sottili. Si adatta a terreni pesanti, poco sensibile a *Marssonina brunnea*, sensibile a defogliazione primaverile, suscettibile a Afide lanigero. Legno compatto, apprezzato per compensati e fiammiferi.
- *Populus x euroamericana* “Gattoni”: clone femmina, canadese, caratteristiche come i precedenti. Legno di ottima qualità, si presta a tutti gli usi.
- *Populus x euramericana* “I 45/51”: clone maschio, ha fusto molto diritto ma rastremato, fogliame denso, verde cupo e corteccia suberosa. Rapido accrescimento, adattabile a terreni meno fertili, umidi e compatti.

ti, sensibile a *Marssonina brunnea*, largamente impiegato in Francia: si presta molto per costituzione di filari. Suscettibile all'Afide lanigero. Legno di buona qualità.

- *Populus x euramericana* "San Martino" (I 72/58): clone femmina, ricorda i caroliniani, a corteccia chiara, buon attecchimento, rapido accrescimento, buona adattabilità, non presenta necrosi corticale in caso di siccità prolungata, resistente a *Marssonina brunnea*, alla defogliazione primaverile, alla ruggine e all'afide lanigero. Soggetto a danni da vento, sensibile al mosaico. Fusto poco rastremato e cilindrico, legno leggero, poco cuore, adatto per tutti gli usi.
- *Populus x euramericana* "triplo" (I 37/61): clone maschio, affine ai caroliniani, chioma leggera, meno soggetta a danni da vento, radicamento a dimora facile, accrescimento abbastanza rapido, fusto dritto o leggermente sinuoso, resistenza alla defogliazione primaverile, a *Marssonina brunnea*, sensibile a Mosaico e afide lanigero.
- *Populus deltoides* "Lux" (I 69/55): clone femmina, aspetto di caroliniano con ampia chioma e foglie molto grandi. Sensibile al vento, discreto attecchimento, accrescimento rapido, resistentissimo a *Marssonina brunnea* e altri parassiti fogliari ma sensibile a mosaico, resistente a afide lanigero. Il legno è ottimo per ogni impiego.
- *Populus deltoides* "Onda" (I 72/51): clone maschio, aspetto di caroliniano, chioma ampia, foglie grandi, difficoltà di attecchimento. Più resistente al vento del precedente, resistenze alla defogliazione primaverile,

Marssonina brunnea, ruggini e afide lanigero, sensibile al mosaico. Accrescimento rapido, fusto dritto e cilindrico, legno adatto a compensato, tavolame e altri impieghi.

- *Populus x euramericana* "Luisa Avanzo": clone femmina, fusto dritto, facile radicamento, rapido accrescimento, lungo periodo vegetativo, disformità della germogliazione a causa di disidratazione dei tessuti, facilmente evitabili ricorrendo all'immersione. Adattabile a molti terreni, resistente al vento, a *Marssonina brunnea*, mosaico, defogliazione primaverile, ruggini, afide lanigero. Scarsa resistenza a *Discosporium populeum*. Legno con densità elevata si presta a tutti gli impieghi.
- *Populus x euramericana* "Cima": clone femmina, simile al precedente, con portamento più raccolto e minore capacità di accrescimento. Il legno si presta a tutti gli impieghi.
- *Populus x euramericana* "Carpaccio": clone femmina, di facile attecchimento, rapido accrescimento, ha fusto leggermente sinuoso, adattabile a molti terreni, resistente a *Marssonina brunnea*, a mosaico, ruggini, sensibile a defogliazione primaverile. Legno adatto a tutti gli usi.
- *Populus nigra* "Jean Pourtet": clone maschio, si è dimostrato uno dei cloni con più rapido accrescimento, si presta alle piantagioni fitte e rade, adatto ad impieghi in filari, resistente alle malattie fogliari, consigliato in terreni poco fertili.
- *Populus x euramericana* "Adige": clone femmina, canadese, fusto sinuoso, corteccia chiara, chioma leggera, buon accrescimento e adat-

tabilità, resistente a *Marssonina brunnea*, sensibile alla defogliazione primaverile, suscettibile ad afide lanigero. Il legno di presenta a tutti gli impieghi.

- *Populus x euramericana* “Stella ostigliese”: clone femmina, canadese, caratteristiche simili al precedente.
- *Populus deltoides x populus maximowiczii* “Eridano”: sesso maschile, attecchimento delle talee buono, variabilità di accrescimento, resistente a *Marssonina brunnea*, venturia populina, melampsora, Discosporium populeum, macchie brune, mosaico, afide lanigero. Mediamente denso il legno, si presta a tutte le lavorazioni.
- *Populus alba* “Villafranca”: Pioppo bianco, sesso femminile. Attecchimento variabile, accrescimento rapido, immune da *Marssonina brunnea*, mosaico e afide lanigero, resistente a macchie brune. Legno leggero che si presta a tutte le lavorazioni.

3.3 LA COLTIVAZIONE

In questi anni sono in corso diversi studi e operazioni, effettuati principalmente da centri di ricerca per la pioppicoltura come il CREA-Foreste e Legno di Casale Monferrato, su nuovi metodi di coltivazione del pioppo.

In Italia e nel mondo le colture più diffuse sono intensive, con turni compresi tra i 10 e 12 anni, in cui viene principalmente coltivato il clone I-214; gli impianti sono pensati per la produzione di legno di qualità destinato all’industria del compensato.

Questo modello di coltivazione ha avuto

molti problemi legati soprattutto ad attacchi fungini e di insetti, ma è comunque sempre risultato efficace.

Vi sono diverse soluzioni che vogliono portare al miglioramento della coltura, sia a livello ambientale che economico (per quanto riguarda i pioppicoltori), in quanto un turno di 10-12 anni per garantire la qualità del legno richiede un grande dispendio di energia, tempo, cure e denaro.

Tra le soluzioni si è pensato alle spazature, cercando di aumentarle, diminuendo di conseguenza la densità di coltivazione (270-280/ha invece che 330/ha), minore utilizzo di prodotti chimici (concimazione o trattamenti fotosanitari), minori lavorazioni del terreno, o piantagioni miste (con il noce ad esempio), o ancora all’utilizzo di cloni più resistenti di “I-214”.

Il pioppo comunque non viene richiesto solo per la produzione di pannelli di compensato: si sono aperti nuovi orizzonti nell’industria cartaria, nell’imballaggio, in ambito energetico e ambientale.

Per ognuno di essi grazie ad enti pubblici e privati, si sono messi a punto dei modelli colturali efficienti, dal punto di vista gestionale, ambientale ed economico.

Oltre che alla coltivazione intensiva abbiamo anche coltivazioni Short Rotation Forestry, ovvero piantagioni cedue da bioenergia, caratterizzate da turni che variano da 1 (turno svedese) a 5 anni (produzione da biomassa, carta e pallet), in base alla densità della piantagione.

La coltivazione, partendo dalla nascita dell’albero per talea fino al taglio finale per il trasporto all’industria di trasformazione, si suddivide in 3 fasi principali: barbatellaio, vivaio e pioppeto.

Verranno illustrate le tre fasi, approfondendo quegli aspetti tipici di una coltivazione intensiva per la destinazione dei topi basali all’industria del compensato.

to.

Il Barbatellaio

Nel vivaio vi è una parte dedicata alla riproduzione delle talee; i pioppi si riproducono attraverso parti di se stessi, principalmente rami minuti di una gemma, che piantati nel terreno riescono a sviluppare nuove radici.

Il barbatellaio [Fig. 3.3] viene curato di solito per 3 anni: non tutti hanno un barbatellaio o un vivaio in azienda. Gran parte dei pioppicoltori sono prima di tutto agricoltori che sfruttano la buona adattabilità e convivenza che il pioppo sviluppa con altre tipologie di coltura.

In un ettaro di terreno in barbatellaio di solito, considerando un sesto mediamente utilizzato, entrano 62 500 talee, che dopo un anno di cure e di nutrimenti vengono potate dando vita a 125 000 astoni, che verranno destinati al vivaio.

Tra il secondo e il terzo anno possiamo considerare rispettivamente altri 937 500 e 918 750 astoni per ettaro destinati al vivaio per i prossimi anni di vita.

Il barbatellaio deve essere preparato alla coltivazione eseguendo trattamenti del terreno prima e durante l'impianto, come aratura, fresature e discature, accompagnati generalmente dalla somministrazione di prodotti di concimazione e trattamenti fitosanitari per prevenire

attacchi fungini e di insetti.

L'irrigazione è fondamentale e sono previsti quattro interventi all'anno, di solito nel periodo estivo in modo da compensare la mancanza di precipitazioni: per i 3 anni di coltivazione si stimano circa 3.000.000 l/ha forniti all'impianto.

Il Vivaio

Il vivaio [Fig. 3.4] è una parte fondamentale della vita della pianta, in quanto essendo ancora dei piccoli esemplari, devono essere curati e corretti in modo che il loro fusto cresca dritto e privo di imperfezioni, che potrebbero portare ad un declassamento del legno.

Il vivaio è il momento più difficile e critico per un coltivatore. Spesso infatti i vivaisti si occupano solo di questi momento della vita del pioppo, in modo da evitare errori.

Un problema è sorto circa 20 anni fa: il vivaismo era quasi interamente lasciato in mano ad enti pubblici (Ente Nazionale Cellulosa e Carta o aziende pioppicolo-forestali pubbliche locali); dopo la liquidazione della Società Agricola e Forestale (SAF) la produzione è passata interamente alla gestione di aziende private, provocando dei malcontenti da parte dei pioppicoltori.

Il materiale vivaistico inizia ad esse-



Figura 3.3 - Barbatellaio



Figura 3.4 - Vivaio

re considerato di scarsa qualità e per niente comparabile a quello prodotto un tempo dalla SAF.

Per questo alcune grandi aziende pioppicole hanno deciso di occuparsi personalmente dei vivai utili a fornire materiale interno per i pioppeti e alcune di esse hanno rivoluzionato l'azienda a tal punto da provare anche a trovare nuove varietà clonali (Facciotto *et al.* 2007).

La vita in vivaio dell'astone varia da 1 a 2 anni. Il vivaio deve possedere cloni registrati al Registro Nazionale dei cloni di Pioppo, devono essere controllati e quindi certificati.

Una buona pioppella all'uscita dal vivaio deve avere un buon aspetto, non vi devono essere presenti cicatrici particolarmente gravi causate da potatura poco attenta, il tronco deve svilupparsi il più dritto possibile; non deve aver contratto malattie fogliari, funghi o insetti.

All'ingresso in vivaio, per un ettaro, abbiamo 7000 astoni circa, ed escono nel migliore dei casi 7000 pioppelle, pronte per essere trasportate in pioppeto.

Anche il terreno per la piantagione del vivaio deve essere preparato tramite lavorazioni di aratura, discatura, fresatura, zappatura a cui vengono affiancati concimazione, trattamenti diserbanti e fitosanitari contro gli attacchi fungini ed

insetti.

L'irrigazione anche in questo caso è prevista quattro volte all'anno, per un totale di 2.000.000 l/ha.

Il Pioppeto.

Il pioppeto [Fig. 3.5] costituisce la parte finale della vita del pioppo, da quando la pioppella esce dal vivaio fino alla potatura e taglio per la distribuzione alle aziende.

I procedimenti e le lavorazioni elencate nel seguito sono desunti a partire dalla bibliografia (principalmente da studi redatti dall'Ente Nazionale per la Cellulosa e per la Carta) e da informazioni fornite direttamente dal CREA-Foreste e Legno in particolare per quanto riguarda le tecniche adottate per le coltivazioni del caso studio oggetto di tesi.

Il primo passo per una buona coltivazione è scegliere il terreno: caratteristiche fisiche, quindi la profondità, la tessitura (composizione del terreno), la struttura e la permeabilità.

Questi aspetti sono molto importanti, in quanto una pianta di pioppo predilige terreni sabbio-limosi e sabbio-argillosi, la profondità deve essere adatta, in quanto influenza lo sviluppo delle radici, vi deve essere una presenza sostanziosa di nutrienti e di acqua; la struttura e



Figura 3.5 - Pioppeto

la porosità influenzano l'accumulo e la circolazione dell'acqua e dell'aria.

Questi ultimi due aspetti sono molto importanti in una piantagione; non bisogna scegliere terreni in cui le radici possano incorrere in fenomeni di asfissia, come ad esempio terreni argillosi troppo compatti.

Stesso discorso vale per i terreni che, al contrario, hanno una trama e una struttura troppo aperta, come i terreni eccessivamente ghiaiosi e sabbiosi, che non riescono ad accumulare la fornitura idrica per il pioppeto.

La porosità, la permeabilità e la presenza o meno di una falda in profondità (falda freatica) sono principali caratteristiche che influenzano lo sviluppo della piantagione: le radici ad esempio, tenderanno a svilupparsi in modi diversi se in presenza di una buona distribuzione di nutrienti e acqua nel terreno o se il terreno ha strati con caratteristiche diverse.

I pioppi, oltre a non essere adatti a terreni poco idratati, non sono adatti nemmeno a terreni con presenza di ristagni d'acqua e in particolare quelli torbosi con falda superficiale in quanto l'acqua non viene rinnovata.

Importante quanto la scelta del terreno è la scelta del tipo di pioppo da coltivare. La scelta va fatta in relazione all'ambiente e al finale utilizzo del legno.

Questa scelta risulta essere molto importante soprattutto quando gli esemplari sono destinati all'industria di trasformazione.

Le pioppelle devono appartenere al clone scelto in base a tutte le caratteristiche citate nel capitolo precedente, e devono avere la stessa classe diametrica per evitare fenomeni di competizione.

La spaziatura viene scelta non in base allo spazio occupato, naturalmente, ma in base a caratteristiche climatiche e fertilità del terreno. È legata alle finalità pro-

duitive ed influisce sulla durata del turno: più la distanza d'impianto aumenta più aumenta il turno.

Si può comunque pensare di posizionare le pioppelle molto fitte, quindi aumentando la densità, consapevoli del fatto che i tronchi saranno meno sviluppati ed il legno sicuramente di qualità inferiore.

Di solito il numero di piante per ottimale per ettaro si aggira intorno ai 250-280 esemplari.

Le spaziature più frequenti sono:

- in quadro (5,5x5,5 ; 6x6)
- a rettangolo (6x5 ; 7x4 ; 7x5)
- a settonce (6x5,19 ; 6,5 x 5,62).

Al momento della messa a dimora la pioppella deve essere ridotta ad asta nuda, quindi i rami vengono accorciati quasi a filo con il fusto e le radici vengono accorciate o direttamente tagliate.

Nel Nord Italia la stagione utile per l'impianto parte alla fine di novembre e si conclude i primi di marzo.

Nel Sud invece termina prima, non si supera mai la fine di febbraio. Questi periodi sono legati al riposo vegetativo delle pioppelle.

Bisogna però evitare di lavorare il terreno o comunque di intervenire sull'impianto in giorni o periodi troppo freddi, in quanto vi possono essere problemi legati al gelo, non essendo possibile interrare le pioppelle nel modo adatto.

Da evitare sono gli impianti primaverili tardivi: vi è già sugli esemplari la presenza di gemme e foglie, che potrebbero finire le riserve di acqua del tronco prima che questo possa sviluppare nuove radici dopo la messa a dimora.

Molto importanti sono le tempistiche tra il prelievo in vivaio della pioppella e la messa a dimora in pioppeto. Dovrebbe intercorrere il minor tempo possibile in quanto l'esposizione ad agenti atmosferici come il vento, il gelo, possono danneggiare i tessuti e disidratare l'esem-

plare.

Se per cause non dettate dal volere umano la pioppella dovesse rimanere esposta all'esterno per molto tempo, prima della messa a dimora è importante la sua reidratazione attraverso l'immersione totale o parziale in acqua, per almeno una settimana.

Prima di scavare le buche per sistemare gli esemplari bisogna lavorare il terreno. Si parte di solito, se la zona ospitava un altro pioppeto, con la cippatura che consiste nel togliere dal terreno i residui di radici e "ceppaie" lasciati dalla precedente piantagione.

Dopo di che bisogna rilavorare il terreno per far sì che sia uniforme e pronto ad accogliere le pioppelle; lo si fa tramite arature e affinamenti, accompagnati da concimazione (chimica o letamazione) e se necessario, con qualche intervento diserbante.

Dopo di che si può passare all'apertura delle buche, manualmente o tramite trivella, ed è fondamentale capire la profondità. Ci si basa principalmente su tre aspetti:

- Il tipo di postime (anni di vivaio e presenza di apparato radicale);
- Presenza di falda freatica;
- Natura del terreno e profilo idrico.

Una volta posizionate le piante, altrettanto importante risulta la chiusura delle buche, evitando di lasciare spazi vuoti tra il tronco ed il terreno per evitare movimenti che possono danneggiare il tronco.

Può capitare, nonostante tutta la cura e la serietà nella costituzione dell'impianto, che qualche pianta non riesca a sopravvivere per differenti motivi: si può allora pensare ai risarcimenti.

Consistono nella sostituzione delle pioppelle non attecchite durante il primo anno di impianto. Il clone di sostituzione

può essere lo stesso dell'intero impianto o può essere differente. Se si opta per quest'ultima scelta bisogna considerare come caratteristica principale la maggiore competitività: infatti la giovane pioppella verrebbe inserita tra esemplari ormai cresciuti, che la sovrasterebbero, facendo risultare inutile l'operazione di risarcimento.

Altra scelta importante è la durata del turno. Quando si parla di turno di coltivazione si intende la durata trascorsa tra la messa a dimora e l'abbattimento del pioppeto. Vi sono diversi turni, tra i quali scegliere in base ad esigenze economiche, tecniche, biologiche e sanitarie.

L'Ente Nazionale per la Cellulosa e per la Carta ne riconosceva 4 teorici:

- Turno fisiocratico: coincide di solito con l'11° anno di impianto, l'anno di media crescita degli esemplari e rende massima la produzione. Non sempre a livello economico è conveniente per i pioppicoltori.
- Turno finanziario: cade di solito anch'esso all'11° anno, anche se è indipendente dal turno fisiocratico. Infatti il turno finanziario viene calcolato attraverso le spese sostenute, gli interessi sui capitali anticipati, le condizioni di mercato in quel momento.
- Turno tecnico: è un turno legato principalmente alle richieste di materia prima sul mercato. Ad esempio in Italia, dove la richiesta maggiore deriva dall'industria del compensato, il turno si baserà sul periodo in cui i tronchi raggiungono dimensioni ottimali per essere sottoposti a sfogliatura (30 cm a petto d'uomo).
- Turno patologico: è legato alla resistenza del clone a determinate malattie e il taglio coincide con il momento in cui la malattia non si è spinta oltre il livello corticale o al massimo nella zona periferica (zone che ad esempio, durante la sfogliatura vengono

eliminate). È un turno molto pericoloso in quanto le malattie non sono così facilmente prevedibili.

Questi turni, per la maggior parte dei casi, non vengono considerati singolarmente; si raggiunge un compromesso tra tutti e 4 in quanto ognuno dei casi tocca problematiche che non sono trascurabili.

Durante tutto il turno di coltivazione sono previste diverse lavorazioni del terreno, con lo scopo di modificarne la struttura e di eliminare la vegetazione spontanea. Il numero di lavorazioni diminuiscono con l'aumentare dell'età del pioppeto, in quanto si tende solo più a controllare le malerbe, che possono provocare danni ai pioppi ed essere un problema in caso di incendi.

La lavorazione del terreno viene accompagnata per i primi 5 anni dalla concimazione: si effettua per la prima metà del turno in quanto gli esemplari più giovani rispondono meglio alla fertilizzazione.

Naturalmente non sempre la concimazione è necessaria: in prossimità delle golene del Po ad esempio non sono state segnalate particolari mancanze di elementi nutritivi. Ne deriva quindi che spesso la concimazione non è necessaria.

Nel caso in cui ci fossero carenze nutritive bisogna ricorrere alla concimazione per garantire il normale accrescimento della piantagione.

I prodotti concimanti possono essere chimici o naturali (letame) e servono a ristabilire nel terreno le dosi necessarie di azoto (N), potassio (K₂O) e fosforo (P₂O₅) in base alle esigenze nutritive dell'impianto.

Importante è capire quali sono le effettive esigenze nutritive di un pioppeto

In un turno di 10-12 anni, per una produzione di 900 q/ha di sostanza secca, un pioppeto ha bisogno di:

- Azoto N: 163 kg/ha

- Fosforo P₂O₅: 75 kg/ha
- Potassio K₂O: 239 kg/ha
- Calcio CaO: 580 kg/ha

La concimazione e i quantitativi non sono dettati da una regola univoca, dipendono principalmente dal terreno: prima di effettuare qualche intervento sarebbe quindi indispensabile effettuare delle analisi chimiche.

Nel caso in cui fosse necessario, la prima, detta concimazione di fondo, viene effettuata per preparare il terreno prima dell'impianto; si esegue all'anno cosiddetto 0, ovvero di preparazione del terreno.

Si opta di solito per un concime ternario (azoto, potassio e fosforo) in base alle caratteristiche del terreno.

Per i 4 anni successivi, quindi quando le pioppelle sono state messe a dimora, si continua con la sola somministrazione di azoto solo in superficie, localizzando gli interventi solo in prossimità dei pioppi. Non bisogna far entrare a contatto le radici con la sostanza per evitare ustioni.

Per quanto riguarda i trattamenti fitosanitari, essi vengono eseguiti durante tutto il turno di coltivazione e ad esempio, per l'I-214, si tratta di trattamenti contro Punteruolo, Saperda, Marssonina, Ifantria e Afide Lanigero. Per altri cloni più resistenti non sono previsti trattamenti contro Marssonina e Afide Lanigero, garantendo una maggiore sostenibilità a livello ambientale e minori spese per il pioppicoltore.

Elemento fondamentale per la crescita del pioppeto è la disponibilità idrica. Per riuscire a stabilire il fabbisogno di acqua irrigua bisogna considerare diverse variabili connesse principalmente al terreno, agli apporti naturali e alle perdite (evaporazione ad esempio).

In qualsiasi caso il momento più importante per intervenire con l'irrigazione è il

periodo estivo, in cui bisogna garantire a prescindere dalle precipitazioni il fabbisogno idrico; si possono fare da un minimo di 2 fino ad un massimo di 4-5 interventi all'anno.

Nel caso studio, ad esempio, la quantità di acqua fornita tramite rotoloni è di 100.000 l/ha per il primo anno (4 interventi nel periodo estivo) e 1.600.000 l/ha/anno negli anni successivi fino a fine turno (2 interventi annuali nel periodo estivo).

Il metodo di irrigazione più diffuso è quello a scorrimento, anche se si stanno appurando nuove tecniche.

Fase molto delicata è quella della potatura: scopo principale è quello di pulire e formare il tronco in modo da ridurre la presenza di nodi che possono declassare il prodotto finale, in questo caso lo sfogliato.

Per i turni e le spaziature utilizzate di solito nei pioppeti, la massima altezza a cui conviene compiere interventi di potatura è quella di 7 m.

La potatura viene effettuata durante il riposo vegetativo, a partire dal primo anno di impianto e ripetuta fino al 5° anno.

I rami devono essere tagliati quando non hanno ancora raggiunto grandi dimensioni anche per evitare che la corteccia dei bordi rimanda inclusa nella chiusura della ferita.

Al termine del turno i pioppi verranno tagliati alla base per essere puliti, tagliati in base alle lunghezze necessarie e venduti alle industrie interessate.



Flow chart esemplificativo della coltivazione

3.4 NORME TECNICHE PEFC PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DELLA PIOPPICOLTURA

La certificazioni forestali sono ormai molto conosciute e richieste sul mercato: spesso i consumatori finali (pubblici o privati) richiedono prodotti finiti caratterizzati da marcature di certificazione come FSC e PEFC, utilizzate dalle aziende per dimostrare l'impegno per la tutela dell'ambiente (Secco *et al.*, 2007).

Entrambi i marchi possono essere applicati sia a foreste naturali sia a piantagioni arboree, con alcune differenze:

- FSC non permette la certificazione ad impianti/foreste caratterizzati da turni troppo brevi di coltivazione, impianti agro-forestali, quelli che producono materiali non legnosi (ad esempio la gomma) e i frutteti. Per questo molti pioppeti non possono essere certificati, soprattutto quelli connotati da turni brevi per produzione di biomassa, in quanto considerate da FSC colture troppo diversificate da un ciclo naturale forestale.
- PEFC nasce come certificatore forestale, ma dal 2003 allarga le sue vedute spingendosi verso la certificazione di piantagioni arboree nel senso più ampio.

Nel 2006 il PEFC pubblica la guida per la Gestione Sostenibile della Pioppicoltura, con lo scopo principale di controllare gli impatti ambientali dati dalla coltivazione, finalizzato ad ottenere un prodotto di alta qualità destinato principalmente all'industria dello sfogliato [PEFC, 2006].

Grazie a questo documento i pioppicoltori possono spingersi verso la sostenibilità ambientale dei loro impianti, con la possibilità di ottenere una delle certificazioni ormai più richieste al mondo.

siva, prendendo spunto da modelli già ampiamente testati per quanto riguarda la scelta del terreno, la potatura, le lavorazioni pre e durante l'impianto, approfondendo principalmente tutti gli aspetti legati alla somministrazione di sostanze chimiche per la concimazione, il diserbo e la lotta antiparassitaria.

Inoltre vuole spingere i pioppicoltori a guardare oltre il clone I-214, cercando di sensibilizzare le aziende, portandole ad utilizzare nuovi cloni, più resistenti, che richiedono meno cure e meno lavorazioni, che resistono più a lungo alla siccità e che, nonostante tutto, producono legno di maggior pregio per l'industria dello sfogliato.

Il documento mette a disposizione, sia per concimi che per prodotti utilizzabili, tabelle ben chiare sulle tipologie di prodotto utilizzabili, sulle dosi massime e sui casi in cui possono essere utilizzati.

3.5 ASPETTI AMBIENTALI ED ECOLOGICI DEL PIOPPO

Il pioppo non si presta soltanto a piantagioni specializzate per produzione di materia legnosa (da sfogliatura o biomassa), ma spesso viene impiegato per altri scopi più ambientali ed ecologici.

Ad esempio, in passato e a volte ancora oggi, i pioppi vengono distribuiti in "filari" dagli agricoltori, spesso per riuscire a delimitare quei territori privi di differenze morfologiche e quindi di limiti riconoscibili. Funzione affiancata da importanti vantaggi microclimatici ed ecologici come l'ombreggiamento, la protezione dal vento, l'aumento dell'umidità e della temperatura dell'aria e del suolo, azioni fitosanitarie date dal filtraggio di inquinanti e fertilizzanti dispersi nel terreno (Secco *et al.*, 2007).

Più recentemente i filari di pioppo vengono anche impiegati per funzioni estetico-paesaggistiche e la conseguente creazione di reti ecologiche, soprattutto nelle zone limitrofe alle aree fluviali, in quanto contribuiscono a creare dei corridoi verdi protetti per la fauna e al contenimento del terreno lungo le golene durante i periodi di piena.

Cercare di incrementare la coltivazione del pioppo in Italia e nel mondo porterebbe degli enormi vantaggi all'ambiente.

Se si pensa ad un pioppeto come principale fornitore di materiale per l'industria del legno e per biomassa, le foreste rimarrebbero in gran parte intatte, e potrebbero svolgere la loro naturale azione di serbatoio di carbonio (Castro *et al.* 2014).

Il bilancio di stoccaggio di carbonio in pioppeto risulta essere sempre positivo, prevede l'apporto di piccoli apporti di fertilizzanti e di sostanze chimiche confrontati con altre piantagioni, grazie ai brevi turni di coltivazione può produrre grandi quantità di biomassa in sostituzione dei combustibili fossili.

Definito dal PEFC fonte di materia prima rinnovabile e detto anche "oro verde" per la grande capacità di trovare un compromesso tra economia ed ecologia, il pioppo risulta essere fondamentale per il raggiungimento della filiera corta nell'industria del compensato in Italia (Lavischi *et al.* 1997, Castro *et al.* 2014).



4. IL COMPENSATO

Il compensato è tra i prodotti a base di legno più conosciuti e sperimentati in tutti i campi, dall'architettura all'arredamento, dall'aeronautica alla nautica.

La sua storia risale agli antichi egizi e a popolazioni cinesi, che componevano con il laminato (tecnica di produzione del compensato) elementi di arredo, oggi considerati oggetti da museo.

Alla fine dell'800 vi furono i primi studi industriali sui pannelli di compensato e la nascita della filiera di produzione così come la conosciamo oggi.

Fin da subito i pannelli di compensato furono molto apprezzati; l'unico problema era nei metodi di incollaggio in quanto i collanti risultavano essere poco resistenti all'umidità, all'esposizione alla radiazione solare e vulnerabili all'acqua. Per questo l'utilizzo del compensato era limitato a zone interne delle abitazioni in luoghi non soggetti ad elevata umidità.

Negli anni '30 vi fu la grande svolta per l'industria del compensato, grazie al dottor J. Nevin, ingegnere chimico, che annunciò lo sviluppo di una colla imper-

meabile e assolutamente affidabile, aumentando le potenzialità di questo pannello (Shea, 1963; Firrone, 2010)

Il compensato è un prodotto a base di legno costituito da "piallacci" (che si dividono in tranciati e sfogliati a seconda della tecnica di produzione) [Fig. 4.1].

Gli sfogliati vengono poi essiccati e quindi incollati tra di loro con la fibratura incrociata in modo da ottenere un pannello più resistente e con le stesse (o simili) caratteristiche meccaniche in entrambe le direzioni principali. Da qui la denominazione di compensato: "la disposizione dei diversi strati di legno con fibratura incrociata "compensa le differenze tra le caratteristiche fisiche e meccaniche rilevabili nel piano del pannello" (Lavischi *et al.*, 1997).

In base agli adesivi ed ai trattamenti utilizzati per la composizione, possono essere adatti ad impieghi in ambienti interni o esterni.

Quando il numero degli sfogliati supera i 5 strati il pannello viene denominato multistrato.

La materia prima può derivare da dif-

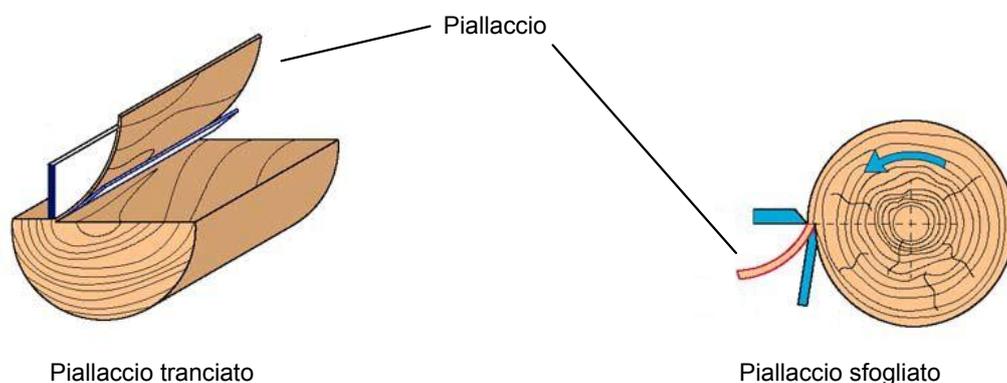


Figura 4.1 - Classificazione piallacci

ferenti specie arboree, a patto che sia possibile e vantaggiosa la lavorazione per sfogliatura e che rispettino gli standard estetici.

In Italia i legnami più utilizzati sono:

- Pioppo
- Pino
- Betulla
- Faggio
- Okoumè
- Obeche
- Fromager
- Teak
- Mogano

In generale, lo sfogliato ottenuto viene essiccato, levigato e sottoposto a selezione e taglio nelle dimensioni richieste. Lo spessore degli sfogliati non è univoco: dipende principalmente dalla specie arborea che andiamo a sottoporre a sfogliatura e dalla qualità del legno, ma anche dalle caratteristiche richieste per il prodotto finale. Le dimensioni si aggirano comunque tra 1,5 mm e 4,5 mm (Bernasconi, 2005).

Gli sfogliati, dopo la selezione, vengono sovrapposti in strati dispari, per mantenere una struttura simmetrica, e vengono spalmati gli strati dispari di miscela collante temoindurente su entrambe le facce, rendendo il tutto solido tramite pressatura ad un'apposita temperatura e pressione.

Il compensato viene spesso preferito ai prodotti in legno massiccio in quanto se ne possono superare i limiti dimensionali e tecnologici e vi è un maggiore e più efficiente impiego delle materie prime, ottimizzando le prestazioni e, grazie all'eventuale ricorso a specifici processi chimico-fisici, aumentandone la durabilità.

Inoltre il compensato registra un'ottima stabilità dimensionale: in confronto al legno massiccio subisce rigonfiamenti o ritiri molto più contenuti, grazie alla

stratificazione degli sfogliati, mostrando anche un'ottima resistenza meccanica in caso di sollecitazioni sia con forza parallela che perpendicolare alla superficie (Bernasconi, 2005).

Oggi il compensato è ancora molto usato e, grazie alle nuove tecnologie e alle materie prime utilizzate, sono nate interessanti varianti del tradizionale pannello per quando riguarda soprattutto la combinazione di elementi (film, verniciature, rivestimenti...) che lo rendono idoneo a tutti gli utilizzi e gli ambienti.

4.1 CLASSIFICAZIONE DEI PANNELLI DI COMPENSATO

I pannelli di compensato possono essere distinti in base a diverse caratteristiche dettate principalmente dalla normativa, o in base alle tipologie di pannello che esistono oggi sul mercato.

Classi di servizio.

L'Eurocodice 5 (UNI ENV 1995-1-1) dà 3 classi di servizio in base al clima di riferimento:

- Classe 1: l'umidità del legno corrisponde a quella di un'esposizione a temperatura di 20°C ed umidità relativa dell'aria superiore al 65% solo per poche settimane all'anno. In queste condizioni, l'umidità del compensato è inferiore al 12%;
- Classe 2: l'umidità del legno corrisponde a quella di un'esposizione a temperatura di 20°C ed umidità relativa dell'aria superiore all'85% solo per poche settimane all'anno. In queste condizioni, l'umidità del compensato è inferiore al 20%;
- Classe 3: Le condizioni climatiche fanno sì che il legno si equilibri ad umidità superiori a quelle previste

dalla classe 2.

Classi di durata del carico.

Lo stesso Eurocodice 5 prevede cinque classi relative alla durata del carico, dove vengono indicati i coefficienti modificativi dei valori caratteristici (k_{mod}) e delle deformazioni finali (k_{def}) [Tab. 1] (Lavischi *et al.*, 1997).

Classi di qualità del pannello: l'aspetto delle facce.

Classificati dalla normativa UNI EN 635 in funzione dei difetti naturali o di lavorazione presenti sulla superficie.

Questa classificazione ha due significati: fornire un riferimento estetico del pannello e tecnico, in quanto la presenza di difetti sulla superficie può influenzarne le prestazioni meccaniche.

Abbiamo quindi 5 classi:

- E: Non è ammesso alcun difetto.
- I: Faccia che può restare visibile, ideale per ogni tipo di finitura (laccatura, verniciatura trasparente, satinatura ecc.). Sono ammessi pochi nodi a spillo oppure sani ed aderenti senza fessurazioni. Ammesse anche colorazioni molto leggere, stuccature o lievi riparazioni ben eseguite e raccordate come colore con il resto della superficie.
- II: Faccia "naturale" con variazioni cromatiche e nodi sani, idonea per rivestimenti con laminato, vernici pigmentate o laccatura. Sono ammessi nodi sani aderenti fino al diametro di 35 mm; piccoli nodi cadenti o fessurazioni, purché ben stuccati. Ammesse inoltre colorazioni poco contrastate, occasionali macchie di adesivo, riparazioni e stuccature ben eseguite.
- III: Faccia "aperta", a richiesta stuccata, idonea per impieghi non visibili. Ammessi nodi sani aderenti fino ad

un diametro di 50 mm; nodi cadenti, fessurazioni, inclusioni di corteccia e sormonti. Ammesse le colorazioni purché sane, le macchie di adesivo, le riparazioni e stuccature di ogni entità.

- IV: Faccia di compensato destinato all'imballaggio o ad impieghi analoghi. Sono ammesse tutte le caratteristiche naturali del legno ed i diversi difetti di lavorazione, purché la loro entità non pregiudichi la funzionalità del pannello (ad es. non sono ammessi attacchi fungini e inclusione di corpi ferrosi).

I pannelli possono presentare le due facce con diversa classificazione come ad esempio la sigla E/I, dove una faccia è senza difetti, mentre l'altra presenta qualche minima imperfezione e risulta idonea alle finiture [Fig. 4.2].

Tolleranze dimensionali.

Dettate dalla UNI EN 315 per dare regole precise in base alle esigenze applicative, espresse con riferimento ad un'umidità del compensato compresa tra l'8% ed il 12% [Tab. 2] (Lavischi *et al.*, 1997).

Nei valori della tabella si tenga conto che i valori più bassi si applicano al compensato di minore massa volumica (es. Pioppo) mentre quelli più alti al compensato di maggiore massa volumica (es. Faggio) [Tab. 3] (Lavischi *et al.*, 1997).

Qualità dell'incollaggio.

La UNI EN 314-2 detta 3 classi di incollaggio, che risultano essere in linea con le classi di servizio elencate precedentemente (EC5), stilate in base ai requisiti richiesti di rottura a taglio e rottura coesiva nel legno.

Le prove non vengono naturalmente eseguite su pannelli nuovi, ma su pannelli sottoposti a variazioni di condizioni

temoigrometriche e a rigonfiamento e ritiro dati da situazioni in cui il materiale è realmente in opera.

Queste prove sono molto importanti per la classificazione dei pannelli in quanto sono proprio l'esecuzione dell'incollaggio e il tipo di colla utilizzata nella composizione che permettono alle tensioni di propagarsi per tutti gli strati di sfogliato, distribuendo in modo adeguato le tensioni di rigonfiamento e ritiro per tutto il pannello [Tab. 4-5] (Lavischi *et al.* 1997).

Durabilità biologica.

Altro criterio molto importante per la scelta di un pannello di compensato in base all'utilizzo è la sua durabilità.

Le norme della serie UNI EN 335 definiscono 5 classi sempre connesse all'ambiente circostante, quindi alle classi di servizio della EC5 per impieghi tradizionali; le ultime due invece sono pensate per gli impieghi non tradizionali.

Rilascio di formaldeide.

Questo dato risulta ormai essere molto rilevante, soprattutto quando si parla di pannelli per uso interno.

La norma di riferimento è la UNI EN 13986, appendice B, che classifica i pannelli a base di legno in 2 classi secondo il metodo dell'analisi dei gas:

- E1: rilascio $\leq 3,5 \text{ mg/m}^2 \text{ h}$
- E2: rilascio da 3,5 a 8 $\text{mg/m}^2 \text{ h}$

O secondo il metodo del perforatore:

- E1: rilascio $\leq 6,5 \text{ mg/100 g}$
- E2: rilascio da 8 a 30 mg/100 g

Le classificazioni sopra elencate naturalmente non sono le uniche, sono semplicemente le più comunemente utilizzate per pannelli standard, che non richiedono altri tipi di lavorazioni, resistenze o flessioni particolari.

Per alcuni impieghi infatti vengono richieste altre caratteristiche come l'attitudine alla finitura, determinate caratteristiche termiche (conducibilità, diffusività, stabilità dimensionale), comportamento al fuoco (reazioni, isolamento, tenuta, resistenza, stabilità), tenuta degli elementi di fissaggio, curvatura, permeabilità al vapore, caratteristiche acustiche (isolamento, assorbimento, ammortizzamento).

Il tutto regolato dalle normative UNI.



Classe E

Classe I

Classe II

Classe III

Classe IV

Figura 4.2 - Esempio di ogni classe di aspetto delle facce di pannelli in compensato di pioppo.

Classi di durata del carico	Classi di servizio (condizioni termoigrometriche)					
	1 - Interno		2 - Umido		3 - Esterno	
Permanente (>10 anni)	0,60	0,80	0,60	1,00	0,50	2,50
Lunga durata (6 mesi - 10 anni)	0,70	0,50	0,70	0,60	0,55	1,80
Media durata (1 settimana - 6 mesi)	0,80	0,25	0,80	0,30	0,65	0,90
Breve durata (<1 settimana)	0,90	0,00	0,90	0,00	0,70	0,40
Istantaneo	1,10	0,00	1,10	0,00	0,90	0,00

Tabella 4.1 - Classi di servizio e durata del carico tratte da EC5 (UNI ENV 195-1-1)

Sp. nominale "t" (mm)	Differenza massima fra 2 punti dello stesso pannello (mm)		Tolleranza sullo spessore nominale in ogni punto (mm)	
	Compensati LEVIGATI	Compensati NON LEVIGATI	Compensati LEVIGATI	Compensati NON LEVIGATI
≥3 / ≤12	0,6	1,0	+ (0,2 + 0,03 t)	+ (0,8 + 0,03 t)
>12 / ≤25	0,6	1,3	- (0,4 + 0,03 t)	- (0,4 + 0,03 t)

Tolleranze di rettilineità dei bordi e squadratura: 1mm/m

Tabella 4.2 - Tolleranze dimensionali del compensato tratte dalla norma UNI EN 315.

Dimensione	Variazione percentuale (tra lo strato anidro e quello di completa imbibizione)		Variazione percentuale (per ogni 1% di variazione dell'umidità di equilibrio)	
	Spessore	5 - 6 %		0,2 - 0,3 %
Lunghezza e larghezza	0,15 %		0,015 - 0,025 %	

Tabella 4.3 - Variazioni dimensionali del compensato tratto da "Guida all'uso del compensato in conformità alla norma UNI EN."

	Trattamenti preliminari	Miscele collanti
Classe I - Ambiente secco	> 24 h in acqua fredda (20°C)	Ureiche (UF)
Classe II - Ambiente umido	> 24 h in acqua fredda (20°C) > 6 h in acqua bollente, 1 h in acqua fredda	Melamin-ureiche (MUF)
Classe III - Ambiente esterno	> 24 h in acqua fredda (20°C) > 4 h in acqua bollente; 16-20 h di essiccazione, 4 h in acqua bollente, 1 h in acqua fredda > 72 h in acqua bollente, 1 h in acqua fredda	Fenoliche (PF) Melamin-ureiche (MUF) oppure Melaminiche (MF)

Tabella 4.4 - Trattamenti preliminari secondo la norma UNI EN 314-2.

Trattamenti preliminari	
Resistenza media a taglio (N/mm ²)	Percentuale media di rottura coesiva nel legno (%)
0,2-0,4	>80
0,4-0,6	>60
0,6-1	>40
>1	Nessun requisito

Tabella 4.5 - requisiti di incollaggio secondo la norma UNI EN 314-2.

Classificazione per tipologia di pannello: Compensati tradizionali.

Compensato tradizionale piano.

I compensati tradizionali sono i pannelli così come noi li conosciamo, costituiti da almeno 3 strati di sfogliato incollati tra loro a venatura incrociata, utilizzati principalmente per l'arredo o per rivestimenti interni ed esterni in base alle caratteristiche di tenuta all'acqua e all'umidità.

Le principali tipologie di compensato vengono descritte dalla norma UNI EN 313-1 "Pannelli di legno compensato - Classificazione e terminologia - Classificazione".

La norma elenca le tipologie più diffuse:



Figura 4.3 - Compensato (o multistrato se formato da più di 5 strati)

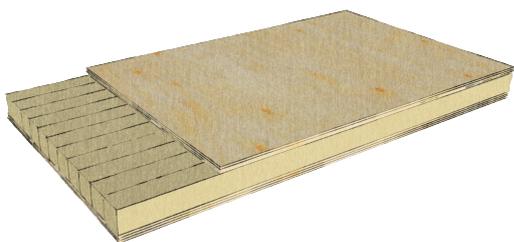


Figura 4.4 - Compensato ad anima listellare o "listellare"



Figura 4.5 - Compensato composito

Questi sono solo quelli descritti dalla norma: in commercio vi sono molteplici varianti di questi tre pannelli, differenti tra loro per estetica e prestazioni.

I pannelli tradizionali possono essere suddivisi per finitura superficiale:

- Grezzi
- Levigati
- Rivestiti

Con *Pannelli rivestiti* si intendono quei pannelli che vengono appunto rivestiti per esigenze estetico-funzionali. Possiamo, in base ai prodotti esistenti sul mercato, dare una definizione ad ogni rivestimento anche se spesso le denominazioni non sono unificate tra i vari produttori.

Per migliorarne l'estetica possono essere *Placcati* [Fig. 4.6] ovvero rivestiti con uno strato di trinciato decorativo su entrambe o su una delle facce. I rivestimenti possono essere in legno pregiato come ad esempio Acero, Betulla, Castagno, Ciliegio e molti altri oppure possono essere rivestiti con film plastici che simulano la venatura del legno.

Detti *controplaccati* quando entrambe le facce sono rivestite.

Sono indicati per applicazioni in cui prevalgono esigenze estetiche come nel settore dell'arredamento e della falegnameria (Adelizzi, 1999).

I *Pannelli Nobilitati* [Fig. 4.7] sono rivestiti con pannelli di sottile spessore di legno o di materiale diverso.

Tra i più comuni rivestimenti sintetici possiamo ricordare le carte decorative, pvc, abs, polietilene, polistirolo, carte turratori.

Sono spesso resistenti alle sostanze e ai liquidi e risultano essere facilmente pulibili ed alcuni possono essere verniciati.

Più economici dei pannelli placcati trovano largo impiego nel settore dell'arredo-

do, per la produzione di componenti di mobili più economici (Adelizzi, 1999).

I *Pannelli Laminati* [Fig.4.8] possono considerarsi pannelli nobilitati in cui la differenza sta nello spessore del rivestimento.

Il laminato infatti è costituito dalla sovrapposizione di più fogli di carta o altro materiale impregnati con resine termoidurenti; si possono suddividere in 2 categorie in base al processo di lavorazione:

- HPL: High Pressure Laminates, procedimento ad alta pressione;
- LPL: Low Pressure Laminates, procedimento a bassa pressione;

Questi ultimi si differenziano ancora per la tipologia di resine se melaminiche, poliesteri, ureiche-acriliche o acriliche-melaminiche.

Simili ai precedenti sono i *Resinati* [Fig. 4.9], rivestiti con uno strato di idonea miscela collante che ne garantisce maggiore impermeabilità, resistenza alle intemperie e ai prodotti chimici. Possono essere strutturali o meno, in base all'impiego desiderato. Vengono utilizzati principalmente nei mezzi di trasporto pubblici.

Per la realizzazione di componenti a basso pregio vi sono i *Pannelli con tessuti*: possono essere tessuti naturali o sintetici, pellami, finte pelli o riproduzioni di foto.

Per aumentare le proprietà meccaniche del pannello invece di quelle estetiche i compensati possono essere rivestiti da *elementi metallici* [Fig. 4.10].

Tra i più comuni abbiamo:

- Pannelli con metallo laccato per effetti cromatici e per maggior durezza, tenuta e resistenza all'urto;
- Pannelli con supporto cellulosico rivestito con lamina di alluminio, facil-

mente curvabile;

- Pannelli stratificati o strutturali, che, nonostante l'esiguo spessore, garantiscono elevate resistenze fisiche, meccaniche e tecnologiche.

Oltre alle modifiche apportate al pannello principalmente, o quasi, per ragioni estetiche vi sono anche *pannelli speciali impregnati* che grazie a diversi trattamenti effettuati con prodotti chimici garantiscono prestazioni di tenuta all'acqua, al fuoco e agli attacchi di insetti e funghi.

I trattamenti possono essere superficiali, quindi seguendo più o meno la stessa linea dei pannelli rivestiti, o nella struttura, amalgamando le sostanze protettive all'interno della miscela adesiva.

Tra questi pannelli appositamente trattati possiamo ricordare (Adelizzi, 1999):

- *Pannelli di compensato idrorepellenti*: resistenti all'umidità, adatti ad ambienti in cui si verificano sbalzi di umidità e temperatura.
- *Pannelli di compensato ignorigeranti*: trattamento che permette al pannello di ritardare l'azione delle fiamme anche fino a 60 minuti.
- *Pannelli antiparassiti*: resistono in modo efficace agli attacchi di microrganismi, batteri e licheni, evitando che ne vengano compromesse le caratteristiche dopo un attacco. Meglio noti come pannelli anti muffa.

Compensato tradizionale curvato.

I pannelli di compensato curvato o sagomato sono nella struttura identici ai pannelli piani; la differenza sta nelle tecniche di fabbricazione, nelle quali il composto di sfogliati viene piegato in forme curve in funzione della destinazione d'uso [Fig. 4.11].

Vi sono differenti tecniche di fabbricazione per comporre un oggetto curvando il

compensato:

- Sagoma, controsagoma e pressa a vapore: si dispone il pacco di fogli già incollato su una sagoma e controsagoma, successivamente il lavoro di una pressa - più l'azione del calore - consente la curvatura del componente e la corretta adesione degli strati. Sistema utilizzato per la composizione di pezzi cilindrici.
- A guscio: si dispone il pacco su una sagoma a forma di cupola e si appoggia su di esso un sacco di gomma in cui viene inserito un fluido che provoca il perfetto adattamento del pannello alla sagoma.
- Alta frequenza: utilizzando adesivi sintetici ad alta pressione e sottoponendo il pannello a riscaldamento per perdite dielettriche possiamo ottenere pannelli curvati in minor tempo.

I pannelli di compensato curvati sono utilizzati principalmente per comporre elementi d'arredo, quali sedute, mobili, elementi scenografici (Adelizzi, 1999)

Compensato tradizionale prefinito.

Sono tradizionali pannelli di compensato a cui vengono conferite determinate proprietà estetiche e funzionali attraverso apposite lavorazioni.

In base alla lavorazioni i pannelli assumono diverse denominazioni, anche se non sempre sono unificate per tutti i produttori (Adelizzi, 1999).

- I *pannelli postformati* sono quegli elementi che sono già finiti in tutti i sensi: nel formato, nel disegno, nella finitura e bordi, tutti personalizzati in base alle esigenze del cliente. Le principali postformature richieste riguardano soprattutto la lavorazione degli spigoli ed il loro conseguente rivestimento, ad esempio, per la creazione di piani da lavoro con spigoli

arrotondati o smussati.

- I *pannelli postformati prefiniti*, oltre ad avere tutte le lavorazioni del precedente, possono anche presentare requisiti come impermeabilità, facilità di pulizia, mantenimento dimensionale e della planarità.
- I *pannelli pressati a rilievo* sono creati dall'inserimento del compensato all'interno di una pressa con stampi in duralluminio che, lavorando a caldo ed elevata pressione, conferisce all'elemento l'aspetto richiesto. Questo sistema è usato per la produzione di ante di mobili, persiane, o qualsiasi elemento d'arredo che presenta una qualsivoglia decorazione.
- Differenti dai pannelli postformati sono i pannelli prefiniti per la verniciatura o per la laccatura.
- I pannelli stampati infine sono trattati attraverso la prima applicazione del fondo che genera il colore base della stampa e la successiva applicazione di varie mani di tinta; il tutto viene fatto essiccare all'aria calda. Quando il pannello sarà pronto, attraverso dei rulli in acciaio, verrà riportata il disegno finale (solitamente l'imitazione di specie legnose più pregiate), impresso sulla superficie da specifiche tinte. La fase finale è quella di finitura, nella quale viene ricoperto con vernice nitro-ureica e viene effettuato il controllo sulla stampa, per essere certi che essa sia venuta come richiesto. Questi pannelli vengono impiegati per la produzione di mobili e arredi economici.

Classificazione per tipologia di pannello: Compensati con anima.

Detti anche pannelli paniforte, o semplicemente "paniforti", sono composti da due superfici ottenute da uno o più sfogliati e da un inserto centrale costituito da inserti di legno di diversa sezione. In

base alle caratteristiche dell'inserito si possono dividere in pannelli listellari, lamellari o a blocchetti.

In generale sono pannelli che presentano una struttura reticolare organizzata, utile ad attribuire al componente buona stabilità dimensionale e discreta flessibilità. I pannelli di compensato che ne compongono le facce di chiusura possono essere trattati e rivestiti in tutti in modi prima citati.

I *paniforti di tavole o tavolette* sono caratterizzati da 2 strati di compensato ed inserto di tavolette incrociate per compensare la direzione delle fibre [Fig. 4.12].

Sono molto utilizzati per la realizzazione di componenti edili.

I *paniforti listellari* sono sempre composti da 2 strati di compensato e l'interno è costituito da listelli solitamente derivati da legno leggero (come il pioppo), aventi stessa sezione ma lunghezza anche variabile [Fig. 4.13].

I listelli vengono disposti a fibratura perpendicolare a quella dei pannelli di rivestimento per compensare le tensioni del legno e omogeneizzarne il comportamento.

Altra variante caratterizzata sempre dalle medesime caratteristiche compositive sono i *paniforti lamellari*, del tutto simili ai listellari ma con un inserto costituito da lamelle incollate tra loro di costa, con la fibratura parallela a quella degli strati esterni [Fig. 4.14].

Variante di questi ultimi sono i pannelli *paniforti listellari e lamellari a più strati*. Essi sono costituiti da uno o più strati lamellari/listellari interrotti da uno sfogliato; questo con lo scopo di aumentare le proprietà tecnologiche e tecniche.

I *paniforti a blocchetti* invece sono re-

alzzati con blocchetti in legno con la sezione trasversale a contatto con le facce. Sono poco utilizzati nell'arredo in quanto troppo costosi; la principale caratteristica di questo pannello è la sua elevata resistenza a compressione.

Sempre per quanto riguarda i pannelli di compensato con anima, possiamo distinguere un'altra categoria relativa ai *pannelli tamburati* [Fig. 4.15].

Essi sono veri e propri pannelli di compensato, composti da due superfici di chiusura, da un telaio perimetrale e da un'anima "porosa": essa infatti è disposta in modo da lasciare dei vuoti, solitamente a forma di celle o alveoli.

Per quanto riguarda l'interno del pannello si possono utilizzare differenti materiali come liste di segato o di sfogliato, sottili strisce di compensato curvato, strati di carta ondulata, strati di cartone a nido d'ape o acetato di cellulosa espansa e prodotti analoghi.

Questi pannelli vengono utilizzati principalmente per ante di porte, elementi voluminosi di mobili e tavoli e piani di lavoro.

Per ogni utilizzo i pannelli vengono appositamente rinforzati in prossimità, ad esempio per le porte, delle cerniere e della serratura; comunque rinforzati in ogni punto in cui il pannello debba subire una connessione o garantire resistenza a determinate sollecitazioni.

Classificazione per tipologia di pannello: Compensati composti o pannelli sandwich.

Questi tipi di pannelli di compensato sono quelli maggiormente utilizzati in edilizia per chiusure verticali e orizzontali, in quanto possono garantire funzioni strutturali, termoisolanti, isolamento acustico o semplicemente di finitura estetica come nel caso delle coperture. Alcuni speciali pannelli trovano comun-

que uso anche nella nautica e nell'industria dell'imballaggio.

I pannelli sandwich sono costituiti da due facce esterne di chiusura del pannello in compensato ad elevata resistenza meccanica incollate ad un inserto centrale costituito da diversi materiali, sintetici o meno, che possono soddisfare uno dei requisiti sopra elencati.

I più comuni in commercio sono:

- pannelli sandwich con una o più lastre di polistirene espanso [Fig. 4.16]
- pannelli sandwich con lastra di polistirolo granulare
- pannelli sandwich con lastra di pvc [Fig. 4.17]
- pannelli sandwich con lastra di sughero ricomposto [Fig. 4.18]
- pannelli sandwich con lastra di gesso
- pannelli sandwich con lastra di gomma semi rigida/sughergomma [Fig. 4.19]
- pannelli sandwich con inserto in struttura reticolare in legno a celle piene di polistirene
- pannelli sandwich per pavimenti, pareti esterne o pareti interne, per autoveicoli, carrozze ferroviarie, imbarcazioni.

Classificazione per tipologia di pannello: Compensato strutturale: pannello X-LAM.

I moderni pannelli X-LAM (o Cross Lam) sono molto simili a dei pannelli di compensato: ne differiscono per la struttura. Mentre quelli tradizionali sono composti da sfogliati di legno, l'X-LAM è composto da tavole incollate tra loro.

I pannelli X-Lam sono relativamente recenti in confronto ai tradizionali pannelli di compensato: nascono in Austria e Germania alla fine degli anni '90, esito di diversi studi su come utilizzare il legno

come elemento strutturale di grandi dimensioni per la costruzione (Bernasconi, 2010).

I pannelli X-Lam sono pannelli a strati di tavole incrociati, con spessore dai 15 ai 30 mm, di grandi dimensioni, con strati variabili in base alla funzione.

Le tavole vengono incollate a strati dispari in modo che la fibratura di ogni strato sia ruotata di 90°.

Il numero minimo di strati è di 3 e si può arrivare ad un massimo di 9.

Come materia prima vengono principalmente utilizzate le conifere, come in tutti gli elementi strutturali in legno, ed in particolar modo l'abete: vi sono diversi ambiti di ricerca per verificare la possibilità di impiego di altre specie legnose, come ad esempio il larice e la douglasia.

Gli adesivi sono quelli utilizzati per garantire le prestazioni strutturali del legno lamellare: dai classici a base di formaldeide ai più recenti a base di poliuretani. Al contrario del compensato, i pannelli X-Lam non sono regolamentati da norme specifiche, ma occorre seguire le leggi e le norme che regolano la produzione degli elementi in legno strutturale; ci si può quindi appoggiare alle norme sul legno lamellare.

Ciò però comporta molte differenze tra i produttori e risulta difficile parlare di compensato strutturale X-Lam: le aziende non seguono un criterio di produzione univoco e ognuna propone sul mercato formati diversi senza che si possano classificare formati standard.

I pannelli X-Lam nascono principalmente piani, ma si possono pensare anche varianti curve, che comportano processi produttivi differenti e più impegnativi.

Produzione.

La produzione dei pannelli in compen-

sato strutturale somiglia in tutto e per tutto alla produzione dei compensati tradizionali. Differisce per alcuni passaggi in quanto i pannelli strutturali possono arrivare anche a 2,40 m quindi le verranno giuntate tra di loro prima di passare all'incollaggio degli strati.

Finitura.

La finitura dei pannelli può essere richiesta in base all'utilizzo.

Si può pensare ad un pannello grezzo o a pannelli faccia a vista: se per esigenze progettuali dovesse servire un pannello faccia a vista è possibile richiedere che gli strati esterni siano di maggior pregio (senza difetti e senza che le giunzioni tra tavole siano troppo accentuate) oppure si può pensare al rivestimento con uno strato a scelta.

Si parla comunque di processi particolari, non sempre facili e veloci.



Figura 4.6 - Pannello placcato



Figura 4.9 - Pannello resinato



Figura 4.7 - Pannello nobilitato



Figura 4.10 - Pannello con elementi metallici



Figura 4.8 - Pannello laminato metallico



Figura 4.11 - Pannello flessibile



Figura 4.12 - Pannello paniforte tavolo



Figura 4.16 - Anima in polistirene (per sottotetti)



Figura 4.13 - Pannello paniforte listellare



Figura 4.17 - Anima in pvc espanso



Figura 4.14 - Paniforte lamellari



Figura 4.18 - Anima in sughero



Figura 4.15 - Paniforte tamburati



Figura 4.19 - Anima in sughergomma

4.2 LA PRODUZIONE

La produzione dei pannelli di compensato è generalmente simile in tutte le aziende specializzate: vi sono differenze di macchinari, personale e a volte di prodotti, ma il concetto rimane sempre lo stesso.

Il processo approfondito illustrato in questa tesi è basato sulla produzione della E. Vigolungo, azienda che ha collaborato alla realizzazione della tesi.

Deposito.

In primo luogo i topi basali preparati in pioppeto vengono trasportati e sistemati nel piazzale (o in spazi appositi) dell'azienda, ove vengono sottoposti a selezione in base al diametro e alla lunghezza [Fig. 4.20].

Nei periodi in cui le temperature si abbassano è indispensabile - prima di eseguire qualsiasi tipo di lavorazione sul tronco - riscaldarli per riportare il legno all'umidità e temperatura ottimali.

In diverse aziende vi sono appositi spazi (capannoni o simili) in cui i tronchi vengono sistemati in modo da "sgelarli" [Fig. 4.21]. Questi spazi possono ricavare il calore da centrali termiche alimentate a biomassa presenti in azienda.

Scortecciatura.

Il tronco viene sottoposto a scortecciatura attraverso apposite macchine completamente automatiche che rilevano il diametro del tronco ed eseguono l'operazione attraverso coltelli rotanti [Fig. 4.22]; la corteccia viene recuperata per la combustione in caldaia a biomassa (se presente in azienda).

Sfogliatura.

Attraverso dei rulli il tronco scortecciato viene inviato alla macchina sfogliatrice. Anche questa lavorazione risulta essere completamente automatizzata. All'ingresso il tronco viene centrato tra-

mite dei sensori laser nella posizione ottimale per massimizzare le rese di lavorazione (identificando in pratica il massimo cilindro ricavabile nel tronco).

Spinto in prossimità delle lame si esegue una prima "limata" per renderlo perfettamente cilindrico; quando il macchinario rileva un cilindro perfetto inizia la sfogliatura vera e propria, ottenendo così il foglio dello spessore richiesto, che verrà tagliato e selezionato nelle dimensioni adatte tramite taglierinatura [Fig. 4.23]. Periodicamente, con l'impiego, le lame per la sfogliatura si consumano: finché è possibile, esse vengono riaffilate (praticamente tutte le ditte dispongono di appositi macchinari in azienda), poi smaltite e sostituite con altre nuove.

Da questo processo abbiamo degli scarti: il tondello, ovvero la parte interna del tronco [Fig. 4.24], che viene recuperato e spesso venduto ad aziende produttrici di pallet e cassette, e i primi scarti di tronco, che vengono triturati ottenendo del cippato che può essere riutilizzato per la combustione in centrali a biomassa [Fig. 4.25].

Essiccazione.

Lo sfogliato viene successivamente trasportato presso l'essiccatore dove vengono posizionati adeguatamente e fatti entrare in un macchinario ad alta temperatura (intorno ai 170 °C), che ne riduce drasticamente l'umidità (dal 50% al 5%), garantendone la stabilità [Fig. 4.26].

Selezione.

All'uscita dall'essiccatoio gli sfogliati vengono selezionati in base a caratteristiche estetiche, qualitative e tecniche a seconda delle successive lavorazioni.

La selezione può avvenire manualmente o tramite macchinari appositi [Fig. 4.27]: questi ultimi selezionano gli sfogliati tramite una telecamera che viene tarata da un operatore in base ai criteri richiesti e che, studiando la faccia dei pannelli, li

suddivide automaticamente secondo le differenti classi previste dalla norma UNI.

Incollaggio.

Con questa fase inizia la composizione del pannello.

Gli sfogliati vengono inviati tramite rulli o muletti alla macchina di incollaggio, solitamente composta da rulli controrotanti ricoperti da uno strato di colla, attraverso il quale passa lo sfogliato [Fig. 4.28]. Gli sfogliati che vengono "incollati" sono solitamente orientati in direzione trasversale, mentre quelli longitudinali vengono inseriti senza il passaggio dai rulli incollanti.

Gli ultimi spessori aggiunti sono le facce esterne, di qualità solitamente superiore a quella degli strati interni (o di legni differenti se richiesti): questa operazione viene svolta per la maggior parte dei casi manualmente [Fig. 4.29].

Pressatura.

Il "materasso" composto precedentemente viene inviato alla pressa [Fig. 4.30]; il prodotto viene sottoposto a pressatura per circa 3-6 minuti ad una temperatura di 100-105 °C, in modo da far avvenire la polimerizzazione della colla, ottenendo così il pannello di compensato con le caratteristiche idonee ai vari impieghi.

Sbiancatura.

Per i pannelli che necessitano di tale trattamento di solito viene previsto il passaggio alla macchina sbiancante, che spruzza acqua ossigenata sulle facce dei pannelli per ottenere l'effetto richiesto.

Stuccatura.

Al termine della pressatura il pannello viene convogliato tramite rulli verso un operatore che ne verificherà l'adeguatezza dimensionale (spessore) e delle facce: se necessario, quindi in caso di

evidenti difetti superficiali, provvederà alla stuccatura, apponendo manualmente uno stucco dello stesso colore della faccia del pannello [Fig. 4.31].

Giuntatura.

In fase di selezione spesso vengono segnalati sfogliati fuori misura: questi non vengono scartati ma vengono inviati ad una macchina giuntatrice.

Lo scopo è quello di giuntare gli sfogliati fuori standard ricomponendo fogli di dimensioni standard da reimmettere nel processo produttivo.

Squadratura.

Dopo essere stati stuccati e controllati i pannelli vengono inviati alla squadratrice, in quanto i lati del pannello a questo stadio risultano ancora irregolari.

Attraverso l'impiego di seghe circolari vengono regolarizzati tutti e quattro i lati in modo da ottenere un pannello, perfettamente squadrato, delle dimensioni richieste [Fig. 4.32].

Gli scarti prodotti da questa operazione sono i listelli residui del taglio: questi elementi non possono essere inviati ad eventuali caldaie a biomassa in quanto contaminati da colla e quindi, nella maggior parte dei casi, vengono inviati a rifiuto.

Levigatura.

Al termine della filiera vi è la levigatura [Fig. 4.33], che consiste nell'eliminare eventuali imperfezioni e portare entrambe le facce allo spessore richiesto, sfregando il pannello con carta abrasiva.

Successivamente, prima dell'imballaggio, il pannello viene ancora selezionato in base alle caratteristiche interessate.

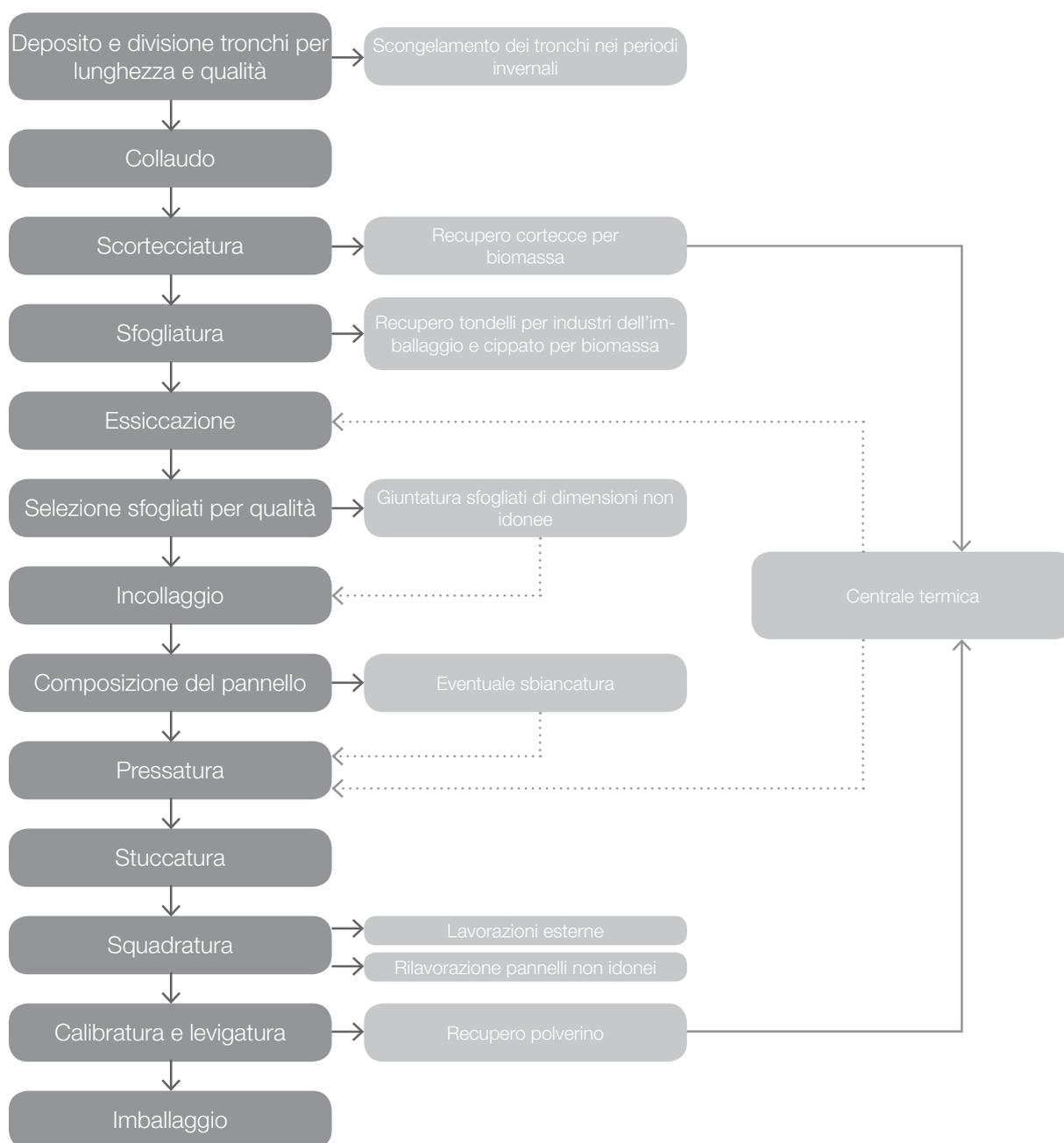
Alcuni pannelli possono risultare ancora non idonei e vengono quindi accatastati separatamente per sottoporli nuovamente al passaggio nel macchinario da levigatura.

Imballaggio e spedizione.

I pannelli vengono disposti per dimensioni e qualità delle facce ed imballati: vi sono diversi metodi e tipi di imballaggio, dipende dall'azienda. La Vigolungo, ad esempio, effettua un imballaggio minimo, costituito da fascette in acciaio e

cartoni angolari riportanti il logo dell'azienda e le descrizioni necessarie all'identificazione del pannello [Fig. 4.34].

Dopo la fase di confezionamento il prodotto è pronto per essere caricato e trasportato.



Flow chart esemplificativo del processo produttivo dell'azienda E. Vigolungo di Canale (CN)



Figura 4.20 - Deposito tronchi



Figura 4.23 - Sfogliatura



Figura 4.21 - Capannone per scongelamento



Figura 4.24 - Scarto da sfogliatura: tondeilli



Figura 4.22 - Scortecciatura



Figura 4.25 - Scarto da sfogliatura: cippato



Figura 4.26 - Essiccazione



Figura 4.29 - Composizione dei pannelli



Figura 4.27 - Selezione sfogliati



Figura 4.30 - Pressatura



Figura 4.28 - Incollaggio



Figura 4.31 - Stuccatura



Figura 4.32 - Squadratura



Figura 4.33 - Levigatura



Figura 4.34 - Imballaggio e consegna

4.3 GLI ADESIVI

L'aspetto che più penalizza i pannelli a base di legno, non solo il compensato, sono le tipologie e la quantità di adesivi a base di resine sintetiche che vengono utilizzati per far sì che il pannello possa rispettare determinate richieste di prestazioni meccaniche.

Lo scopo degli adesivi è quello di creare un elemento unico attraverso un legame forte e permanente: nel nostro caso servono a tenere uniti i vari strati di sfogliato in modo da garantire la funzione strutturale, come se fosse un pannello monolitico.

La maggior parte degli adesivi richiedono una applicazione allo stato liquido, in modo che la miscela collante possa scorrere per tutta la superficie insinuandosi anche nei pori più piccoli; l'adesione avviene per polimerizzazione e conseguente solidificazione.

In origine le colle erano costituite da sostanze derivate dalla cottura e macinazione di parti animali, vegetali e minerali. Le colle ottenute con questi procedimenti risultavano essere resistenti, elastiche e reversibili: aspetti molto importanti per l'utilizzo sul legno, materiale "vivo", che si deforma in base alle condizioni ambientali e all'umidità.

Alla fine degli anni Quaranta entrarono in commercio le colle sintetiche, che diedero una forte spinta all'industria del legno. Questi adesivi risultano essere più forti e resistenti, garantendo giunzioni più robuste (Firrone, 2010).

Come citato nel capitolo 2.2.1 la UNI EN 314-2 definisce 3 classi di incollaggio, in linea con le classi di servizio elencate dalla EC5 in base ai requisiti richiesti di rottura a taglio e rottura coesiva nel legno.

Inoltre, per i pannelli di compensato uti-

lizzati come elementi in alcune strutture, non vi è una norma europea che classifichi gli adesivi da poter utilizzare in questi prodotti: ci si riferisce dunque alle norme nazionali (BS e DIN).

Vi sono due metodi principali per classificare gli adesivi esistenti in commercio: per natura chimica del polimero presente in maggiore quantità o per meccanismo di indurimento.

Spesso gli adesivi vengono classificati esclusivamente per composizione chimica, nonostante la classificazione per meccanismo di indurimento sia più completa (Cope *et al.*, 2005).

I polimeri per la composizione degli adesivi.

I polimeri utilizzati all'interno degli adesivi appartengono a differenti classi in base alle loro caratteristiche:

- *Termoindurenti*: in questa famiglia sono comprese le resine a base di formaldeide, melammine, fenoli, poliuretano, resorcina, resine epossidiche. Questi tipi di adesivi sono molto resistenti al calore, ai solventi, a sostanze chimiche e alle sollecitazioni meccaniche.
Vengono applicate sul componente a caldo (100-185°C) in modo da far compiere la polimerizzazione della resina con la lignina: vengono così definite irreversibili.
Possono disperdere in ambiente esalazioni tossiche.
- *Termoplastici*: comprendono poliamidi, policarbonati, polietilene, polistirene, polietilentereftalato.
Detti anche termoplastici vengono applicati sulla superficie dopo la fusione del collante alla temperatura di 200-300°C. L'incollaggio è reversibile in quanto fondono nuovamente alla temperatura di 60-100°C.
Non vengono utilizzati nei prodotti a base di legno.

- *Elastomeri*: EPDM, fluorocarburi, nitrile, polibutadine, siliconi, resine naturali.
- *Fibre artificiali*: carbone, vetro.

Classificazione degli adesivi in base all'impiego e alla funzione:

- *Strutturali*: sono adesivi a cui viene richiesto principalmente di trasferire i carichi tra le parti del componente. Sono generalmente resine termoindurenti, ma vi sono alcuni adesivi strutturali termoplastici (resine acriliche). Sono gli adesivi più utilizzati per i componenti ingegneristici base-legno.
- *Adesivi a caldo*: Includono i polimeri termoplastici. Molto utilizzati nell'industria dell'imballaggio e dei libri, sono meno resistenti e non sono quindi previsti utilizzi strutturali.
- *Adesivi sensibili alla pressione (PSA-Pressure Sensitive Adhesives)*: generalmente vengono commercializzati sotto forma di pellicole e tessuti. Possono essere costituiti da polimeri naturali (gomma) o da polimeri più resistenti come le resine acriliche. Sono sviluppati per aderire alla minima pressione.
- *Adesivi a base acqua*: sono costituiti da polimeri naturali (cellulosa, amido) o sintetici (ad esempio il polivinilacetato) dispersi in acqua.
Vengono utilizzati nell'industria dell'imballaggio, anche se ne viene trovato notevole impiego in ambito edilizio, dove l'utilizzo di materiali a bassa emissione di VOC (Composti Organici Volatili) e privi di sostanze tossiche per l'uomo è entrato nella pratica comune.
- *Adesivi foto-polimerizzanti*: questi adesivi possono polimerizzare a temperatura ambiente se sottoposti all'azione di radiazione UV, IR e microonde, garantendo l'incollaggio anche su materiali sensibili al calore.

Sono ancora poco utilizzati in quanto il processo produttivo e i dispositivi utilizzati sono costosi. I campi di applicazione sono comunque ampi: dall'automotive all'ottica, dall'elettronica alla medicina o, più semplicemente, l'industria dell'imballaggio.

- Adesivi ad alta temperatura: divisibili in 3 classi, in base alla temperatura di polimerizzazione (in generale, tra 120 °C per i poliuretani e 260 °C per le poliammidi).

Sono adesivi molto particolari e resistenti, e vengono utilizzati nell'automotive, in aeronautica e nell'industria aerospaziale.

Devono garantire forte tenuta agli sbalzi termici, all'umidità e alla permanente esposizione ai raggi solari.

- Adesivi conduttori: adesivi utilizzati per l'unione di metalli conduttori di calore/elettricità o, al contrario, per garantire l'isolamento elettrico. Sono utilizzati principalmente per l'adesione di cavi in circuiti combinati. Le resine epossidiche, i poliuretano e le poliammidi sono le resine più utilizzate. Sono molto costosi a causa dell'aggiunta di metalli nobili come l'argento e il palladio.
- Adesivi nanocompositi: gli adesivi nanocompositi possono essere utili per applicazioni in tutti gli ambiti, dalla medicina all'edilizia, ma presentano ancora un costo elevato.

Classificazione degli adesivi per meccanismo di indurimento.

il meccanismo di indurimento è molto importante perchè non tutti i materiali possono essere sottoposti, ad esempio, ad alte temperature. Si suddividono in meccanismi:

- Attivati da solventi: organici che possono essere altamente incendiabili e/o che possono provocare problemi alla salute.
- Attivati da acqua: l'acqua sostituisce

i solventi organici. Si tratta di alcool polivinilico, amido e colle di proteine. Risultano essere meno nocivi per la salute umana.

- Attivati da calore: solitamente sono a base di gomma, polimeri vinilici, fenolo e cellulosa.
- Fusi a caldo: si parla principalmente dei polimeri termoplastici, non volatili. Producono un legame adesivo principalmente meccanico.
- Film adesivi: sono simili per attivazione ai precedenti, in quanto per la polimerizzazione è necessario apportare calore ed esercitare pressione. Sono connotati dalla presenza di tessuti o panni.

Adesivi per prodotti a base di legno.

Non tutti i polimeri e gli adesivi sono adatta per essere utilizzati nei pannelli di compensato, come, ad esempio, gli adesivi composti da polimeri termoplastici. Comunemente vengono impiegati quelli facenti parte della famiglia dei termoindurenti.

I più comuni sono a base di formaldeide:

- Urea-formaldeide (UF): questi adesivi sono ottenuti dalla reazione tra urea e formaldeide. Possiamo trovarli in commercio in forma liquida o in polvere e reagiscono indurendosi a temperature > 10°C. Sono ideali sia per compensati non strutturali che strutturali. L'incollaggio può aver luogo a freddo (adesivi strutturali) o per pressatura a caldo (adesivi non strutturali). Sono adesivi a basso costo, adatti agli ambienti interni, e sono resistenti ma fragili; le tensioni naturali del legno possono danneggiare l'adesivo, limitandone nel tempo l'efficacia.

Le caratteristiche di resistenza dipendono dal contenuto di formaldeide: più è elevato e maggiore sarà la tenuta dell'adesivo. Per contro, maggiore è il contenuto di formal-

deide e tanto più elevate saranno le emissioni in ambiente durante la fase di utilizzo dell'elemento.

- Melammina-urea-formaldeide (MUF): sono adesivi molto simili ai precedenti (UF). In questi adesivi una parte di urea viene sostituita con una parte di melammina, per aumentare le caratteristiche di resistenza all'acqua e alle intemperie. Sono molto utilizzati nell'industria del compensato e vengono spesso stesi a caldo. Come gli adesivi UF possono essere applicati a freddo per essere conformi alla normativa sui collanti strutturali.
- Fenolo-formaldeide (PF): induriscono per reazione tra fenolo e formaldeide in ambiente con determinate caratteristiche (alcalino (catalisi basica) ad elevata temperatura). Si trovano sul mercato in forma liquida, in polvere o in pellicola. Presentano colorazione scura e possono essere pericolosi se vengono a contatto con la pelle. Nonostante ciò, le emissioni di formaldeide sono inferiori a quelle degli adesivi MUF. Vengono utilizzati per la composizione di compensati strutturali e marini e dopo l'applicazione vengono pressati a caldo, anche se vi è la possibilità di eseguire l'indurimento a freddo.
- Fenolo-resorcinolo-formaldeide (PRF): sono ottenuti facendo reagire il resorcinolo con la formaldeide. Una parte di resorcina (essendo molto costosa) viene spesso sostituita da fenoli più economici. Queste resine formano con la formaldeide legami molto forti che resistono all'acqua e alle intemperie. Per ciò questo adesivo viene spesso impiegato in strutture e componenti destinati all'esterno.

Il grande problema degli adesivi chimici è legato alle emissioni di sostanze facenti parte dei composti organici volatili (VOC). in particolar modo i termoindu-

renti rilasciano in ambiente grandi quantità di formaldeide.

La formaldeide è una sostanza tossica e nociva per l'uomo: se inalata può provocare irritazione degli occhi e delle vie respiratorie e nei casi più gravi asma. Da analisi di laboratorio è stato provato che la formaldeide provoca carcinomi nasali in ratti e topi se sottoposti ad una esposizione prolungata a 14,1 e 5,6 mg/L. Questi risultati portano dunque a una grande attenzione per quanto riguarda le emissioni in ambienti interni (Eshaghi, 2013).

Il Ministero della Salute la considera estremamente pericolosa se presente in grandi quantità nell'ambiente e nella circolare n. 57 del 22 giugno 1983 viene riportato il limite massimo di 0,1 ppm (124 µg/m³) negli ambienti di vita, in quanto considerata una sostanza con sospetta cancerogenità.

In Italia la formaldeide è regolamentata, per quanto concerne il settore del legno-arredo dal Decreto Ministeriale del 10 Ottobre 2008 "che vieta la commercializzazione di prodotti che utilizzano pannelli a base legno con valori di emissione di formaldeide superiori a 0,1 ppm (0,124 mg/m³)" (www.cosmob.it/2016/3/16/formaldeide-aggiornamento-normativo) secondo quanto indicato nella norma UNI EN 13986.

Le norme in particolare sono:

- UNI EN 13986:2015 "Pannelli a base di legno per l'utilizzo nelle costruzioni - Caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura": fissa le classi di emissione di formaldeide in Europa dei pannelli a base di legno: E1 o E2 (è prevista in futuro la classe E1 plus). La classe di emissione viene assegnata al prodotto sulla base di prove iniziali e di prove periodiche di controllo della produzione.
- UNI EN 717-1:2004: "Misurazione delle concentrazioni di equilibrio":

indica la metodologia di misurazione delle concentrazioni di equilibrio (prove iniziali).

- UNI EN ISO 12460-3:2015 (in sostituzione della norma UNI EN 717-2) “Metodo di analisi del gas”: la norma specifica una procedura per la determinazione del rilascio accelerato di formaldeide dai pannelli (prove periodiche di controllo della produzione) (www.cosmob.it/2016/3/16/formaldeide-aggiornamento-normativo).
- UNI EN ISO 12460-5:2016 (in sostituzione della norma UNI EN 120) “Metodo di estrazione”: La norma specifica il metodo “di perforazione” utilizzato per determinare il contenuto di formaldeide (prove periodiche di controllo della produzione) (www.cosmob.it/2016/3/16/formaldeide-aggiornamento-normativo).

La formaldeide viene rilasciata in ambiente a causa di una mancata polimerizzazione di alcune molecole, che, rimanendo libere, trovano una via di fuga verso l'esterno, disperdendosi in ambiente (Firrone, 2010).

Per ciò da questo punto di vista risulta molto importante la scelta di prodotti certificati con classi di emissione di formaldeide adeguate, elencati nel capitolo 2.2.1. In particolare la classe E1, che prevede un rilascio di formaldeide inferiore a 3,5 mg/m²h [Tab. 4.6].

Le colle più pericolose per quanto riguarda l'emissione di VOC in ambiente

sono le urea-formaldeide (UF) e le melamina-urea-formaldeide (MUF).

Le altre colle, come ad esempio le fenolo-resorcinolo-formaldeide (PRF) hanno delle emissioni molto basse, vicine a quelle naturali del legno.

Nonostante gli studi che ne dimostrano la pericolosità e i tentativi di applicazione di altre colle a basso o nullo contenuto di formaldeide, le più utilizzate dai produttori di pannelli a base di legno rimangono ancora le UF e le MUF [Fig. 4.35].

Tra gli adesivi a basso o nullo contenuto di formaldeide ricordiamo:

- Fenolo-resorcinolo-formaldeide (PRF): non vi è assenza di formaldeide, ma nonostante sia tossico al contatto, quando indurito risulta essere completamente innocuo.
- Polivinilacetato (PVAC): completamente senza formaldeide, quindi sicuro per impieghi interni e la salute. Risulta però non essere completamente impermeabile e non reagisce velocemente con il legno resinoso o molto duro (Firrone, 2010).
- Poliuretano (PUR): privo di formaldeide, che viene sostituita dall'isocianato (che non emette sostanze tossiche in fase di utilizzo), polimerizza grazie all'umidità del legno. Viene principalmente utilizzato nei prodotti strutturali come l'X-Lam.

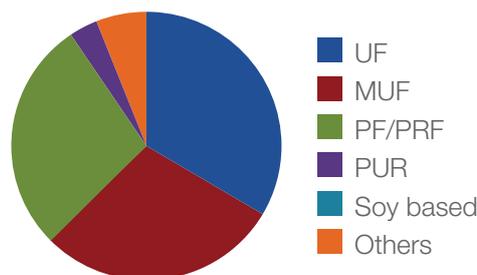


Figura 4.35 - Utilizzo nel mondo dei diversi tipi di adesivi per legno.

Materiale	Classe	EN ISO 12460-5 (sostituisce EN 120) mg/100g		EN ISO 12460-3 (sostituisce EN 717-2) mg/m ² h		EN ISO 717-1 ppm
		Valore medio	Valore singolo	Valore medio	Valore singolo	
Pannello grezzi o rivestiti	E1					≤ 0,1 = 0,124 mg/m ³ aria
Pannello grezzi di particelle	E1	≤ 6,5	≤ 8,0			≤ 0,1
Pannello grezzi di fibre MDF, OSB	E1	≤ 7,0	≤ 8,0			≤ 0,1
Compensati, legno massiccio, LVL, pannelli rivestiti (dopo 28 gg)	E1			≤ 2,5	≤ 3,5	≤ 0,1

Tabella 4.6 - Classe E1 (è prevista in futuro anche la Classe E1 Plus)

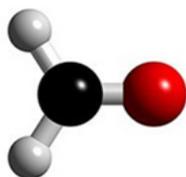


Figura 4.36 - Molecola di formaldeide

5. METODOLOGIA E SOFTWARE

5.1 METODOLOGIA LCA

L'idea di ciclo di vita (Life Cycle Thinking), su cui si basa l'analisi LCA, nasce alla fine degli anni 60, quando alcuni ricercatori iniziano ad analizzare i sistemi produttivi da un punto di vista ambientale, dall'estrazione delle materie prime (culla) alla dismissione dei manufatti (tomba): "from cradle to grave", dalla culla alla tomba.

A partire dagli anni '70 del Novecento si possono trovare i primi esempi di applicazione del Life Cycle Thinking: particolare risulta essere la ricerca commissionata dalla grande multinazionale Cola-Cola, con l'intento di valutare quale contenitore fosse il più "sostenibile" tra i diversi materiali disponibili in commercio, sia in fase di produzione che in fase di smaltimento.

Lo scopo di un'analisi LCA è quindi quella di riuscire a confrontare materiali, prodotti, servizi, simili tra di loro, in modo da quantificare gli impatti ambientali e permettere agli utilizzatori, senza fornire

nessun giudizio, di fare una scelta tra di essi.

Per quantificare i carichi ambientali è necessario analizzare tutti gli "input" (materie prime, acqua, fonti energetiche) ed infine gli "output" (emissioni, rifiuti) prodotti dal ciclo produttivo del componente analizzato.

Il termine LCA fu introdotto nel 1990 al congresso della Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) tenutosi negli Stati Uniti.

I risultati ottenuti dal SETAC sono stati trasportati in norme dall'International Organization for Standardization (ISO), l'organo internazionale che ha il compito di definire le norme tecniche.

In particolare l'LCA è regolato dalla norma 14040:2006 che contiene i principi e il quadro completo della valutazione del ciclo di vita.

La norma ISO (UNI EN) 14040, elaborata dal Comitato Tecnico ISO/TC 207 "Environmental management" SC 5 "Life



Figura 5.1 - Rappresentazione della circolarità dell'analisi del ciclo di vita.

cycle assessment” e in Italia pubblicate dall’UNI (Cappellaro *et. al*, 2011), definisce la valutazione del ciclo di vita LCA come la “compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita degli elementi in ingresso e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto.”

Da ciò si può desumere che l’analisi LCA non descrive il prodotto, ma l’intero sistema produttivo (Baldo *et al.*, 2008). L’analisi infatti include tutte le attività svolte per l’estrazione e la lavorazione della materia prima, la produzione, il trasporto, distribuzione, messa in opera, utilizzo, demolizione, riuso, riciclaggio ed eventuale smaltimento comprendendo tutti i materiali e l’energia utilizzata all’interno del processo [Fig. 5.2].

La procedura LCA è articolata in quattro fasi, regolate anch’esse da norme ben precise [Fig. 5.3]:

- Definizione dell’obiettivo e del campo di applicazione (normata dalla ISO 14041): fase preliminare, che definisce le finalità dello studio, l’unità funzionale, i confini del sistema, l’affidabilità dei dati. Lo scopo generale deve essere ben definito, in modo da poter arrivare a risultati e scelte rilevanti per lo studio svolto. L’obiettivo è quello che ci porta a porti delle domande: quali sono i processi che

incidono di meno in termini di impatto ambientale? Quali scelte devo fare per abbassare l’impatto ambientale del prodotto/servizio analizzato? (De Feo, 2014). Altrettanto importante è la dichiarazione in modo preciso e comprensibile dell’unità funzionale (quantità e unità di misura su cui si basa l’analisi) e i confini del sistema (fasi, materiali ed energia considerati nello studio).

- Analisi di inventario (normata dalla ISO 14041): è la parte centrale della valutazione, in cui ci si dedica all’analisi del processo o attività oggetto di studio, raccogliendo tutti i dati relativi a materia ed energia in entrata, “input”, e in uscita, “output”, per ogni fase del ciclo di produzione, tramite la costruzione di un modello analogico del processo. Nella maggior parte dei casi i processi industriali comportano più di un prodotto o sottoprodotti che possono essere riciclati e riutilizzati come materie prime: tutto il processo e le conseguenti emissioni dovranno dunque essere ripartiti tra questi. Tale processo prende il nome di allocazione: procedura che dovrebbero approssimare le relazioni tra i flussi in ingresso e in uscita. Si può basare sulle proprietà fisiche oppure sul valore economico di ciascun prodotto.



Figura 5.2 - Fasi di un’analisi del ciclo di vita LCA

- Valutazione degli impatti (normata dalla ISO 14042): i dati di input e output vengono raccolti per ciascuna fase del processo e vengono assegnati alle diverse categorie di impatto ambientale, evidenziando la portata degli impatti ambientali del processo nel suo insieme. Per ogni categoria di impatto viene scelto un indicatore esemplificativo per riuscire a quantificarlo e comunicarlo nel modo più semplice ed intuitivo possibile. È necessario quindi definire quali categorie di impatto devono essere analizzate in accordo con la ISO, che segnala le macro-categorie più rilevanti come il consumo delle risorse, la salute umana e le conseguenze sull'ecologia. È molto importante effettuare una scelta, in quanto in un'analisi si potrebbero studiare tutte le categorie di impatto esistenti: come supporto possiamo avere anche dati come Eco-indicatore 99, EPS 2000, Recipe 2008, creati con metodi di valutazione già preimpostati. In qualsiasi caso gli indicatori più comuni nelle diverse analisi LCA in letteratura sono il riscaldamento globale, il potenziale di esaurimento dell'ozono, acidificazione, eutrofizzazione, formazione di smog e tossicità umana. L'analisi degli impatti viene suddivisa

in 4 parti: classificazione, caratterizzazione, normalizzazione e ponderazione. Con le prime due fasi abbiamo la conversione dei risultati in indicatori, nelle ultime due collegano gli indicatori di ad un giudizio di valore.

- Interpretazione (normata dalla ISO 14043): questa fase finale ha lo scopo di analizzare e proporre miglioramenti in modo da poter ridurre gli impatti ambientali.

5.2 SOFTWARE SIMA PRO

Il software che verrà utilizzato per l'analisi è SimaPro 8.2.3.0, programma fornito da PRé Sustainability, completamente testato e risulta essere il miglior modo per riuscire a modellare ed analizzare cicli di vita complessi, seguendo le norme ISO 14040-14044.

Con questo software di calcolo abbiamo la possibilità di modellare il ciclo produttivo da noi analizzato nel modo più veritiero possibile.

I database inseriti al suo interno permettono di avere dei riferimenti e delle linee guida per la modellazione di ogni materiale/macchinario utile alla realizzazione del prodotto o bene analizzato.

A supporto dell'analisi sono stati considerati diversi database in base ai codici



Figura 5.3 - Fasi di un'analisi LCA secondo la ISO 14040

più simili possibili all'analisi effettuata:

- *Agrifootprint*

Il database comprende tutti i processi di coltivazione, lavorazione delle colture, sistemi di allevamento animale e lavorazione di prodotti di origine animale.

Contiene tutti i dati su trasporti, produzione dei fertilizzanti e di materiali ausiliari.

Utilizzato principalmente in supporto dell'analisi LCA sulla coltivazione del pioppo.

- *Ecoinvent v3*

Il database di Ecoinvent è stato il principale utilizzato. Solo in mancanza di informazioni e codici sono stati utilizzati altri database.

Contiene dati LCI di vari settori come produzione di energia, materiali da costruzione, produzione di prodotti chimici, prodotti agroalimentari e molti altri.

I cicli produttivi comprendono le attività di produzione, trasformazione e di mercato.

Si tengono in conto tutti gli scenari di smaltimento, di riuso o termovalorizzazione dei prodotti e gli scenari di trattamento dei rifiuti.

Tutti i processi sono assegnati a una particolare categoria e a una o più sottocategorie all'interno di SimaPro. I dati del processo sono identificati in modo inequivocabile dal loro nome, che include il nome del processo, la posizione geografica, il tipo di attività, il modello di sistema e un suffisso, S per i processi di sistema o U per i processi unitari.

- *ELCD*

Comprende i dati forniti da associazioni imprenditoriali sul territorio europeo su prodotti, trasporti, produzioni di energia e gestione dei rifiuti.

- *USLCI 1.60*

Contiene un grande numero di dati che riguardano diversi prodotti: dal

legno, ai metalli, prodotti chimici, trasporti, produzione di energia, prodotti agricoli e alcuni processi industriali completi.

I dati sono rappresentativi degli Stati Uniti e a volte includono anche il Canada.

- *AusLCI*

Adattamento Australiano di dati Ecoinvent. Tutti sono riferiti geograficamente a Europa o zone limitrofe, adattate in alcuni casi per l'ambiente australiano.

Altro aspetto fondamentale nell'analisi è stata la scelta dei metodi per il calcolo dell'impatto ambientale. Di seguito i metodi utilizzati per pioppo e per pannello di compensato di pioppo:

- per il calcolo della CO₂ equivalente viene utilizzato nella maggior parte dei casi il metodo IPCC.

Metodo sviluppato dall'International Panel on Climate Change permettere di scegliere una periodizzazione degli impatti sui 20, 100 o 500 anni. Nel nostro studio viene considerato un impatto per 100 anni.

L'unità di misura sono i kg CO₂ eq.

L'IPCC utilizza i seguenti fattori di caratterizzazione per il calcolo del potenziale di riscaldamento globale dato dalle emissioni in atmosferica:

- viene esclusa la formazione indiretta di monossido di diazoto dalle emissioni di azoto;
- non viene considerato il forzante radioattivo causato dalle emissioni di NOx, acqua, solfato, ecc. nella stratosfera e nella troposfera;
- non viene considerata la gamma di effetti indiretti forniti dall'IPCC.
- vengono esclusi gli effetti indiretti dati dalle emissioni di CO.

- per il calcolo dell'Embodied Energy viene utilizzato il metodo CED (Cu-

ulative Energy Demand) basato sul metodo pubblicato da Eco-invent.

L'unità di misura sono i MJ.

I fattori di caratterizzazione vengono divisi in 5 categorie di impatto:

- Non rinnovabile, fossile
- Non rinnovabile, nucleare
- Rinnovabile, biomassa
- Rinnovabile, eolica, solare, geotermica
- Rinnovabile, acqua

- considerando che l'irrigazione è uno degli aspetti fondamentali nella coltivazione del pioppo si è deciso di analizzare il consumo di acqua con un indicatore a se stante, facente parte dei metodi per il calcolo del Water Footprint. Il metodo specifico presente su SimaPro è Berger et al 2014 (Water Scarcity): in base alla scarsità di acqua, viene calcolato l'indice di esaurimento idrico (WDI) che indica il rischio che il consumo di acqua possa portare all'esaurimento delle risorse di acqua dolce. La scarsità d'acqua è determinata rapportando il consumo annuale di acqua alla disponibilità di oltre 11 000 bacini. Inoltre, il WDI tiene conto della presenza di laghi e falde acquifere che sono stati finora trascurati nelle valutazioni della scarsità d'acqua.

- per stare in linea con una delle poche analisi LCA sulla coltivazione di pioppo, anche se per scopi differenti dalla produzione industriale di pannelli base legno, si è tenuto in considerazione il metodo di calcolo degli impatti ambientali ILCD. Questo metodo è stato rilasciato dal Centro di Ricerca della Commissione Europea nel 2012 e racchiude diverse categorie di impatto:

- Climate Change: viene calcolato il potenziale di riscaldamento globale nell'arco di 100 anni (IPCC

2007)

- Ozone depletion: calcola gli effetti distruttivi sullo strato di ozono su un orizzonte temporale di 100 anni (WMO 1999)
- Human toxicity, non-cancer effects: esprime l'aumento della morbilità nella popolazione in base alle emissioni di determinate sostanze chimiche.
- Human toxicity, cancer effects: esprime l'aumento della morbilità nella popolazione in base alle emissioni di determinate sostanze chimiche.
- Particulate Matter: quantifica i problemi sulla popolazione legati alla respirazione di particolato.
- Ionizing radiation HH: quantifica l'impatti sulla popolazione di radiazioni ionizzanti, paragonato all'uranio.
- Ionizing radiation E: quantifica impatti di radiazione sugli ecosistemi.
- Photochemical ozone formation: esprime il potenziale contributo alla formazione di ozono fotochimico.
- Acidification: caratterizza le variazioni degli ecosistemi terrestri e dell'acqua dolce dati dal deposito di sostanze acidificanti.
- Terrestrial eutrophication: caratterizza le variazioni degli ecosistemi terrestri e dell'acqua dolce dati dal deposito di sostanze eutrofizzanti.
- Freshwater eutrophication: esprime il superamento dei valori dell'acqua dolce dati dall'emissione di sostanze nutritive (come ad esempio il fosforo).
- Marine eutrophication: esprime il superamento dei valori dell'acqua salata dati dall'emissione di sostanze nutritive (come ad esempio il fosforo).

- Freshwater ecotoxicity: esprime una stima della frazione degli ecosistemi interessata da emissioni di sostanze chimiche.
- Land use: si basa sulla variazione di materia organica nel suolo. Non sono calcolati gli impatti sulla biodiversità.
- Water resource depletion: calcola la quantità d'acqua utilizzata in base alla scarsità di acqua dolce.
- Mineral, fossil & ren resource depletion: viene calcolato il consumo delle risorse minerali.

utilizzato per l'analisi del pannello di compensato di pioppo.

Con questo metodo vengono analizzati diverse categorie di impatto:

- Acidification potential
- Eutrophication Potential
- Global Warmin Potential
- Photochemical Oxidant Creation Potential
- Ozone-depleting gases
- Abiotic resource depletion

Ricordiamo che gli indicatori Global Warming Potential e Cumulative Energy Demand sono strettamente legati: infatti nella maggior parte dei sistemi produttivi il consumo di energia primaria, principalmente di origine fossile, provoca il rilascio di anidride carbonica, che nonostante sia il gas con un effetto serra contenuto rispetto ad altri è il più abbondante in termini di quantità, incidendo sull'indicatore GWP.

Quindi ogni operazione che ha una forte ricaduta sul Cumulative Energy Demand avrà un forte impatto sul Global Warming Potential [Fig. 5.4].

- strumento sicuramente unico nella certificazione di prodotti è l'EDP



Figura 5.4 - Legame tra GWP e CED

6. ANALISI DEL CICLO DI VITA DELLA PIOPPICOLTURA

6.1 MATERIALI E METODI

OBIETTIVI E SCOPI

L'obiettivo è quello di analizzare gli impatti ambientali di tre differenti modelli colturali di pioppo, con lo scopo di dimostrare che, seguendo le regole imposte dalla certificazione forestale per la gestione del pioppeto PEFC, risulta essere più sostenibile dei tradizionali sistemi di coltivazione.

Nella prima fase dell'analisi sono stati presi in considerazione, appunto, tre modelli di impianto di pioppo:

- Modello intensivo
- Modello con cloni MSA
- Modello con cloni MSA, nel rispetto della certificazione PEFC per la gestione sostenibile della pioppicoltura.

Differenti sono anche i cloni coltivati:

- I-214 (*P. x canadensis*)
- Senna (*P. x canadensis*-MSA)
- Senna, Diva (*P. x canadensis*) e altri cloni MSA con coltivazione certificata.

Questa differenziazione tra tipologie di cloni e protocolli di coltivazione ci permette di quantificare i vantaggi economici ed ambientali sia della coltivazione con genotipi selezionati per maggiore resistenza alle malattie, e che richiedono quindi meno trattamenti fitosanitari, sia dei nuovi protocolli di conduzione dei pioppeti a minor intensità colturale (sistema di certificazione come il PEFC).

Questa analisi potrebbe essere così un punto di partenza per altri studi a dimostrazione che l'I-214, nonostante venga ritenuto più affidabile dai coltivatori, potrebbe essere sostituito da cloni recentemente selezionati, permettendo un notevole risparmio economico (meno sostanze da dover utilizzare grazie alla maggiore resistenza ad alcuni infestanti/parassiti) e diminuendo gli impatti sull'ambiente anche e soprattutto in pioppeti per i quali è richiesta la certificazione.

UNITA' FUNZIONALE

Per la pioppicoltura, da bibliografia, l'unità funzionale varia in base agli scopi e gli obiettivi dello studio.

Per quanto riguarda le coltivazioni di pioppo vengono analizzati gli impatti ambientali principalmente su impianti per produzione di biomassa.

Nonostante lo scopo sia differente è ciò che più si avvicina all'analisi riportata in questa tesi.

L'unità funzionale più comune è l'ettaro di terreno coltivato.

Vi sono casi in cui l'unità funzionale è, ad esempio, il contenuto di energia della biomassa (1 GJ) o l'energia prodotta (1 kW h⁻¹).

Per rimanere in linea con gli altri studi effettuati e per facilitare il lavoro di normalizzazione dei dati (rilevati e trascritti già per ha di terreno lavorato) l'unità funzionale scelta per l'analisi è 1 ha di terreno lavato.

Si sviluppa così per tutto il ciclo di vita della coltivazione, dal barbatellaio al pioppeto, ottenendo gli impatti finali per 1 ha di terreno.

DESCRIZIONE DEL SISTEMA

L'appezzamento a pioppo analizzato per l'estrazione dei dati è situato in Piemonte, lungo la Valle del Po, in terreni gestiti dal CREA - Foreste e legno, presso Casale Monferrato.

La Valle del Po è caratterizzata da un clima sub-continentale. Secondo la classificazione dei climi di Koeppen la zona è detta Cfb (comprende Cuneo, Novara e altri).

La temperatura media annuale si aggira intorno ai 13°C; le precipitazioni maggiori sono rilevate nei mesi primaverili e autunnali, mentre il periodo estivo è solitamente il più asciutto.

La media annuale è intorno ai 600/800 mm (Bacenetti *et al.*, 2016) con precipitazioni di 300-400 mm distribuite durante la stagione vegetativa.

Il campo in cui sorge l'impianto analizzato è caratterizzato da un terreno sabbioso (caratteristico di questa zona della pianura padana) di ha 1.

Gli anni di riferimento per l'analisi vanno dal 1998 al 2013 e comprendono la produzione della talea di partenza in barbatellaio, l'allevamento in vivaio per due anni delle giovani piante ed infine, la coltivazione vera e propria del pioppo. Per ulteriori informazioni sulle metodologie tradizionali di coltivazione del pioppo si rimanda a ENCC (ENCC, 1994).

Nonostante ci siano dati più completi relativi al barbatellaio ed al vivaio si è deciso di tenere in considerazione la continuità della coltura.

In qualsiasi caso, in questa area geografica, la coltivazione del pioppo per legno da industria è un modello colturale già

molto affermato, che utilizza genotipi selezionati, e le variazioni produttive sono pressoché esclusivamente correlate a fattori pedoclimatici o ad eventuali problemi fitosanitari.

Le fasi di coltivazione sopra citate, barbatellaio, vivaio e pioppeto, che si susseguono in questo preciso ordine, hanno ciascuna una propria finalità definita e sono caratterizzati da layout di impianto e densità differenti:

- Barbatellaio per la produzione in massa e il mantenimento dei cloni e di nuove giovani piante: 62500 talee, corrispondenti ad una spaziatura di 0,10 m tra le talee e 1,60 m tra le file di piante. Periodo di coltivazione utile alla produzione di materiale: 1 anno.
- Vivaio per la produzione di piante di 2 anni da trasferire in pioppeto definitivo: 7000 piante, corrispondenti ad una spaziatura di 0,50 m tra le piante e di 3,00 m tra le file di piante. Periodo di coltivazione utile alla produzione di materiale: 2 anni.
- Pioppeto per la produzione di legno da industria: 277 pioppelle, corrispondenti ad una spaziatura di 6x6 m tra le piante. Periodo di coltivazione utile alla produzione di materiale: 10 anni.

Le operazioni effettuate sul campo durante tutto il ciclo produttivo variano nelle tre fasi della coltivazione studiate.

Per tutti e tre possono comunque essere suddivise in 3 fasi principali, che possono essere comuni per i tre momenti di vita del pioppo (barbatellaio, vivaio e pioppeto):

- Fase pre-impianto e impianto: in generale si tratta delle lavorazioni per la preparazione del terreno, per la concimazione e il trattamento delle erbe infestanti tramite sostanze diserbanti alternate a macchinari appositi per l'estirpazione meccanica; nel pioppeto il tutto è seguito dalla predi-

sposizione delle piante nell'apposita buca preparata.

- Fase di gestione della coltura: prevede tutte le lavorazioni che garantiscono un buono e corretto accrescimento degli alberi, irrigazione e trattamenti che ne preservano la salute e, in vivaio e pioppeto, potature per la corretta crescita del fusto in base alle esigenze richieste.
- Fase di taglio e raccolta: è la fase finale di ognuno dei tre momenti di vita della coltura, dove ogni individuo viene tagliato e trattato con differenti modalità per raggiungere la fase successiva ovvero: da barbatellaio a vivaio, da vivaio a pioppeto e da pioppeto in piazzale di stoccaggio per il successivo trasporto in azienda.

Di seguito la schematizzazione di tutti i dati puri forniti dal CREA nei tre modelli studiati, dal barbatellaio al vivaio.

MODELLO INTENSIVO CON CLONE I-214

Barbatellaio Modello Intensivo

Operazioni	Anni di vita in barbatellaio			Trattore Massa Potenza	Macchianario per operazioni			Acqua-Fertilizzanti-Sostanze
	1	2	3		Tipo	Tempo (h ha ⁻¹)	Diesel (kg ha ⁻¹)	
<i>Pre-impianto e impianto</i>								
Aratura	1			- 95,5 kW	Aratro Trivomere	1,5	12,6	
Concimazione	1			- 69,8 kW	Spandi- concime	1,5	9,2	500 kg ha ⁻¹ (1)
Fresatura	1			- 95,5 kW	Erpice rotante	1,5	12,6	
Diserbo	1			- 69,8 kW	Botte	0,5	3,1	500 l ha ⁻¹ 2,28 kg ha ⁻¹ (2)
Messa a dimora	1			- 69,8 kW	Pianta talee	30	184,3	62'500 talee
<i>Gestione della coltura</i>								
Concimazione		1	1	- 69,8 kW	Spandi- concime	3	18,4	140 kg ha ⁻¹ (3)
Irrigazione	4	4	4	- 73,5 kW	Rotoloni	180	1164	3'000'000 l ha ⁻¹
Fresatura 1		1	1	- 95,5 kW	Erpice rotante	3	25,2	
Fresatura 2	2	1	1	- 29,4 kW	Erpice rotante	10	26	
Discatura	1	1	1	- 29,4 kW	Erpice a dischi	4,5	11,7	
Tratt. Punteruolo	1	1	1	- 29,4 kW	Irroratrice	1,5	3,9	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (4)
Tratt. Crisomela	1	1	1	- 29,4 kW	Irroratrice	1,5	3,9	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (4)
Tratt. Ifantria	1	1	1	- 29,4 kW	Irroratrice	1,5	3,9	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (4)
Tratt. Marssonina	1	1	1	- 29,4 kW	Irroratrice	1,5	3,9	2'400 l ha ⁻¹ 6 kg ha ⁻¹ (5)
Tratt. Ruggine	1	1	1	- 29,4 kW	Irroratrice	1,5	3,9	2'400 l ha ⁻¹ 6 kg ha ⁻¹ (5)
<i>Taglio e raccolta</i>								
Taglio astoni	1		1	- 29,4 kW	Sega circolare	4	10,4	
Raccolta	1		1	- 29,4 kW	Rimorchio	2	5,2	

(1) Siffert 15-15-15

(3) Siffert Urea

(5) Sillit Flo

(2) Pentium + Antigram

(4) Decis Evo

Vivaio Modello Intensivo

Operazioni	Anni di vita in barbatellaio		Trattore Massa Potenza	Macchianario per operazioni			Acqua-Fertilizzanti-Sostanze
	1	2		Tipo	Tempo (h ha ⁻¹)	Diesel (kg ha ⁻¹)	
<i>Pre-impianto e impianto</i>							
Aratura	1		- 95,5 kW	Aratro Trivomere	1,5	12,6	
Concimazione	1		- 69,8 kW	Spandi- concime	1,5	9,2	500 kg ha ⁻¹ (1)
Fresatura	1		- 95,5 kW	Erpice rotante	1,5	12,6	
Diserbo	2		- 69,8 kW	Botte	1	6,2	500 l ha ⁻¹ 2,28 kg ha ⁻¹ (2) + 0,4 kg ha ⁻¹ (3)
Messa a dimora	1		- 69,8 kW	Pianta talee	30	184,3	7'000 Astoni
<i>Gestione della coltura</i>							
Concimazione		1	- 69,8 kW	Spandi- concime	1,5	9,2	70 kg ha ⁻¹ (4)
Irrigazione	4	4	- 73,5 kW	Rotoloni	120	776	2'000'000 l ha ⁻¹
Fresatura 1		1	- 95,5 kW	Erpice rotante	1,5	12,6	
Fresatura 2	3	3	- 55,1 kW	Erpice rotante	15	72,6	
Discatura	1		- 55,1 kW	Erpice a dischi	1,5	7,3	
Discatura per rin- calzare	1		- 55,1 kW	Dischi + fresa	0,5	2,4	
Zappatura	2		- -	-	-	-	
Spollonatura	2		- -	-	-	-	400 l ha ⁻¹ 0,48 kg ha ⁻¹ (5)
Correzione punte	1		- -	-	-	-	
Tratt. Punteruolo	1	1	- 55,1 kW	Irroratrice	1	4,8	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (6)
Tratt. Crisomela	1	1	- 55,1 kW	Irroratrice	1	4,8	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (6)
Tratt. Ifantria	1	1	- 55,1 kW	Irroratrice	1	4,8	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (6)
Tratt. Marssonina	1	1	- 55,1 kW	Irroratrice	1	4,8	2'400 l ha ⁻¹ 6 kg ha ⁻¹ (7)
Potatura	1	1	- -	-	-	-	
<i>Taglio e raccolta</i>							
Taglio astoni		1	- 29,4 kW	Sega circolare	2	9,7	
Raccolta		1	- 29,4 kW	Rimorchio	1	4,9	

(1) Siffert 15-15-15 (3) Stratos Ultra
(2) Pentium + Antigram (4) Siffert Urea

(5) Basta
(6) Decis Evo

(7) Sillit Flo

Pioppeto Modello Intensivo

Operazioni	Anni di vita in barbatellaio										Trattore Massa Potenza	Macchianario per operazioni				Acqua-Fertilizzanti- Sostanze	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	Tipo	Tempo (h ha ⁻¹)	Diesel (kg ha ⁻¹)		Lub. (kg ha ⁻¹)
<i>Pre-impianto e impianto</i>																	
Cioccatura	1											- 176 kW	Levaceppi	4,1	63,6	0,4	277 ceppi
Concimazione	1											- 69,8 kW	Spandi- concime	0,5	3,1	0,0	500 kg ha ⁻¹ (1)
Aratura	1											- 110,3 kW	Aratro monovo.	2,5	24,3	0,2	
Affinamento	1											- 110,3 kW	Erpice rotante	1,5	14,6	0,1	
Diserbo	1											- 95,5 kW	Botte	0,5	4,2	0,0	10 kg ha ⁻¹ (2)
Scarico e messa in acqua	1											- -	-	-	-	-	415,5 l ha ⁻¹
Tracciamento manuale		1										- -	-	-	-	-	
Scavo buche		1										- 69,8 kW	Trivella	2,5	15,4	0,1	
Messa a dimora		1										- 69,8 kW	Rimorchio	1,5	9,2	0,1	277 Pioppelle
Chiusura buche		1										- -	-	-	-	-	
<i>Gestione della coltura</i>																	
Concimazione		1	1	1	1	1						- 69,8 kW	Rimorchio	7,5	46	0,5	270 kg ha ⁻¹ (3)
Irrigazione 1			4									- 95,5 kW	Botte	4	33,6	0,4	100'000 l ha ⁻¹
Irrigazione 2				2	2	2	2	2	2	2	2	- 176,4 kW	Rotoloni	198	3074,4	21,6	14'400'000 l ha ⁻¹
Discatura			3	3	3	2	2	1	1	1	1	- 110,3 kW	Erpice a dischi	27	262,8	1,8	
Tratt. Punteruolo		1	1	1								- 95,5 kW	Botte	1,5	12,6	0,0	1500 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (4)
Tratt. Marssonina		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	- 95,5 kW	Botte	5	42	0,0	7'600 l ha ⁻¹ 6,92 kg ha ⁻¹ (5)
Tratt. Ifantria									1			- 95,5 kW	Botte	0,5	4,2	0,0	800 l ha ⁻¹ 1 kg ha ⁻¹ (4)
Tratt. Afide Lanigero							1		1			- 95,5 kW	Botte	1	8,4	0,0	3'000 l ha ⁻¹ 0,4 kg ha ⁻¹ (5)
Tratt. Saperda			1	1	1	1	1		1			- 95,5 kW	Botte	1,5	12,6	0,0	1'500 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (4)
Potatura		1	1	1	1	1						- 69,8 kW	Trespolo	19,7	121,1	1,0	
<i>Taglio e raccolta</i>																	
Taglio e sramatura											1	- 1,5 kW	Motosega	73,57	9,7	1,3	
Movimentazione											1	- 69,8 kW	Pinza	12,92	79,4	0,7	
Raccolta e trasporto											1	- 69,8 kW	Pinza	11,48	70,5	0,6	

(1) Siffert 15-15-15
(2) Silgif

(3) Siffert Urea
(4) Decis Evo

(5) Sillit Flo
(6) Actara

MODELLO CON CLONI MSA

Barbatellaio Cloni MSA

Operazioni	Anni di vita in barbatellaio			Trattore Massa Potenza	Macchianario per operazioni			Acqua-Fertilizzanti-Sostanze
	1	2	3		Tipo	Tempo (h ha ⁻¹)	Diesel (kg ha ⁻¹)	
<i>Pre-impianto e impianto</i>								
Aratura	1			- 95,5 kW	Aratro Trivomere	1,5	12,6	
Concimazione	1			- 69,8 kW	Spandi- concime	1,5	9,2	500 kg ha ⁻¹ (1)
Fresatura	1			- 95,5 kW	Erpice rotante	1,5	12,6	
Diserbo	1			- 69,8 kW	Botte	0,5	3,1	500 l ha ⁻¹ 2,28 kg ha ⁻¹ (2)
Messa a dimora	1			- 69,8 kW	Pianta talee	30	184,3	62'500 talee
<i>Gestione della coltura</i>								
Concimazione		1	1	- 69,8 kW	Spandi- concime	3	18,4	140 kg ha ⁻¹ (3)
Irrigazione	4	4	4	- 73,5 kW	Rotoloni	180	1164	3'000'000 l ha ⁻¹
Fresatura 1		1	1	- 95,5 kW	Erpice rotante	3	25,2	
Fresatura 2	2	1	1	- 29,4 kW	Erpice rotante	10	26	
Discatura	1	1	1	- 29,4 kW	Erpice a dischi	4,5	11,7	
Tratt. Punteruolo	1	1	1	- 29,4 kW	Irroratrice	1,5	3,9	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (4)
Tratt. Crisomela	1	1	1	- 29,4 kW	Irroratrice	1,5	3,9	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (4)
Tratt. Ifantria	1	1	1	- 29,4 kW	Irroratrice	1,5	3,9	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (4)
<i>Taglio e raccolta</i>								
Taglio astoni	1		1	- 29,4 kW	Sega circolare	4	10,4	
Raccolta	1		1	- 29,4 kW	Rimorchio	2	5,2	

(1) Siffert 15-15-15 (3) Siffert Urea
(2) Pentium + Antigram (4) Decis Evo

Vivaio Cloni MSA

Operazioni	Anni di vita in barbatellaio		Trattore Massa Potenza	Macchianario per operazioni			Acqua-Fertilizzanti-Sostanze
	1	2		Tipo	Tempo (h ha ⁻¹)	Diesel (kg ha ⁻¹)	
<i>Pre-impianto e impianto</i>							
Aratura	1		- 95,5 kW	Aratro Trivomere	1,5	12,6	
Concimazione	1		- 69,8 kW	Spandi- concime	1,5	9,2	500 kg ha ⁻¹ (1)
Fresatura	1		- 95,5 kW	Erpice rotante	1,5	12,6	
Diserbo	2		- 69,8 kW	Botte	1	6,2	500 l ha ⁻¹ 2,28 kg ha ⁻¹ (2) + 0,4 kg ha ⁻¹ (3)
Messa a dimora	1		- 69,8 kW	Pianta talee	30	184,3	7'000 Astoni
<i>Gestione della coltura</i>							
Concimazione		1	- 69,8 kW	Spandi- concime	1,5	9,2	70 kg ha ⁻¹ (4)
Irrigazione	4	4	- 73,5 kW	Rotoloni	120	776	2'000'000 l ha ⁻¹
Fresatura 1		1	- 95,5 kW	Erpice rotante	1,5	12,6	
Fresatura 2	3	3	- 55,1 kW	Erpice rotante	15	72,6	
Discatura	1		- 55,1 kW	Erpice a dischi	1,5	7,3	
Discatura per rin- calzare	1		- 55,1 kW	Dischi + fresa	0,5	2,4	
Zappatura	2		- -	-	-	-	
Spollonatura	2		- -	-	-	-	400 l ha ⁻¹ 0,48 kg ha ⁻¹ (5)
Correzione punte	1		- -	-	-	-	
Tratt. Punteruolo	1	1	- 55,1 kW	Irroratrice	1	4,8	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (6)
Tratt. Crisomela	1	1	- 55,1 kW	Irroratrice	1	4,8	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (6)
Tratt. Ifantria	1	1	- 55,1 kW	Irroratrice	1	4,8	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (6)
Potatura	1	1	- -	-	-	-	
<i>Taglio e raccolta</i>							
Taglio astoni		1	- 29,4 kW	Sega circolare	2	9,7	
Raccolta		1	- 29,4 kW	Rimorchio	1	4,9	

(1) Siffert 15-15-15 (3) Stratos Ultra
(2) Pentium + Antigram (4) Siffert Urea

(5) Basta
(6) Decis Evo

Pioppeto Cloni MSA

Operazioni	Anni di vita in barbatellaio										Trattore Massa Potenza	Macchianario per operazioni				Acqua-Fertilizzanti- Sostanze	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	Tipo	Tempo (h ha ⁻¹)	Diesel (kg ha ⁻¹)		Lub. (kg ha ⁻¹)
<i>Pre-impianto e impianto</i>																	
Cioccatura	1											- 176 kW	Levaceppi	4,1	63,6	0,4	277 ceppi
Concimazione	1											- 69,8 kW	Spandi- concime	0,5	3,1	0,0	500 kg ha ⁻¹ (1)
Aratura	1											- 110,3 kW	Aratro monovo.	3	29,1	0,2	
Affinamento	1											- 110,3 kW	Erpice rotante	1,5	14,6	0,1	
Scarico e messa in acqua	1											- -	-	-	-	-	415,5 l ha ⁻¹
Tracciamento manuale		1										- -	-	-	-	-	
Scavo buche		1										- 69,8 kW	Trivella	5	30,7	0,3	
Messa a dimora		1										- 69,8 kW	Rimorchio	1	6,1	0,1	277 Pioppelle
Chiusura buche		1										- -	-	-	-	-	
<i>Gestione della coltura</i>																	
Concimazione			1	1	1							- 69,8 kW	Rimorchio	3	18,3	0,3	270 kg ha ⁻¹ (2)
Irrigazione 1		4										- 95,5 kW	Botte	4	33,6	0,4	100'000 l ha ⁻¹
Irrigazione 2			2	2	2	2	2	2	2	2		- 176,4 kW	Rotoloni	108	1675,8	10,8	14'400'000 l ha ⁻¹
Discatura			3	2	3	2						- 110,3 kW	Erpice a dischi	20	194	1	
Trinciatura						1	1	1	1	1	1	- 110,3 kW	Trincia	9	87,6	0,6	
Tratt. Punteruolo			1	1								- 95,5 kW	Atomizza- tore	6	50,4	0,4	1000 l ha ⁻¹ 0,6 kg ha ⁻¹ (3)
Tratt. Ifantria							1					- 95,5 kW	Atomizza- tore	3,5	29,4	0,2	800 l ha ⁻¹ 1 kg ha ⁻¹ (3)
Tratt. Saperda			1	1	1		1	1	1	1		- 95,5 kW	Atomizza- tore	9,5	79,8	0,8	1'500 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (3)
Potatura		1	1	1	1	1						- 73,5 kW	Cestello	6	38,8	0,4	
<i>Taglio e raccolta</i>																	
Taglio e sramatura											1	- 1,5 kW	Motosega	73,57	9,7	1,3	
Movimentazione											1	- 69,8 kW	Pinza	12,92	79,4	0,7	
Raccolta e trasporto											1	- 69,8 kW	Pinza	11,48	70,5	0,6	

(1) Siffert 15-15-15 (3) Decis Evo
(2) Siffert Urea

MODELLO CON CLONI MSA CERTIFICATO DA PEFC

Barbatellaio Cloni MSA certificato PEFC

Operazioni	Anni di vita in barbatellaio			Trattore Massa Potenza	Macchianario per operazioni			Acqua-Fertilizzanti-Sostanze
	1	2	3		Tipo	Tempo (h ha ⁻¹)	Diesel (kg ha ⁻¹)	
<i>Pre-impianto e impianto</i>								
Aratura	1			- 95,5 kW	Aratro Trivomere	1,5	12,6	
Concimazione	1			- 69,8 kW	Spandi- concime	1,5	9,2	500 kg ha ⁻¹ (1)
Fresatura	1			- 95,5 kW	Erpice rotante	1,5	12,6	
Diserbo	1			- 69,8 kW	Botte	0,5	3,1	500 l ha ⁻¹ 2,28 kg ha ⁻¹ (2)
Messa a dimora	1			- 69,8 kW	Pianta talee	30	184,3	62'500 talee
<i>Gestione della coltura</i>								
Concimazione		1	1	- 69,8 kW	Spandi- concime	3	18,4	140 kg ha ⁻¹ (3)
Irrigazione	4	4	4	- 73,5 kW	Rotoloni	180	1164	3'000'000 l ha ⁻¹
Fresatura 1		1	1	- 95,5 kW	Erpice rotante	3	25,2	
Fresatura 2	2	1	1	- 29,4 kW	Erpice rotante	10	26	
Discatura	1	1	1	- 29,4 kW	Erpice a dischi	4,5	11,7	
Tratt. Punteruolo	1	1	1	- 29,4 kW	Irroratrice	1,5	3,9	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (4)
Tratt. Crisomela	1	1	1	- 29,4 kW	Irroratrice	1,5	3,9	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (4)
Tratt. Ifantria	1	1	1	- 29,4 kW	Irroratrice	1,5	3,9	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (4)
<i>Taglio e raccolta</i>								
Taglio astoni	1		1	- 29,4 kW	Sega circolare	4	10,4	
Raccolta	1		1	- 29,4 kW	Rimorchio	2	5,2	

(1) Siffert 15-15-15 (3) Siffert Urea
(2) Pentium + Antigram (4) Decis Evo

Vivaio Cloni MSA certificato PEFC

Operazioni	Anni di vita in barbatellaio		Trattore Massa Potenza	Macchianario per operazioni			Acqua-Fertilizzanti-Sostanze
	1	2		Tipo	Tempo (h ha ⁻¹)	Diesel (kg ha ⁻¹)	
<i>Pre-impianto e impianto</i>							
Aratura	1		- 95,5 kW	Aratro Trivomere	1,5	12,6	
Concimazione	1		- 69,8 kW	Spandi- concime	1,5	9,2	500 kg ha ⁻¹ (1)
Fresatura	1		- 95,5 kW	Erpice rotante	1,5	12,6	
Diserbo	2		- 69,8 kW	Botte	1	6,2	500 l ha ⁻¹ 2,28 kg ha ⁻¹ (2) + 0,4 kg ha ⁻¹ (3)
Messa a dimora	1		- 69,8 kW	Pianta talee	30	184,3	7'000 Astoni
<i>Gestione della coltura</i>							
Concimazione		1	- 69,8 kW	Spandi- concime	1,5	9,2	70 kg ha ⁻¹ (4)
Irrigazione	4	4	- 73,5 kW	Rotoloni	120	776	2'000'000 l ha ⁻¹
Fresatura 1		1	- 95,5 kW	Erpice rotante	1,5	12,6	
Fresatura 2	3	3	- 55,1 kW	Erpice rotante	15	72,6	
Discatura	1		- 55,1 kW	Erpice a dischi	1,5	7,3	
Discatura per rin- calzare	1		- 55,1 kW	Dischi + fresa	0,5	2,4	
Zappatura	2		- -	-	-	-	
Spollonatura	2		- -	-	-	-	400 l ha ⁻¹ 0,48 kg ha ⁻¹ (5)
Correzione punte	1		- -	-	-	-	
Tratt. Punteruolo	1	1	- 55,1 kW	Irroratrice	1	4,8	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (6)
Tratt. Crisomela	1	1	- 55,1 kW	Irroratrice	1	4,8	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (6)
Tratt. Ifantria	1	1	- 55,1 kW	Irroratrice	1	4,8	2'400 l ha ⁻¹ 0,9 kg ha ⁻¹ (6)
Potatura	1	1	- -	-	-	-	
<i>Taglio e raccolta</i>							
Taglio astoni		1	- 29,4 kW	Sega circolare	2	9,7	
Raccolta		1	- 29,4 kW	Rimorchio	1	4,9	

(1) Siffert 15-15-15 (3) Stratos Ultra
(2) Pentium + Antigram (4) Siffert Urea

(5) Basta
(6) Decis Evo

Pioppeto Cloni MSA certificato PEFC

Operazioni	Anni di vita in barbatellaio										Trattore Massa Potenza	Macchianario per operazioni				Acqua-Fertilizzanti- Sostanze	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	Tipo	Tempo (h ha ⁻¹)	Diesel (kg ha ⁻¹)		Lub. (kg ha ⁻¹)
<i>Pre-impianto e impianto</i>																	
Cioccatura	1											- 176 kW	Levaceppi	4,1	63,6	0,4	277 ceppi
Letamazione	1											- 69,8 kW	Spandi- concime	5	30,7	0,3	50'000 kg ha ⁻¹ (1)
Aratura	1											- 110,3 kW	Aratro monovo.	3	29,1	0,2	
Affinamento	1											- 110,3 kW	Erpice rotante	1,5	14,6	0,1	
Scarico e messa in acqua	1											- -	-	-	-	-	415,5 l ha ⁻¹
Tracciamento manuale		1										- -	-	-	-	-	
Scavo buche		1										- 69,8 kW	Trivella	5	30,7	0,3	
Messa a dimora		1										- 69,8 kW	Rimorchio	1	6,1	0,1	277 Pioppelle
Chiusura buche		1										- -	-	-	-	-	
<i>Gestione della coltura</i>																	
Concimazione			1	1	1							- 69,8 kW	Rimorchio	3	18,3	0,3	225 kg ha ⁻¹ (2)
Irrigazione 1		4										- 95,5 kW	Botte	4	33,6	0,4	100'000 l ha ⁻¹
Irrigazione 2			2	2	2	2	2	2	2	2		- 176,4 kW	Rotoloni	108	1675,8	10,8	*5'400'000 l ha ⁻¹
Discatura			3	2	3	2						- 110,3 kW	Erpice a dischi	20	194	1	
Trinciatura							1	1	1	1	1	- 110,3 kW	Trincia	9	87,6	0,6	
Tratt. Punteruolo				1	1							- 95,5 kW	Atomizza- tore	6	50,4	0,4	1'000 l ha ⁻¹ 0,024 kg ha ⁻¹ (3)
Tratt. Ifantria								1				- 95,5 kW	Atomizza- tore	3,5	29,4	0,2	800 l ha ⁻¹ 0,8 kg ha ⁻¹ (3)
Tratt. Saperda			1	1	1		1	1	1	1		- 95,5 kW	Atomizza- tore	9,5	79,8	0,6	1'100 l ha ⁻¹ 0,077 kg ha ⁻¹ (3)
Potatura		1	1	1	1	1						- 73,5 kW	Cestello	6	38,8	0,4	
<i>Taglio e raccolta</i>																	
Taglio e sramatura											1	- 1,5 kW	Motosega	73,57	9,7	1,3	
Movimentazione											1	- 69,8 kW	Pinza	12,92	79,4	0,7	
Raccolta e trasporto											1	- 69,8 kW	Pinza	11,48	70,5	0,6	

(1) Letame naturale (3) Decis Evo
(2) Siffert Urea

*La variazione della quantità d'acqua per l'irrigazione del pioppeto certificato è data principalmente al fatto che il documento prevede un impianto situa-
to in zone con terreni favorevoli, permettendo così di abbassare l'apporto idrico al pioppeto.

CONFINI DEL SISTEMA

L'analisi viene svolta dalla "culla" al "cancello" dove:

- la culla corrisponde alla preparazione del terreno per l'impianto delle giovani talee;
- il cancello all'uscita dalla coltivazione del legno di pioppo tagliato e pulito, pronto per essere trasportato nello stabilimento produttivo.

Nell'analisi vengono considerate tutte le sostanze utilizzate per la fertilizzazione, per il diserbo e per i trattamenti fitosanitari (quali insetticidi e fungicidi).

Non viene considerato il lubrificante per la manutenzione ordinaria dei mezzi agricoli, in quanto il dato è stato fornito per il pioppeto tramite calcoli su dati indiretti: non risulta essere un dato primario, quindi data anche la poca rilevanza e i minimi quantitativi si è deciso di non tenerlo in considerazione per i calcoli. Inoltre vengono quantificati gli scarti re-

lativi alla potatura e alla cura delle piante ma non viene ipotizzato un utilizzo: si ipotizza quindi che gli scarti (chioma, rami...) non vengano trasportati e lasciati nel terreno di coltivazione [Fig. 6.1].

ANALISI DI INVENTARIO

L'analisi di inventario è la parte più importante di una LCA: lo scopo è quello di costituire un modello contenente dati oggettivi che esemplificano il più fedelmente possibile la produzione studiata. I dati e le informazioni devono essere raccolti in base al grado di dettaglio che si vuole raggiungere, devono essere accertati e affidabili: l'analisi di inventario risulta così essere importante per l'affidabilità dell'intera analisi LCA e permette di ottimizzare i tempi in tutte le fasi successive (Baldo *et al.*, 2008).

I dati possono essere suddivisi in due famiglie:

- Dati diretti: raccolti direttamente sul campo.

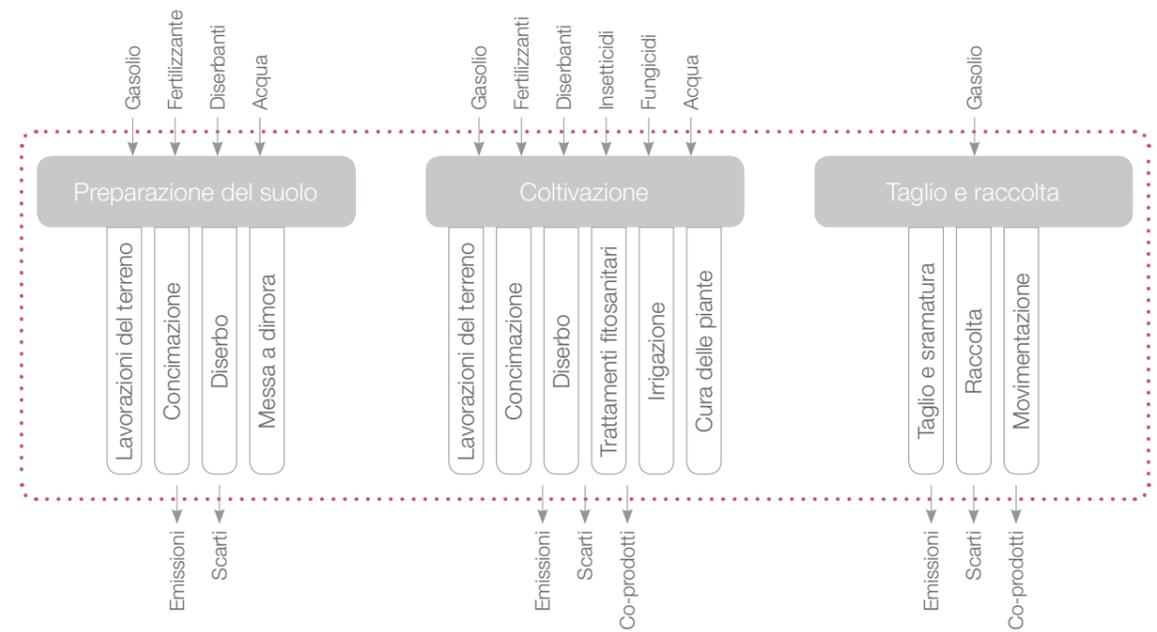


Figura 6.1 - Confini del sistema

- Dati indiretti: dati derivati, ricavabili dalla letteratura e da banche dati. Nel caso cui venga effettuata la scelta dell'utilizzo di dati secondari è importante citare le fonti.

La fase successiva sarà quella di ordinare e distribuire i dati all'interno del modello da noi creato, sviluppando così dei sotto-processi che permettano di schematizzare in modo più semplice gli input e gli output.

Per l'analisi di inventario e la raccolta dei dati in questa tesi, sia per la coltivazione che per la produzione del pannello di compensato, sono state predisposte delle schede: esse seguono in generale lo stesso schema, a cui vengono apportate delle modifiche in base ai dati reperiti.

Le schede sono state suddivise in due parti:

- Parte I - dati generali.
Vengono raccolti tutti i dati relativi a macchinari e sostanze utilizzati in tutto il ciclo di vita. Le informazioni sono specifiche, segnalando così tutti gli interventi di manutenzione, i consumi, le marche, le durate in azienda e le provenienze.
- Parte II - dati specifici dei sotto-processi.
In questa seconda parte vengono raccolte tutte le schede specifiche per ogni sotto-processo analizzato. Qui vi è la descrizione dell'intervento in cui vengono inseriti i dati specifici riguardanti questa fase di coltivazione/produzione: si crea così per ogni sotto-processo un processo a se stante in cui vengono specificati i dati di input, le lavorazioni e i conseguenti dati di output.

Le specifiche schede si possono trovare

negli allegati (Allegato 1 - schede raccolta dati pioppicoltura).

Una volta create le schede la fase successiva è stata quella di trasporre tutti i dati nel programma utilizzato: Sima Pro nella versione 8.0.

Sima Pro è un programma che permette di gestire e creare un modello con un gran numero di dati per poterne studiare e analizzare gli impatti sull'ambiente.

Al suo interno si trovano moltissime banche dati che permettono una modellazione accurata tramite codici già esistenti, che comprendono sia gli input che gli output di ogni processo.

In questa fase, con i dati diretti sotto mano, si sono creati dei codici corrispondenti alle lavorazioni necessarie per i modelli del pioppeto in base ai dati già presenti su SimaPro.

Di seguito riportata una tabella in cui sono segnalate le scelte per ogni dato inputato all'interno del programma.

Tipologia di dato	Descrizione, origine e scelte	Quantità			Quantità			Quantità		
		Modello Intensivo			Modello MSA intensivo			Modello MSA certificato PEFC		
		Barbatellaio	Vivaio	Pioppeto	Barbatellaio	Vivaio	Pioppeto	Barbatellaio	Vivaio	Pioppeto
Macchinari per la preparazione e lavorazione della coltura	Comprende tutti i trattori utilizzati nella coltura dalla prima fa all'ultima, per tutte le fasi di vita (barbatellaio, vivaio e pioppeto). Dato diretto. Il dato inputato riguarda i kg di combustibile impiegati per le ore utili alle differenti lavorazioni. Il trattore, come macchina, è ricavato da un codice di SimaPro.	337,4 kg ha ⁻¹	362,8 kg ha ⁻¹	756,2 kg ha ⁻¹	330,4 kg ha ⁻¹	358 kg ha ⁻¹	795,4 kg ha ⁻¹	330,4 kg ha ⁻¹	358 kg ha ⁻¹	822,7 kg ha ⁻¹
Pompa per l'irrigazione	Per scelta data dalla mancanza di dati, viene considerato un consumo di carburante come se fosse un trattore attaccato ad una pompa. Il dato inputato sono i kg di carburante per le ore utili alla lavorazione convertiti in kW. La pompa è ricavata da un codice di SimaPro.	1 164 kg ha ⁻¹	776 kg ha ⁻¹	3 108 kg ha ⁻¹	1164 kg ha ⁻¹	776 kg ha ⁻¹	1 709,4 kg ha ⁻¹	1164 kg ha ⁻¹	776 kg ha ⁻¹	1709,4 kg ha ⁻¹
Motosega per il taglio finale	I dati per la motosega, non essendo certi in quanto assemblata dall'Istituto, è stata paragonata ad una normale motosega in commercio. Il codice è stato scelto su SimaPro ed il dato inputato sono le ore di lavoro.	4 h ha ⁻¹	2 h ha ⁻¹	73,57 h ha ⁻¹	4 h ha ⁻¹	2 h ha ⁻¹	73,57 h ha ⁻¹	4 h ha ⁻¹	2 h ha ⁻¹	73,57 h ha ⁻¹
Acqua	I dati diretti suddividono la tipologia in base all'utilizzo. Acqua per i trattamenti: da "rubinetto"; Acqua per irrigazione: da falda. Il dato inputato sono i m ³ di acqua utilizzati per l'irrigazione e i l per ogni trattamento.	3 012 500 l ha ⁻¹	2 010 500 l ha ⁻¹	14 514 815,5 l ha ⁻¹	3 007 700 l ha ⁻¹	2 008 100 l ha ⁻¹	14 503 715,5 l ha ⁻¹	3 007 700 l ha ⁻¹	2 008 100 l ha ⁻¹	5 503 315,5 l ha ⁻¹
Concime ternario	Il concime ternario viene utilizzato in tutte le fase nella preparazione del suolo. Dato diretto. i dati inputati sono state le quantità, la composizione %, il trasporto dallo stabilimento produttivo al campo.	500 kg ha ⁻¹	500 kg ha ⁻¹	500 kg ha ⁻¹	500 kg ha ⁻¹	500 kg ha ⁻¹	500 kg ha ⁻¹	500 kg ha ⁻¹	500 kg ha ⁻¹	-
Concime ureico	Concime apportato alla coltivazione negli anni successivi. Dato diretto. I dati inputati sono la quantità, la composizione, il trasporto dallo stabilimento produttivo al campo.	140 kg ha ⁻¹	70 kg ha ⁻¹	270 kg ha ⁻¹	140 kg ha ⁻¹	70 kg ha ⁻¹	270 kg ha ⁻¹	140 kg ha ⁻¹	70 kg ha ⁻¹	225 kg ha ⁻¹
Letame	Letamazione effettuata nel solo caso di coltivazione con cloni MSA certificata PEFC, in sostituzione al contime ternario. Dato diretto. I dati inputati sono la quantità, la composizione, il trasporto.	-	-	-	-	-	-	-	-	50 000 kg ha ⁻¹
Trattamento diserbante Pentium+Antigram	Trattamento contro le erbe infestanti. Utilizzato nelle prime due fasi di vita della coltura (barbatellaio e vivaio). Dati diretti. I dati inputati sono la quantità, la % di principio attivo, il trasporto dallo stabilimento produttivo al campo.	2,28 kg ha ⁻¹	2,28 kg ha ⁻¹	-	2,28 kg ha ⁻¹	2,28 kg ha ⁻¹	-	2,28 kg ha ⁻¹	2,28 kg ha ⁻¹	-
Trattamento diserbante Stratos Ultra	Trattamento contro le erbe infestanti. Utilizzato in vivaio. Dati diretti: nonostante il dato diretto si è dovuto ricorrere ad un codice di erbicida generale già presente su SimaPro. Dato inputato la quantità della sostanza e il trasporto dallo stabilimento produttivo al campo.	-	0,4 kg ha ⁻¹	-	-	0,4 kg ha ⁻¹	-	-	0,4 kg ha ⁻¹	-
Trattamento diserbante Siglif	Trattamento contro le erbe infestanti. Utilizzato in pioppeto. Dati diretti. I dati inputati sono la quantità, la % di principio attivo, il trasporto dallo stabilimento produttivo al campo.	-	-	10 kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Trattamento spollonante Basta	Trattamento per controllare la crescita di polloni e succhioni. Utilizzato in pioppeto. Dati diretti: nonostante il dato diretto si è dovuto ricorrere ad un codice erbicida generale già presente su SimaPro. Dato inputato la quantità della sostanza e il trasporto dallo stabilimento produttivo al campo.	-	0,48 kg ha ⁻¹	-	-	0,48 kg ha ⁻¹	-	-	0,48 kg ha ⁻¹	-
Trattamento insetticida Decis Evo	Trattamento contro insetti quali punteruolo, saperda, crisomela, ifantria. Dato diretto. I dati inputati sono la quantità, la % di principio attivo, il trasporto dallo stabilimento produttivo al campo.	2,7 kg ha ⁻¹	2,7 kg ha ⁻¹	2,8 kg ha ⁻¹	2,7 kg ha ⁻¹	2,7 kg ha ⁻¹	2,5 kg ha ⁻¹	2,7 kg ha ⁻¹	2,7 kg ha ⁻¹	0,901 kg ha ⁻¹
Trattamento insetticida Actara	Trattamento specifico contro attacchi di Afide Lanigero. Dati diretti: nonostante il dato diretto si è dovuto ricorrere ad un codice di erbicida generale già presente su SimaPro. Dato inputato la quantità della sostanza e il trasporto dallo stabilimento produttivo al campo.	-	-	0,4 kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-
Trattamento fungicida Sillit Flo	Trattamento contro funghi quali marssonina e ruggine. Dati diretti: nonostante il dato diretto si è dovuto ricorrere ad un codice di erbicida generale già presente su SimaPro. Dato inputato la quantità della sostanza e il trasporto dallo stabilimento produttivo al campo.	12 kg ha ⁻¹	6 kg ha ⁻¹	6,92 kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-

METODO DI CALCOLO PER LA STIMA DELL'ASSORBIMENTO DI CO₂

Al legno oggi vengono riconosciuti moltissimi pregi come materiale da costruzione: è naturale, è rinnovabile, resistente ed esteticamente molto apprezzato, sia per scopi strutturali che a livello decorativo ed artistico.

Ma una caratteristica del legno oggi più preziosa che mai è quella di "deposito di carbonio (C)".

Gli ecosistemi forestali svolgono un ruolo fondamentale nella lotta ai cambiamenti climatici globali e per questo rivestono un ruolo centrale nei negoziati internazionali sul clima.

Questo è dato dallo scambio di grandi masse di C con l'atmosfera, legato alla fotosintesi clorofilliana: un ettaro di foresta può contenere da poche decine fino a centinaia di tonnellate di C (tC/ha) (Istituto Nazionale di Economia Agraria, 2009).

Oltre alle foreste un ruolo molto importante è svolto anche dalle piantagioni forestali tra le quali gli impianti di arboricoltura da legno dettano un ruolo fondamentale: infatti questi sono impianti creati ad hoc per il rifornimento di materia prima legnosa, per tutelare le foreste naturali presenti sul nostro territorio.

Secondo IUTI, *Inventario dell'Uso delle Terre d'Italia*, gli impianti di arboricoltura da legno coprono circa 144 000 ha di cui più della metà costituiti da pioppeti (Marchetti *et al.*, 2012).

Naturalmente più il turno di un impianto di arboricoltura da legno risulta essere lungo, più carbonio verrà immagazzinato nella biomassa totale e nel terreno.

Nonostante i pioppeti siano impianti a breve turno (se non brevissimo come accade per le Short Rotation Crops, che sono caratterizzate da turni non superiori ai 6 anni, adatti a produzione di biomassa) possono comunque dare un

notevole contributo alla sottrazione di C dall'atmosfera data la rapidità di crescita e gli elevati tassi fotosintetici.

Ciò viene dimostrato da alcuni studi effettuati su impianti tradizionali di pioppo, che mostrano quanto siano efficienti dal punto di vista del sequestro di carbonio dall'atmosfera, bilanciando in modo più che positivo le emissioni date dalla gestione del pioppeto: infatti nelle coltivazioni che vengono studiate le emissioni di CO₂ rappresentano una quota del 7-8% del totale dello stoccaggio, con un indice di efficienza pari al 92-93% (Chiarabaglio, 2014).

L'IPCC, nelle "*Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*" identifica 5 comparti di stoccaggio:

- biomassa aerea;
- biomassa ipogea;
- necromassa legnosa;
- lettiera;
- suolo.

Il suolo raccoglie potenzialmente (ovvero se correttamente gestito) la maggiore quantità di carbonio.

Per quanto riguarda gli impianti d'arboricoltura di pioppo, secondo la INFC (2005), il dato di assorbimento di carbonio può essere stimato intorno alle 1,81 tC/ha per anno (Barbati *et al.*, 2014).

Quanto risulta essere importante per lo stoccaggio di carbonio la coltivazione, tanto lo è anche l'utilizzo che si farà del legno successivamente.

Per quanto riguarda il legno da biomassa, che viene avviato a combustione, solo parte del carbonio viene stoccato, cioè la quantità che rimane nei tessuti radicali e la quantità stoccata nel suolo: il carbonio stoccato delle porzioni epigee viene reimpresso in atmosfera durante la combustione.

Questo deriva dal metodo dell'IPCC per

il calcolo di C incorporata della biomassa, che però trascura la frazione di carbonio che viene bloccata all'interno di eventuali prodotti in legno.

Nonostante vengano tagliati fuori dal metodo, sempre l'IPCC spinge a livello mondiale l'utilizzo dei prodotti a base legno, soprattutto nell'ambito delle costruzioni, dove potrebbero sostituire, sia a livello strutturale che non, altri materiali derivati da materie prime non rinnovabili, come cemento, acciaio e materie plastiche.

Nei prodotti in legno, al contrario della frazione destinata alla combustione, il carbonio è come se venisse "intrappolato" in notevoli quantità per la durata di tutto il ciclo di vita.

Nel 2012 il Comitato Europeo di Normazione (CEN), in parallelo con le idee dell'IPCC sulla sostituzione del materiale legno a tutti i materiali non rinnovabili, redige la prEN 16449 *"Wood and wood-based products - Calculation of sequestration of atmospheric carbon dioxide"*, con la quale fornisce le linee guida per il calcolo dell'anidride carbonica sequestrata dall'albero in crescita e incorporato nel prodotto finale per tutto il suo ciclo di vita.

Con il supporto della norma possiamo in questo modo bilanciare anche nello studio di tesi quanta CO₂ viene sequestrata dalla coltivazione complessiva di pioppo con turno di 15 anni e quanta ne rimarrà immagazzinata nel pannello di compensato di pioppo finale.

Calcolo del sequestro di anidride carbonica (prEN 1644)

Il calcolo è basato sui pesi atomici di carbonio (12) e ossigeno (16): nella molecola di CO₂ in proporzione abbiamo 1 parte di carbonio su 2,67 parti di ossigeno.

Bisogna inoltre considerare che mediamente, ed in genere sulla maggior parte delle specie legnose, per ogni 100 kg di legno anidro, 50 kg sono di carbonio: quindi per produrre 100 kg di legno anidro, un individuo dovrà assorbire 183,5 kg di anidride carbonica (oltre ad acqua, nutrienti e radiazione luminosa).

La normativa fornisce inoltre l'equazione per il calcolo basata sulla densità del legno: il legno di pioppo, allo stato anidro ha una densità di 405 kg/m³.

$$CO_{2up}=(wd\div 2) \times 3,67$$

Dove:

CO_{2up} = anidride carbonica assorbita in kg/m³

wd = densità del legno

6.2 RISULTATI E DISCUSSIONE

Per il calcolo dell'assorbimento di ha di coltivazione dobbiamo tenere in considerazione la produttività del nostro impianto.

- Modello intensivo con clone I-214: in media produce 180 t di legno di pioppo all'ettaro.
- Modello intensivo con clone MSA: i cloni MSA confronto al tradizionale I-214 registrazione una produttività maggiore del 15 % in termini di volume, arrivando circa a 229 t di legno di pioppo all'ettaro.
- Modello certificato PEFC con clone MSA: i cloni MSA confronto al tradizionale I-214 registrazione una produttività maggiore del 15 % in termini di volume, arrivando circa a 229 t di legno di pioppo all'ettaro.

Assorbimento del pioppeto modello intensivo con clone I-214.

Un pioppo assorbe mediamente 743 kg di CO₂ per ogni metro cubo di legno ani-

dro prodotto.

Un individuo di pioppo adulto di dimensioni medie pesa 6 q (3 q anidro) ed è quindi circa 0,8 m³.

Il suo assorbimento di CO₂ è stato quindi di 743x0,8=594 kg CO₂.

Questo capacità di assorbimento, riportata alla superficie di un ettaro di pioppeto, mi rende un valore di assorbimento di 164.5 t di CO₂ assorbite in 10 anni di crescita (in questo caso non si considera parte della CO₂ persa con la caduta delle foglie).

Questo calcolo è riferito al solo pioppeto, ma l'assorbimento è simile anche in barbatellaio e in vivaio.

Assorbimento del pioppeto modello intensivo con cloni MSA.

Un pioppo assorbe quindi mediamente 743 kg di CO₂ per ogni metro cubo di legno anidro prodotto.

Un individuo di pioppo MSA adulto di dimensioni medie pesa 8 q (4 q anidro) ed è quindi circa 0,98 m³.

Il suo assorbimento di CO₂ è stato quindi di 743x0,98=728 kg CO₂.

Questo capacità di assorbimento, riportata alla superficie di un ettaro di pioppeto, mi rende un valore di assorbimento di 201,7 t di CO₂ assorbite in 10 anni di crescita (in questo caso non si considera parte della CO₂ persa con la caduta delle foglie).

Questo calcolo è riferito al solo pioppeto, ma l'assorbimento è simile anche in barbatellaio e in vivaio.

Assorbimento del pioppeto modello certificato PEFC con cloni MSA.

Un pioppo assorbe quindi mediamente 743 kg di CO₂ per ogni metro cubo di legno anidro prodotto.

Un individuo di pioppo MSA adulto di di-

mensioni medie pesa 8 q (4 q anidro) ed è quindi circa 0,98 m³.

Il suo assorbimento di CO₂ è stato quindi di 743x0,98=728 kg CO₂.

Questo capacità di assorbimento, riportata alla superficie di un ettaro di pioppeto, mi rende un valore di assorbimento di 201,7 t di CO₂ assorbite in 10 anni di crescita (in questo caso non si considera parte della CO₂ persa con la caduta delle foglie).

Questo calcolo è riferito al solo pioppeto, ma l'assorbimento è simile anche in barbatellaio e in vivaio.

Dalla pagine seguente vengono illustrati e commentati i risultati e i grafici ottenuti dall'analisi su SimaPro, con gli impatti ambientali per ogni fase di coltivazione del pioppo e le comparazioni tra i tre modelli colturali.

ECOPROFILO - BARBATELLAIO MODELLO INTENSIVO

Input

Energia e combustibile in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Gasolio	kg	-	x	1502,2

Materiali in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Concime ternario	kg	-	x	500
Concime Urea	kg	-	x	140
Diserbanti	kg	-	x	2,28
Trattamento insetticida	kg	-	x	2,7
Trattamento fungicida	kg	-	x	12
Consumo acqua*	l	x	-	3 012 500
Talee	n	x	-	62 500

Output

	Unità	Totale
IPCC 2013 GWP 100a V1.00		
Global Warming Potential	kg CO ₂ eq	2 966,24

ILCD method		
Climate Change	kg CO ₂ eq	2973,38
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00028
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	0,0012
Human toxicity, cancer effects	CTUh	2,84E-06
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1,21
Ionizing radiation HH	kBq U235 eq	7,73
Ionizing radiation E (interim)	CTUe	6,9E-05
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	28,53
Acidification	molc H+ eq	24,85
Terrestrial eutrophication	molc N eq	119,20
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,056
Marine eutrophication	kg N eq	10,67
Freshwater ecotoxicity	CTUe	3 873,54
Land use	kg C deficit	31,96
Water resource depletion	m3 water eq	2 613,12
Mineral, fossil & ren resource depletion	kg Sb eq	0,045

CED		
Non renewable, fossil	MJ	41 890,53
Non-renewable, nuclear	MJ	276,52
Non-renewable, biomass	MJ	0,073
Renewable, biomass	MJ	19,51
Renewable, wind, solar, geothe	MJ	32,55
Renewable, water	MJ	80,73

Berger et al 2014 (Water Scarcity) V1.00

WDI	m ³	1 923,94
-----	----------------	----------

*come consumo d'acqua si intende l'acqua totale utilizzata durante tutta la coltivazione, sia quella per l'irrigazione che per i trattamenti fitosanitari

Gli impatti caratterizzati da colore più chiaro sono stati calcolati, ma non vengono rappresentati nel grafico in quanto poco significativi per l'analisi in particolare.

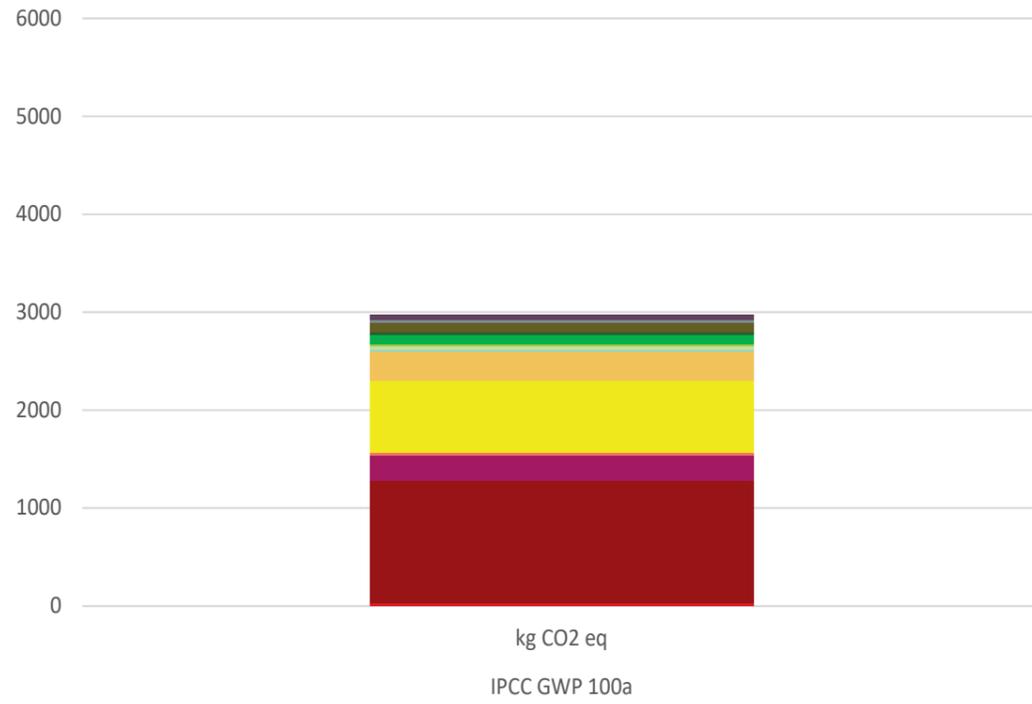


Grafico 6.1 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

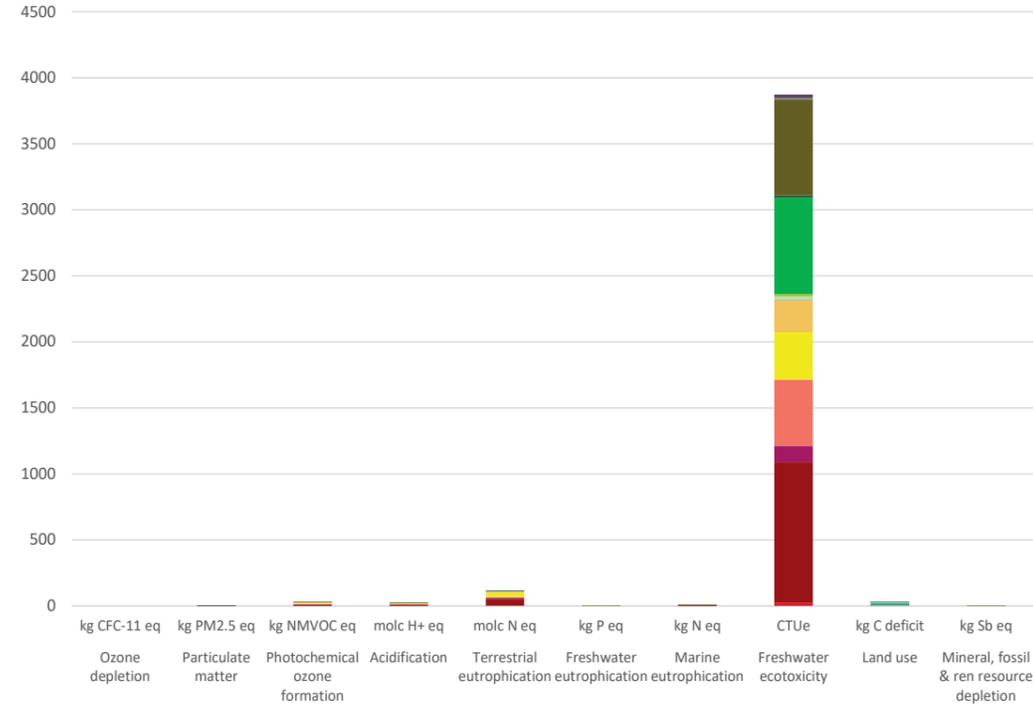


Grafico 6.2 - ILCD method

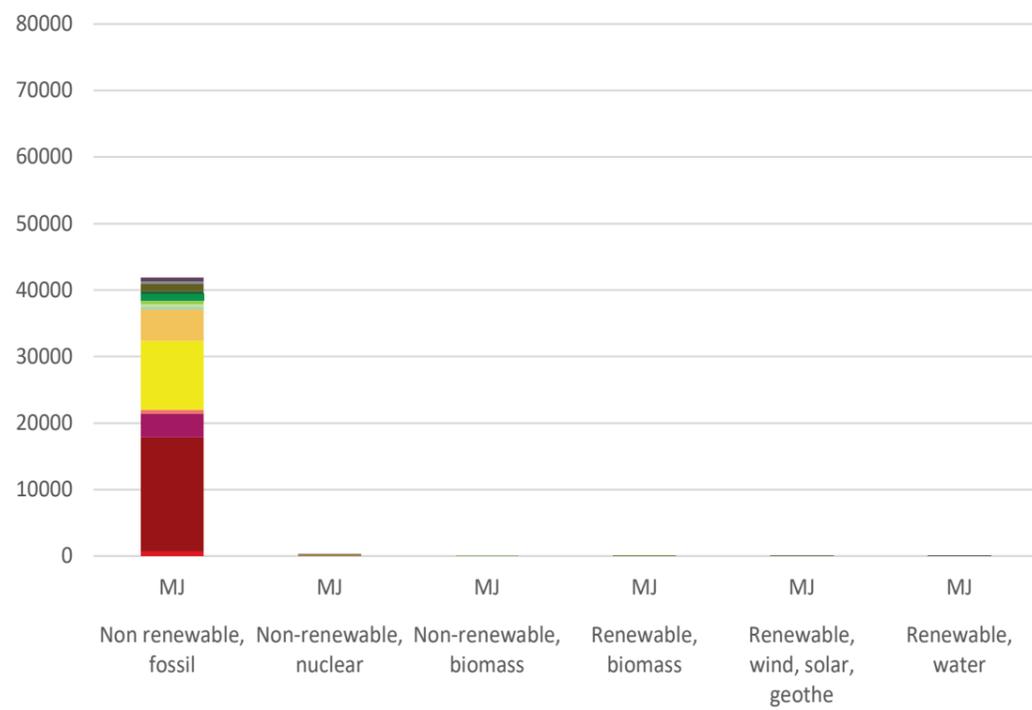


Grafico 6.3 - CED

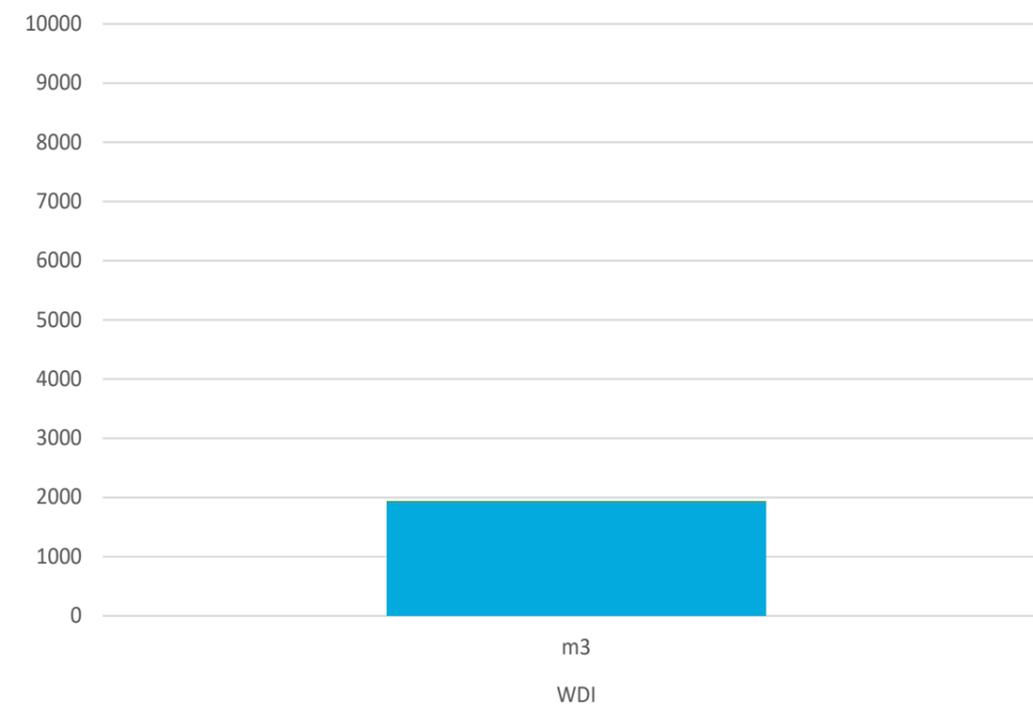


Grafico 6.4 - Berger et al. 2014 (Water Scarcity) V1.00

- Lavorazioni del suolo
- Aratura
 - Discatura
 - Fresatura
- Irrigazione
- Irrigazione
- Trattamenti
- Concimazione I
 - Concimazione II
 - Diserbo
 - Treatmento crisomela
 - Treatmento ifantria
 - Treatmento marssonina
 - Treatmento punteruolo
 - Treatmento ruggine
- Altre operazioni
- Messa a dimora
 - Raccolta
 - Taglio astoni

Barbatellaio Modello Intensivo.

I 4 grafici che vengono presentati ci illustrano in modo intuitivo quali siano gli impatti ambientali del barbatellaio coltivato secondo il modello intensivo, per ogni metodo analizzato.

- IPCC: il principale responsabile del riscaldamento globale risulta essere la Concimazione I, ovvero la concimazione di fondo per la preparazione del terreno, che copre il 42% circa delle emissioni totali di CO₂ in atmosfera (1247,57 kg CO₂eq). La concimazione viene effettuata con trattore e spandiconcime e la sostanza è un concime ternario NPK 15-15-15. Altre lavorazioni che hanno un ruolo significativo nel calcolo IPCC sono la Messa a Dimora per il 24,7%, Concimazione II per il 9,8% e la Fresatura per l'8,5%.
- ILCD: nel metodo ILCD l'indicatore realmente rilevante nello studio risulta essere "Freshwater Ecotoxicity", dove l'impatto è maggiore confronto alle altre categorie: le lavorazioni che compromettono l'ecotossità dell'acqua sono principalmente le sostanze utilizzate durante i tre anni di coltura. Anche in questo caso la lavorazione protagonista è la Concimazione I che rappresenta il 27,5% degli impatti (1063,06 CTUe), seguito dai Trattamenti per Marssonina e Ruggine con il 18,8% e la lavorazione per il Diserbo con il 12,9%. Minore importanza hanno la Messa a dimora con il 9,3% e la Concimazione II con il 6,3%.
- CED: come già descritto in precedenza le emissioni di gas serra e il consumo di energia sono indissolubilmente legati. Si può notare quindi che le lavorazioni che risultano avere una Cumulative Energy Demande superiore corrispondono alle lavora-

zioni che rilasciano più CO₂ in atmosfera.

Tra tutti i parametri che vengono analizzati l'indicatore più significativo risulta essere il consumo di risorse non rinnovabili, prevalentemente di combustibili fossili: questo è dato dall'utilizzo per l'interno ciclo di vita e per tutte le lavorazioni di trattori e macchinari a gasolio.

Nella categoria "Non Renewable, fossil" la Concimazione I, come negli altri casi, risulta essere la più impattante coprendo il 41% del totale (17157,5 MJ).

Questa lavorazione è seguita dalla Messa a Dimora con il 24,8%, Concimazione II con l'11,2% e la Fresatura con il 8,5%.

Le altre lavorazioni, nonostante abbiano comunque un impatto per quanto riguarda il consumo di risorse non rinnovabili, risultano essere meno importanti.

Come possiamo notare le percentuali che caratterizzano ogni lavorazione si avvicina molto tra il calcolo di GWP e CED, appunto per la questione che risultano essere legate.

Water Scarcity: per quanto riguarda il consumo di acqua potabile naturalmente la maggiore responsabile risulta essere l'attività di irrigazione, coprendo il 99,6% del consumo di risorse idriche (1917 m³). Il restante 0,4% è dato dall'acqua utilizzata per i trattamenti.

ECOPROFILO - VIVAIO MODELLO INTENSIVO

Input

Energia e combustibile in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Gasolio	kg	-	x	1 138,8

Materiali in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Concime ternario	kg	-	x	500
Concime Urea	kg	-	x	70
Diserbanti	kg	-	x	2,68
Trattamento spollonante	kg	-	x	0,48
Trattamento insetticida	kg	-	x	2,7
Trattamento fungicida	kg	-	x	6
Consumo acqua*	l	x	-	2 010 500
Astoni	n	x	-	7 000

Output

	Unità	Totale
IPCC 2013 GWP 100a V1.00		
Global Warming Potential	kg CO ₂ eq	2 895,99

ILCD method		
Climate Change	kg CO ₂ eq	2 902,78
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00029
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	0,0013
Human toxicity, cancer effects	CTUh	2,49E-06
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1,24
Ionizing radiation HH	kBq U235 eq	7,06
Ionizing radiation E (interim)	CTUe	6,32E-05
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	28,64
Acidification	molc H+ eq	24,76
Terrestrial eutrophication	molc N eq	119,56
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,044
Marine eutrophication	kg N eq	10,54
Freshwater ecotoxicity	CTUe	3 148,61
Land use	kg C deficit	26,20
Water resource depletion	m3 water eq	1742,54
Mineral, fossil & ren resource depletion	kg Sb eq	0,044

CED		
Non renewable, fossil	MJ	40 797,42
Non-renewable, nuclear	MJ	248,70
Non-renewable, biomass	MJ	0,055
Renewable, biomass	MJ	18,007
Renewable, wind, solar, geoth	MJ	27,05
Renewable, water	MJ	66,99

Berger et al 2014 (Water Scarcity) V1.00

WDI	m ³	1 283,79
-----	----------------	----------

*come consumo d'acqua si intende l'acqua totale utilizzata durante tutta la coltivazione, sia quella per l'irrigazione che per i trattamenti fitosanitari

Gli impatti caratterizzato da colore più chiaro sono stati calcolati, ma non vengono rappresentati nel grafico in quanto poco significativi per l'analisi in particolare.

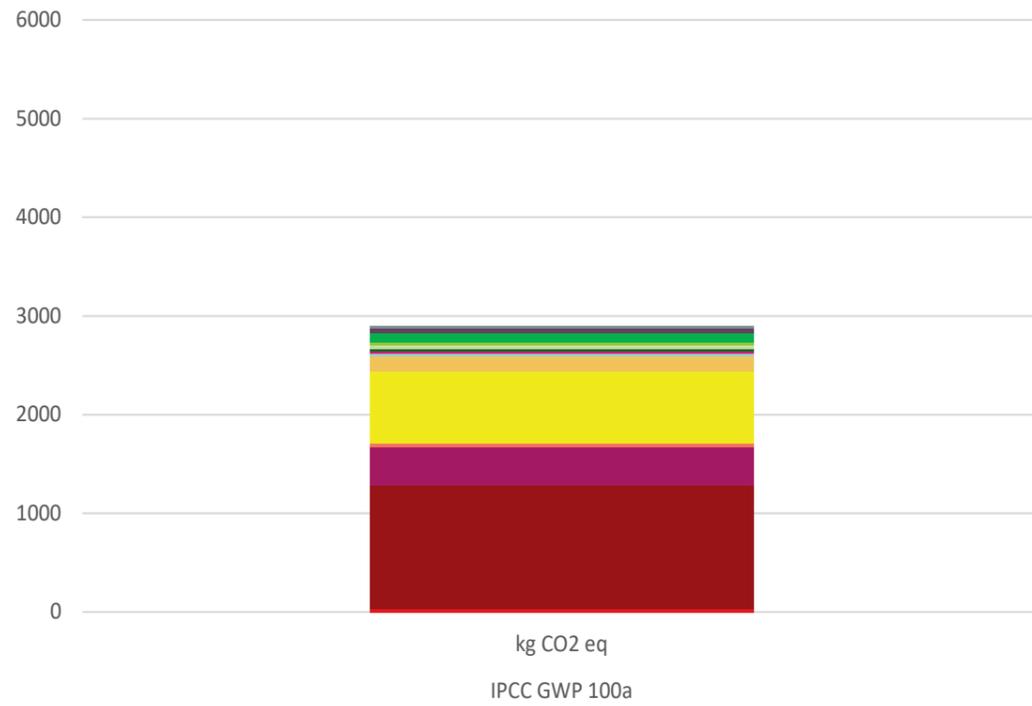


Grafico 6.5 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

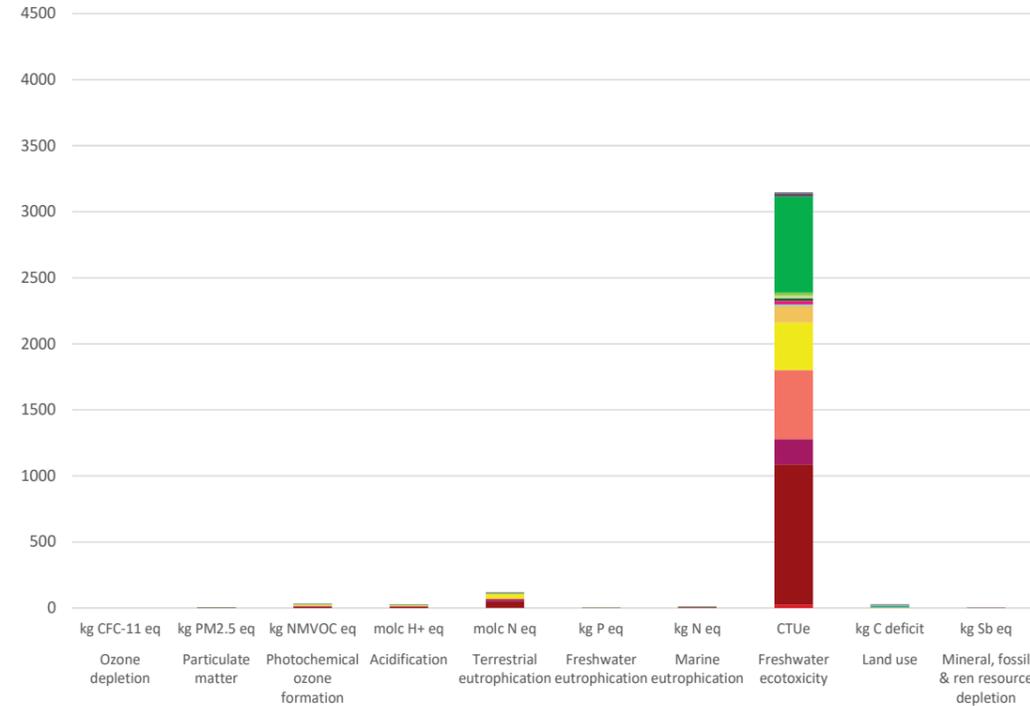


Grafico 6.6 - ILCD method

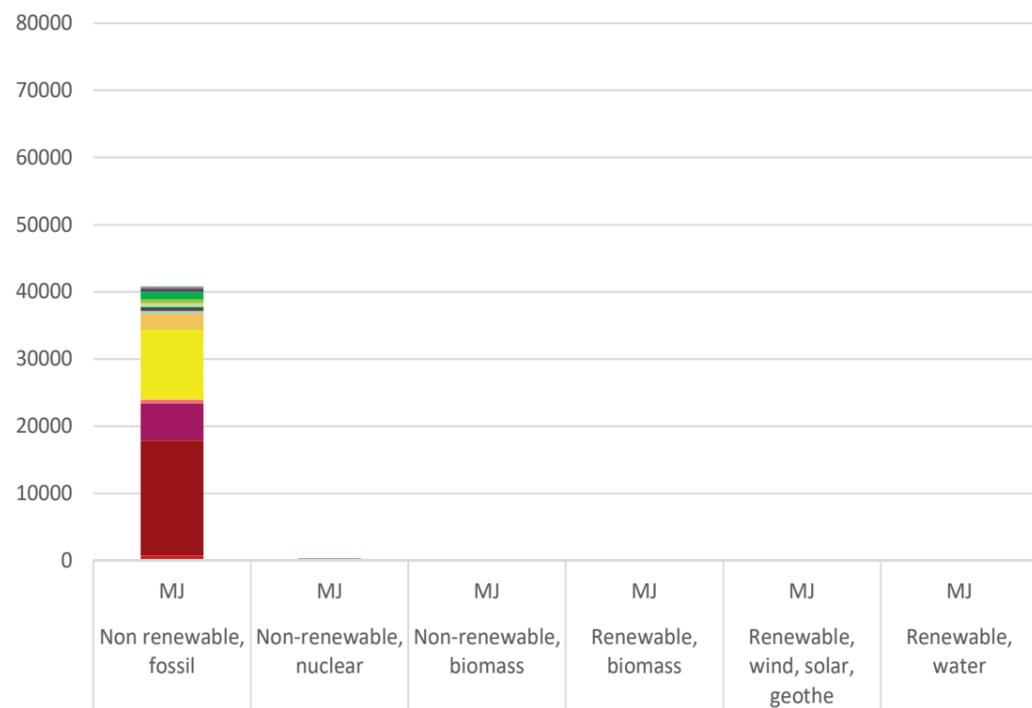


Grafico 6.7 - CED

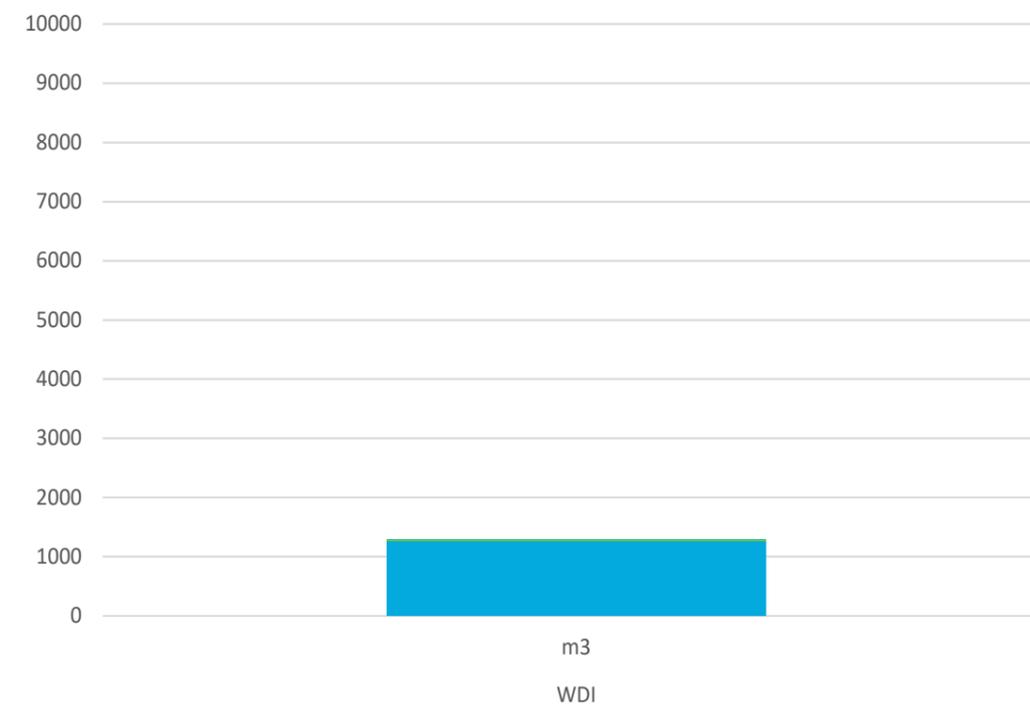


Grafico 6.8 - Berger et al. 2014 (Water Scarcity) V1.00

- Lavorazioni del suolo
- Aratura
 - Discatura
 - Fresatura
 - Zappatura
- Irrigazione
- Irrigazione
- Trattamenti
- Concimazione I
 - Concimazione II
 - Diserbo
 - Spollonatura
 - Trattamento crisomela
 - Trattamento ifantria
 - Trattamento marssonina
 - Trattamento punteruolo
- Altre operazioni
- Correzione punte
 - Messa a dimora
 - Potatura
 - Raccolta
 - Taglio astoni

Vivaio Modello Intensivo.

I 4 grafici che vengono presentati ci illustrano in modo intuitivo quali siano gli impatti ambientali del vivaio coltivato secondo il modello intensivo, per ogni metodo analizzato.

- IPCC: il principale responsabile del riscaldamento globale risulta essere la Concimazione I, ovvero la concimazione di fondo per la preparazione del terreno, che copre il 43,1% circa delle emissioni totali di CO₂ in atmosfera (1247,57 kg CO₂eq). La concimazione viene effettuata con trattore e spandiconcime e la sostanza è un concime ternario NPK 15-15-15. Altre lavorazioni che hanno un ruolo significativo nel calcolo IPCC sono la Messa a Dimora per il 25,2%, Fresatura per il 13,4% e Concimazione II per il 4,9%.
- ILCD: nel metodo ILCD l'indicatore realmente rilevante nello studio risulta essere "Freshwater Ecotoxicity", dove l'impatto è maggiore confronto alle altre categorie. Anche in questo caso, nel calcolo dell'ecotossicità dell'acqua dolce, la protagonista è la Concimazione I che rappresenta il 33,6% degli impatti (1063,06 CTUe), seguito dai Trattamenti per Marssonina con il 23,2%, la lavorazione per il Diserbo con il 16,6% e la Messa a dimora con l'11,5%. Minore impatto hanno la Fresatura e la Concimazione II che coprono rispettivamente il 6% ed il 4%.
- CED: come già descritto in precedenza le emissioni di gas serra e il consumo di energia sono indissolubilmente legati. Si può notare quindi che le lavorazioni che risultano avere una Cumulative Energy Demande superiore corrispondono alle lavorazioni che rilasciano più CO₂ in atmosfera.

Tra tutti i parametri che vengono analizzati l'indicatore più significativo risulta essere il consumo di risorse non rinnovabili, prevalentemente di combustibili fossili: questo è dato dall'utilizzo per l'interno ciclo di vita e per tutte le lavorazioni di trattori e macchinari a gasolio.

Nella categoria "Non Renewable, fossil" la Concimazione I, come negli altri casi, risulta essere la più impattante coprendo il 42,1% del totale (17157,5 MJ).

Questa lavorazione è seguita dalla Messa a Dimora con il 25,5%, Fresatura con il 13,5% e la Concimazione II con il 5,7%.

Le altre lavorazioni, nonostante abbiano comunque un impatto per quanto riguarda il consumo di risorse non rinnovabili, risultano essere meno importanti.

Come possiamo notare le percentuali che caratterizzano ogni lavorazione si avvicina molto tra il calcolo di GWP e CED, appunto per la questione che risultano essere legate.

Water Scarcity: per quanto riguarda il consumo di acqua potabile naturalmente la maggiore responsabile risulta essere l'attività di irrigazione, coprendo il 99,5% del consumo di risorse idriche (1278 m³). Il restante 0,5% è dato dall'acqua utilizzata per i trattamenti.

ECOPROFILO - PIOPPETO MODELLO INTENSIVO

Input

Energia e combustibile in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Gasolio	kg	-	x	3 873,9

Materiali in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Concime ternario	kg	-	x	500
Concime Urea	kg	-	x	270
Diserbanti	kg	-	x	10
Trattamento insetticida	kg	-	x	3,2
Trattamento fungicida	kg	-	x	6,92
Consumo acqua*	l	x	-	14 514 815,5
Pioppelle	n	x	-	277

Output

	Unità	Totale
IPCC 2013 GWP 100a V1.00		
Global Warming Potential	kg CO ₂ eq	5 065,64

ILCD method		
Climate Change	kg CO ₂ eq	5 068,58
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,0005
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	0,0028
Human toxicity, cancer effects	CTUh	4,28E-06
Particulate matter	kg PM2.5 eq	2,56
Ionizing radiation HH	kBq U235 eq	11,14
Ionizing radiation E (interim)	CTUe	9,43E-05
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	53,87
Acidification	molc H+ eq	44,64
Terrestrial eutrophication	molc N eq	217,22
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,097
Marine eutrophication	kg N eq	19,46
Freshwater ecotoxicity	CTUe	4 096,51
Land use	kg C deficit	77,51
Water resource depletion	m ³ water eq	12 619,09
Mineral, fossil & ren resource depletion	kg Sb eq	0,045

CED		
Non renewable, fossil	MJ	72 544,31
Non-renewable, nuclear	MJ	371,25
Non-renewable, biomass	MJ	0,55
Renewable, biomass	MJ	32,08
Renewable, wind, solar, geothe	MJ	42,43
Renewable, water	MJ	112,04

Berger et al 2014 (Water Scarcity) V1.00

WDI	m ³	9 274,43
-----	----------------	----------

*come consumo d'acqua si intende l'acqua totale utilizzata durante tutta la coltivazione, sia quella per l'irrigazione che per i trattamenti fitosanitari

Gli impatti caratterizzato da colore più chiaro sono stati calcolati, ma non vengono rappresentati nel grafico in quanto poco significativi per l'analisi in particolare.

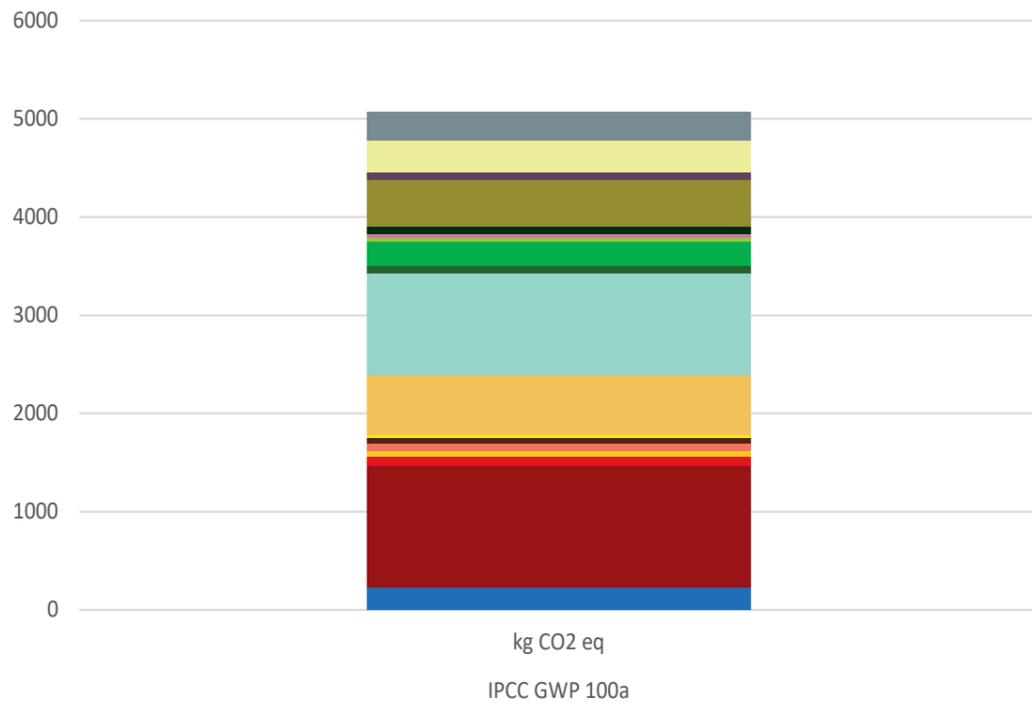


Grafico 6.9 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

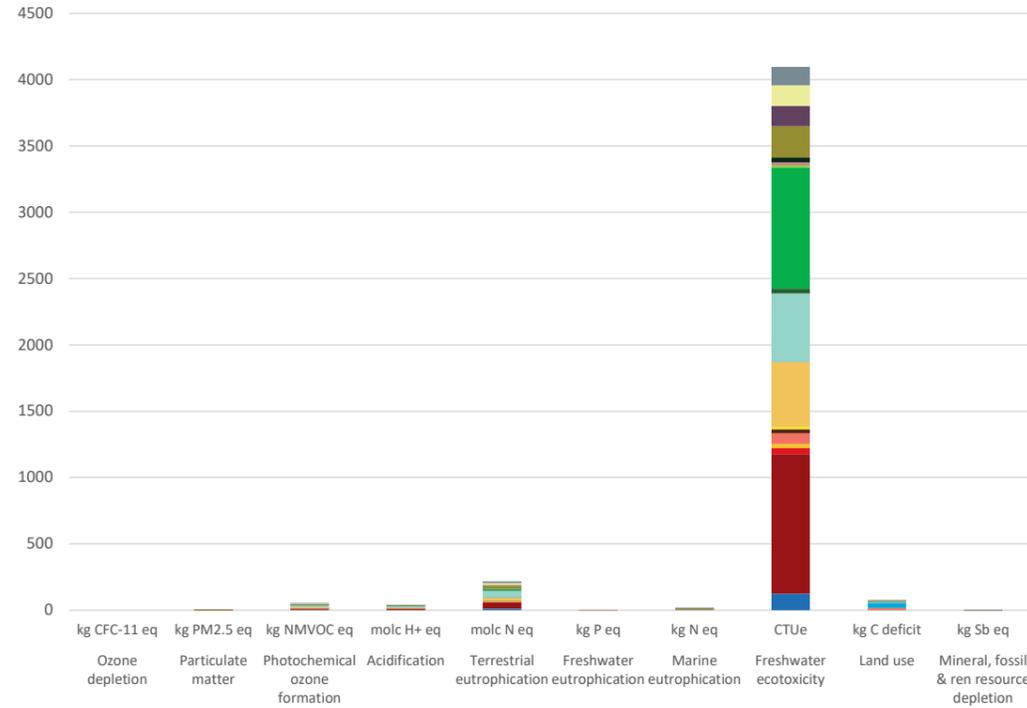


Grafico 6.10 - ILCD method

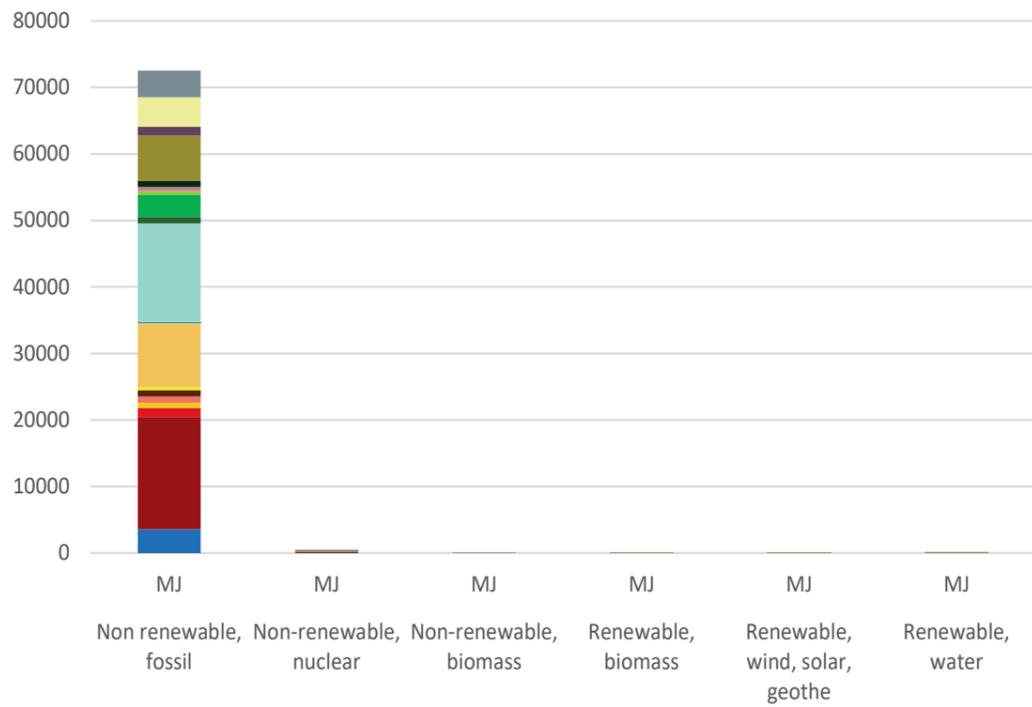


Grafico 6.11 - CED

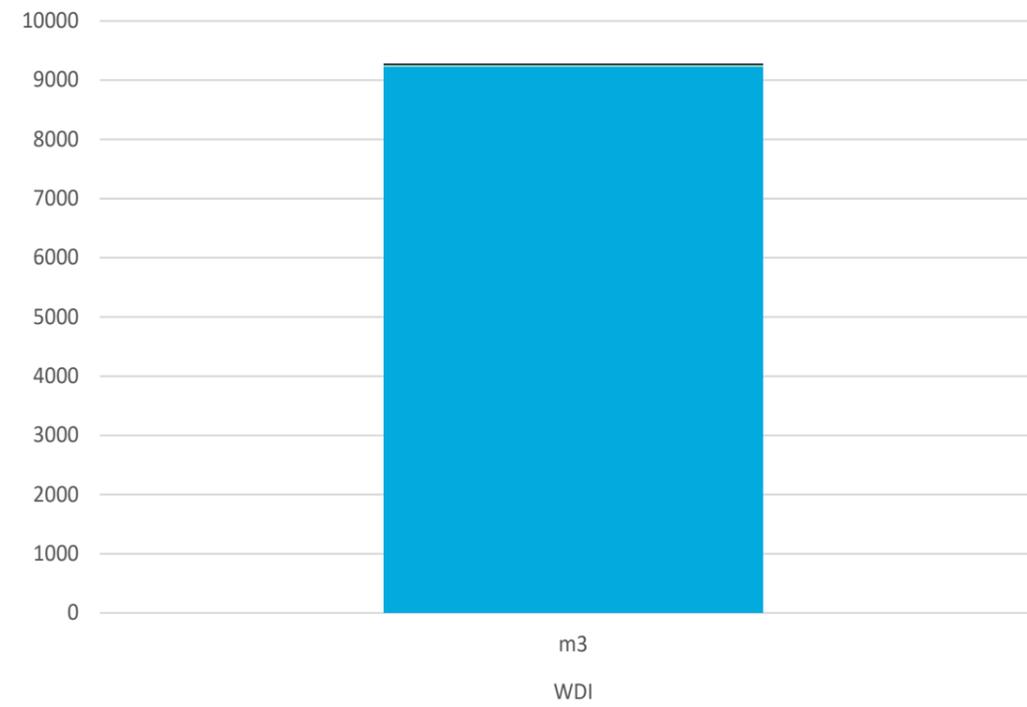


Grafico 6.12 - Berger et al. 2014 (Water Scarcity) V1.00

- Lavorazioni del suolo
- Affinamento
- Aratura
- Chiusura buche
- Cioccata
- Discatura
- Scavo buche
- Tracciamento manuale
- Irrigazione
- Irrigazione I
- Irrigazione II
- Trattamenti
- Concimazione I
- Concimazione II
- Diserbo
- Trattamento af. lanigero
- Trattamento ifantria
- Trattamento marssonina
- Trattamento punteruolo
- Trattamento saperda
- Altre operazioni
- Messa a dimora
- Movimentazione
- Potatura
- Raccolta e depezzatura
- Scarico e messa in acqua
- Taglio e sramatura

Pioppeto Modello Intensivo.

I 4 grafici che vengono presentati ci illustrano in modo intuitivo quali siano gli impatti ambientali del pioppeto coltivato secondo il modello intensivo, per ogni metodo analizzato.

- IPCC: il principale responsabile del riscaldamento globale risulta essere la Concimazione I, ovvero la concimazione di fondo per la preparazione del terreno, che copre il 24,2% circa delle emissioni totali di CO₂ in atmosfera (1244,2 kg CO₂eq). La concimazione viene effettuata con trattore e spandiconcime e la sostanza è un concime ternario NPK 15-15-15. Altre lavorazioni che hanno un ruolo significativo nel calcolo IPCC sono la Discatura per il 20,5%, Concimazione II per il 11,9% e la Potatura per il 9,5%. Tra il 5 ed il 6% vi sono anche le emissioni date dalla Ciocatura, Trattamento Marssonina e la Movimentazione dei tronchi nel sito.
- ILCD: nel metodo ILCD l'indicatore realmente rilevante nello studio risulta essere "Freshwater Ecotoxicity", dove l'impatto è maggiore confronto alle altre categorie. Anche in questo caso, nel calcolo dell'ecotossicità dell'acqua dolce, la protagonista è la Concimazione I che rappresenta il 25,7% degli impatti (1051,5 CTUe), seguito dai Trattamenti per Marssonina con il 22,3%, la lavorazione per la Discatura con il 12,6% e la Concimazione II con il 11,9%. Minore impatto hanno la Potatura, il Taglio e la Movimentazione, la Ciocatura e la Raccolta che coprono in ordine il 6%, il 4% ed il 3%.
- CED: come già descritto in precedenza le emissioni di gas serra e il consumo di energia sono indissolubilmente legati. Si può notare quindi

che le lavorazioni che risultano avere una Cumulative Energy Demande superiore corrispondono alle lavorazioni che rilasciano più CO₂ in atmosfera.

Tra tutti i parametri che vengono analizzati l'indicatore più significativo risulta essere il consumo di risorse non rinnovabili, prevalentemente di combustibili fossili: questo è dato dall'utilizzo per l'interno ciclo di vita e per tutte le lavorazioni di trattori e macchinari a gasolio.

Nella categoria "Non Renewable, fossil" la Concimazione I, come negli altri casi, risulta essere la più impattante coprendo il 23,2% del totale (16824,78 MJ).

Questa lavorazione è seguita dalla Discatura con il 20,4%, Concimazione II con il 13,3% e la Potatura con il 9,4%.

Valori tra il 6 ed il 5% vengono raggiunti dalla Ciocatura, Trattamento Marssonina, Movimentazione e Raccolta.

Le altre lavorazioni, nonostante abbiano comunque un impatto per quanto riguarda il consumo di risorse non rinnovabili, risultano essere meno importanti.

Come possiamo notare le percentuali che caratterizzano ogni lavorazione si avvicina molto tra il calcolo di GWP e CED, appunto per la questione che risultano essere legate.

Water Scarcity: per quanto riguarda il consumo di acqua potabile naturalmente la maggiore responsabile risulta essere l'attività di irrigazione, coprendo il 99,9% del consumo di risorse idriche (9265,5 m³). Il restante 0,1% è dato dall'acqua utilizzata per i trattamenti.

Bilancio di CO₂.

Con i calcoli effettuati tramite la normativa prEN 1644, siamo in grado, dopo aver ricavato la quantità di CO₂ emessa dalle lavorazioni totali in 15 anni di coltivazione, di dire quando, in base alla crescita delle pioppelle, l'impianto arriva in pari con il bilancio di CO₂, ovvero in quale età la nostra piantagione riesce ad assorbire ed azzerare tutta la CO₂ emessa per le lavorazioni.

Troviamo così una curva crescente con l'assorbimento di CO₂ per ogni anno di età [Grafico 6.13].

Una coltivazione di 15 anni (barbatellaio, vivaio e pioppeto) per la produzione di 180 t di legno di pioppo, emette in atmosfera un totale di 5192,9 kg CO₂ eq: i 277 pioppi che vengono coltivati (considerando comunque nel calcolo il carico di carbonio che viene accumulato dalle pioppelle provenienti dal vivaio) assorbono un totale di 164500 kg CO₂ eq.

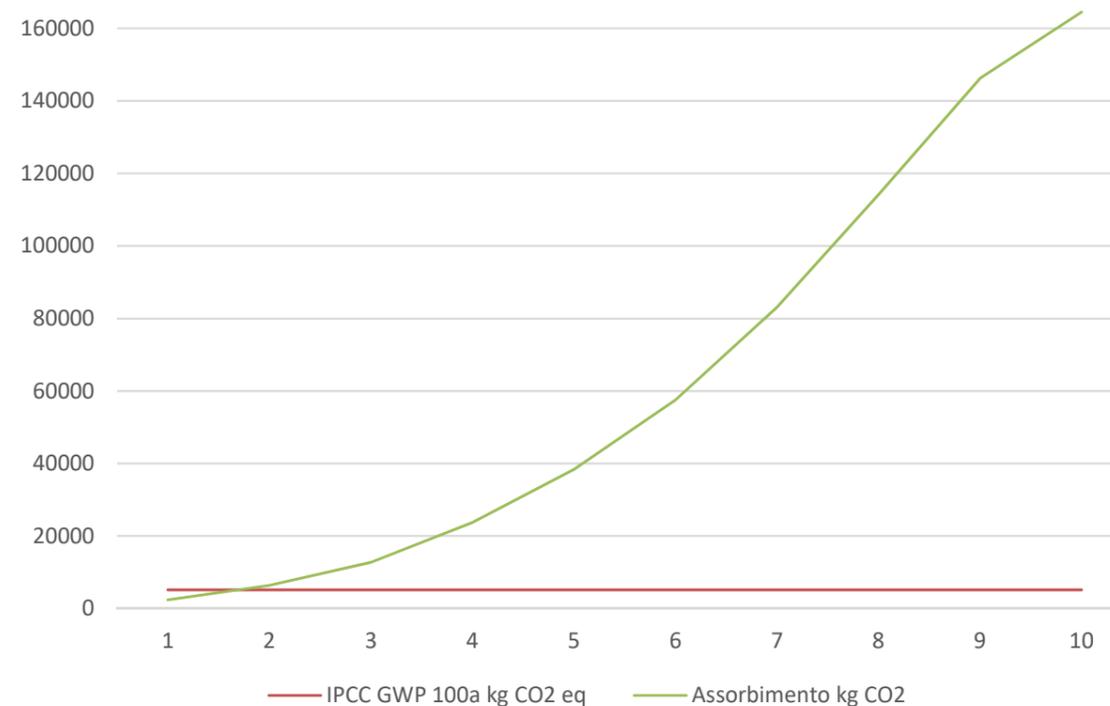


Grafico 6.13 - Assorbimento di CO₂ per 15 anni di coltivazione

L'anidride carbonica emessa durante la fase di coltivazione viene dunque bilanciata e portata a 0 grazie all'assorbimento delle piante intorno alla seconda metà del primo anno in pioppeto: in 15 anni di coltivazione possiamo quindi notare che i pioppi assorbono una quantità di anidride carbonica 30 volte maggiore di quella emessa da tutte le operazioni per la sua buona crescita.

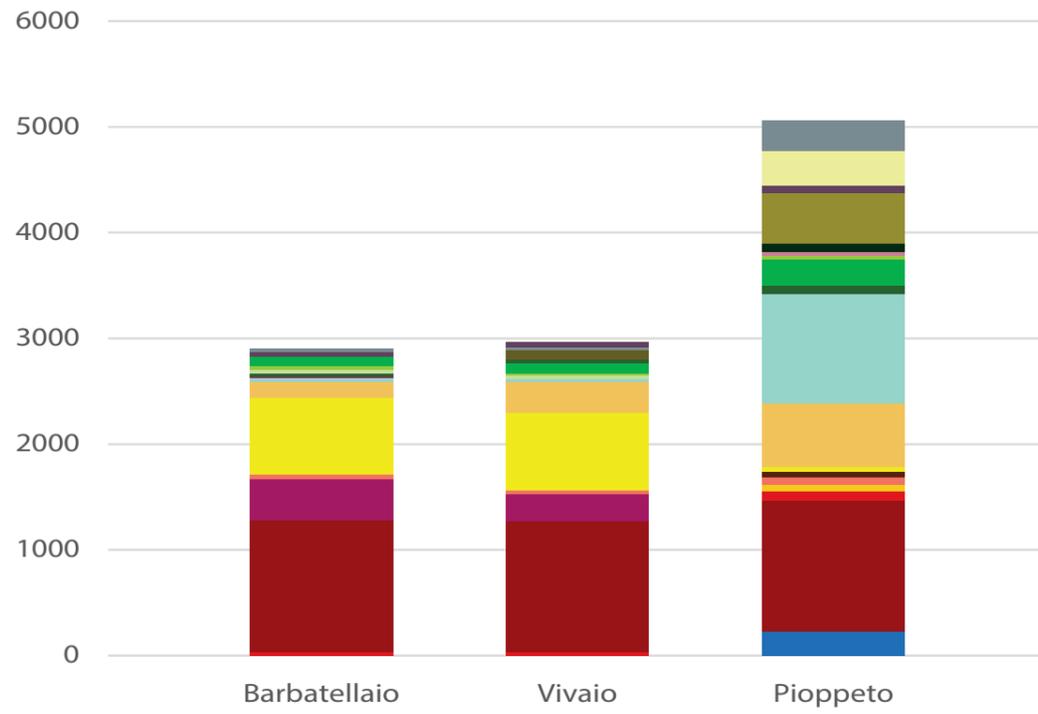


Grafico 6.14 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00
Rapporto tra le fasi di coltivazione - 1 ha

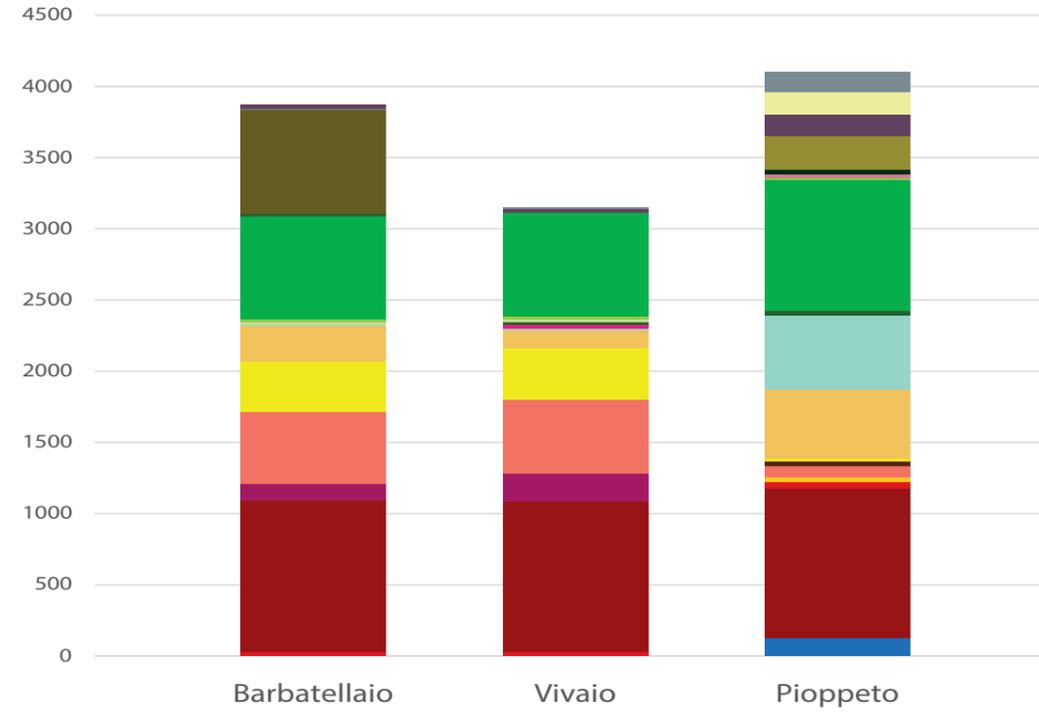


Grafico 6.15 - ILCD method
Rapporto tra le fasi di coltivazione - 1 ha

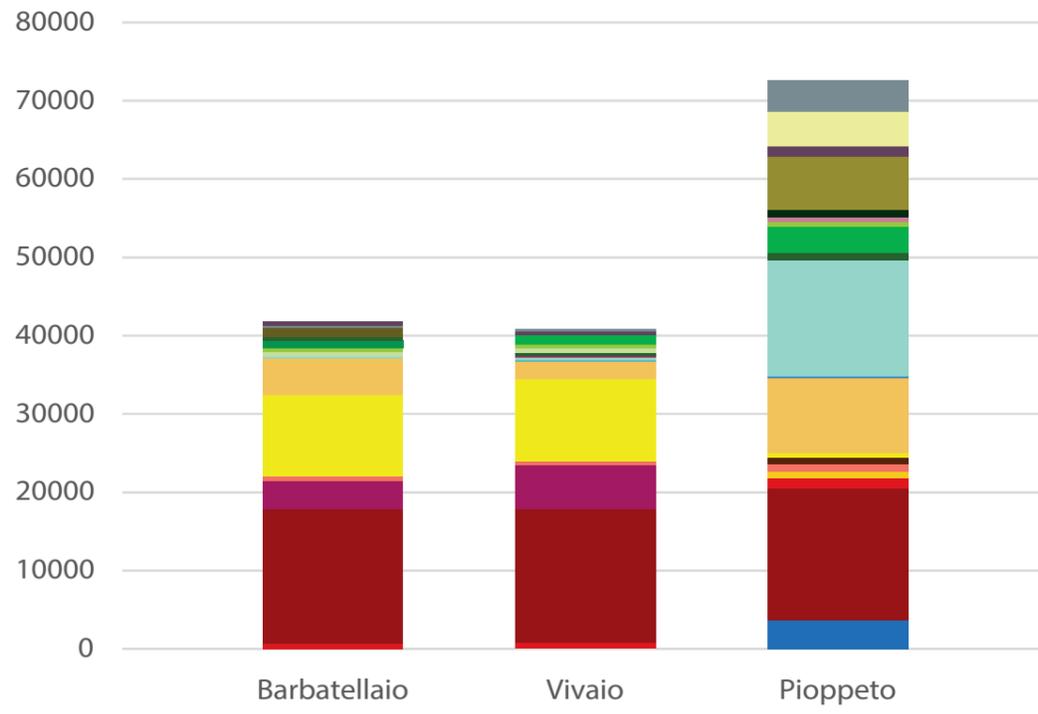


Grafico 6.16 - CED
Rapporto tra le fasi di coltivazione - 1 ha

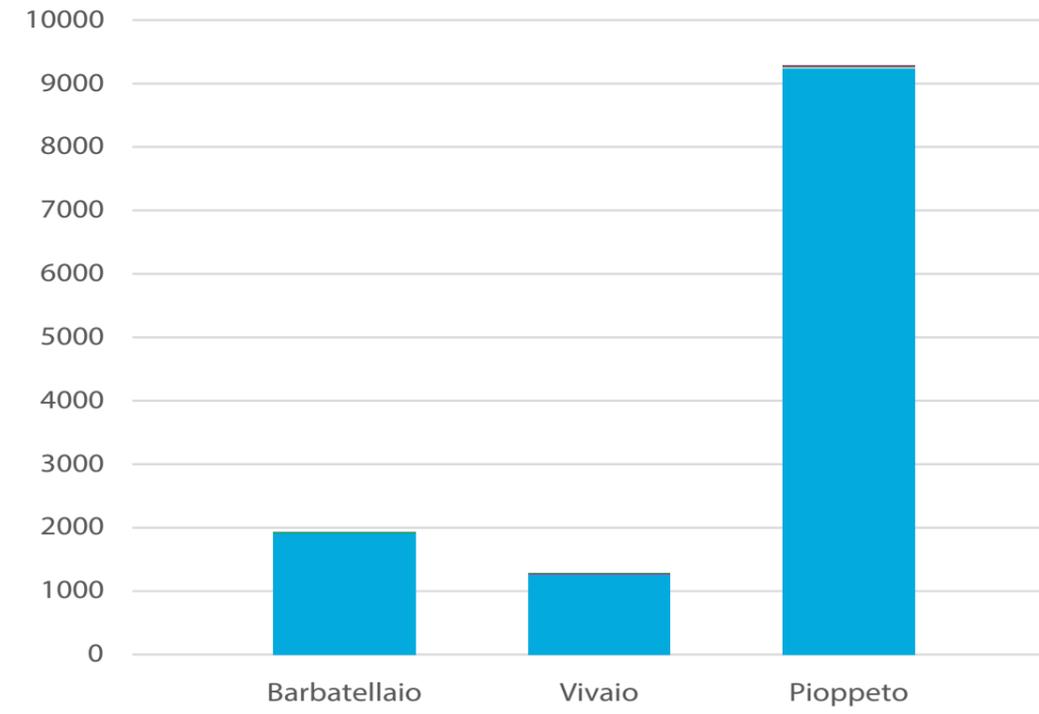


Grafico 6.17 - Berger et al. 2014 (Water Scarcity) V1.00
Rapporto tra le fasi di coltivazione - 1 ha

- Lavorazioni del suolo
- Affinamento
- Aratura
- Chiusura buche
- Cioccata
- Discatura
- Fresatura
- Zappatura
- Scavo buche
- Tracciamento manuale
- Irrigazione
- Irrigazione I
- Irrigazione II
- Trattamenti
- Concimazione I
- Concimazione II
- Diserbo
- Spollonatura
- Treatmento af. lanigero
- Treatmento crisomela
- Treatmento ifantria
- Treatmento marssonina
- Treatmento punteruolo
- Treatmento ruggine
- Treatmento saperda
- Altre operazioni
- Correzione punte
- Messa a dimora
- Movimentazione
- Potatura
- Raccolta e depezzatura
- Scarico e messa in acqua
- Taglio e sramatura

Come possiamo notare dalla comparazione tra i diversi momenti della vita del pioppo ciò che gli accomuna è l'impatto provocato da diverse operazioni che hanno dei valori maggiori confronto ad altre, risultando così le più rilevanti nell'analisi: si ricorda che i valori relativi al barbatellaio sono per ettaro per 3 anni, nel vivaio per ettaro per 2 anni di coltivazione e nel pioppeto per ettaro per 10 anni di coltivazione.

Rilevante risulta essere l'impatto dato dalla Concimazione I, che come possiamo vedere, ricopre la percentuale maggiore in tutte e tre le fasi di coltivazione per i tre metodi di analisi degli impatti IPCC, ILCD e CED, mentre per il Waste Footprint l'irrigazione fa da protagonista per quanto riguarda il consumo delle risorse d'acqua dolce.

Nel metodo IPCC e CED possiamo notare delle variazioni tra Barbatellaio, Vivaio e Pioppeto, dove nei primi due risultano avere molta rilevanza gli impatti causati dalla Messa a dimora del materiale di impianto, le operazioni di Fresatura e la Concimazione II.

Nel Pioppeto invece, sempre per questi due indicatori, i valori più alti vengono raggiunti dalla Discatura, dalla Concimazione II e dalla Potatura (che nel pioppeto diventa meccanizzata, al contrario del vivaio; per questo vi è consumo di energia primaria e conseguenti emissioni di CO₂).

Per quanto riguarda l'ILCD nella categoria per l'ecotossicità dell'acqua, oltre alla Concimazione I che, come già detto, risulta essere la più rilevante, troviamo un innalzamento degli impatti di altre sostanze chimiche utilizzate nella coltura: comune ai tre troviamo il Trattamento per Marssonina, per Vivaio e Barbatellaio

sono alti anche i valori delle operazioni di Diserbo ed infine nel Barbatellaio spicca anche il valore del Trattamento Ruggine.

Analizzando i valori trasformati per 1 t di pioppo prodotta dalla coltivazione, possiamo notare che nelle fasi di Barbatellaio e Vivaio la fase di Messa a Dimora, se per 1 ha di terreno risultava avere valori abbastanza alti, per l'ottenimento di 1 t di pioppo i valori sono praticamente nulli; stesso ragionamento ricade sul Trattamento Ruggine nella fase di Barbatellaio.

In ogni caso in 15 anni di coltivazione le lavorazioni che hanno una maggiore ricaduta sull'ambiente sono la Concimazione I, la Concimazione II e la Discatura.

Per l'indicatore di ecotossicità dell'acqua molto rilevante è l'impatto che hanno le sostanze per il Trattamento Marssonina.

I maggiori impatti sono comunque registrati principalmente nell'ultima fase di vita del pioppo: per arrivare ad ottenere una tonnellata di legno non è necessario un ettaro di terreno, e comunque tutti i valori relativi al pioppeto vanno riferiti a 10 anni di coltivazione, contro i 3 ed i 2 di barbatellaio e vivaio.

Per il calcolo del consumo di acqua dolce i valori più alti sono sempre raggiunti dall'operazione di Irrigazione.

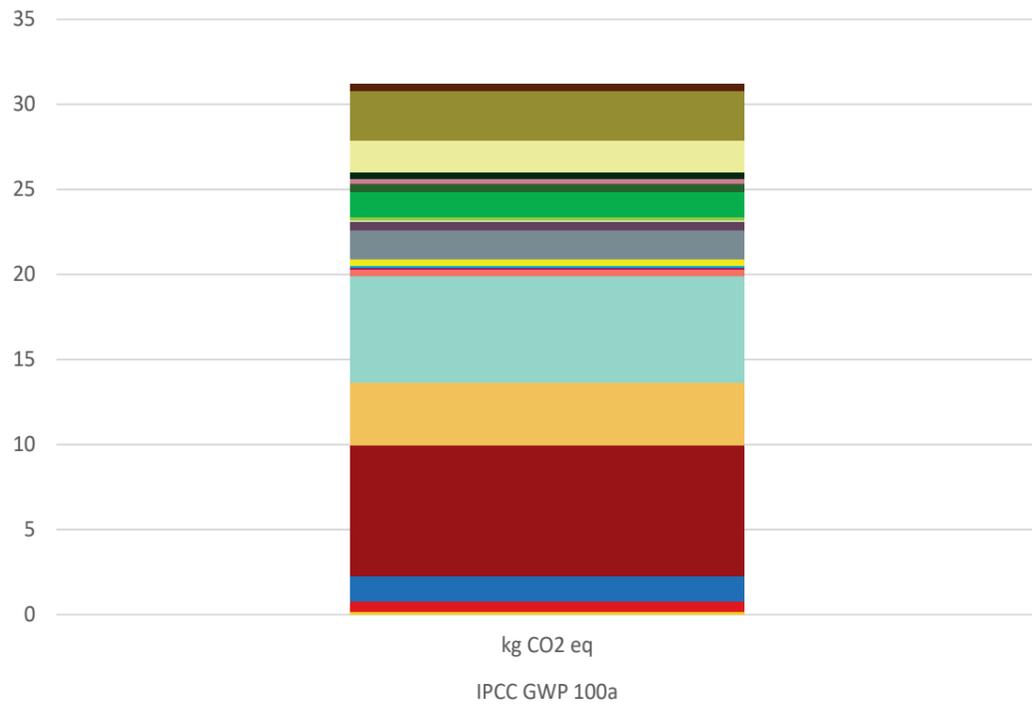


Grafico 6.18 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00
Valori totali per la produzione di 1 t di legno di pioppo

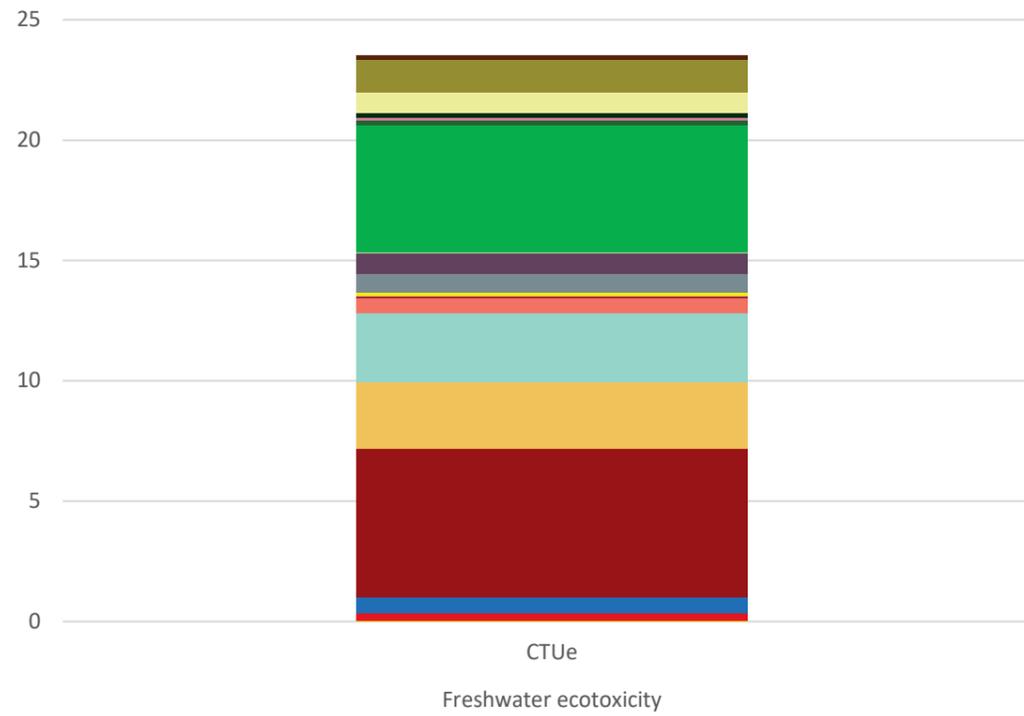


Grafico 6.19 - ILCD method
Valori totali per la produzione di 1 t di legno di pioppo

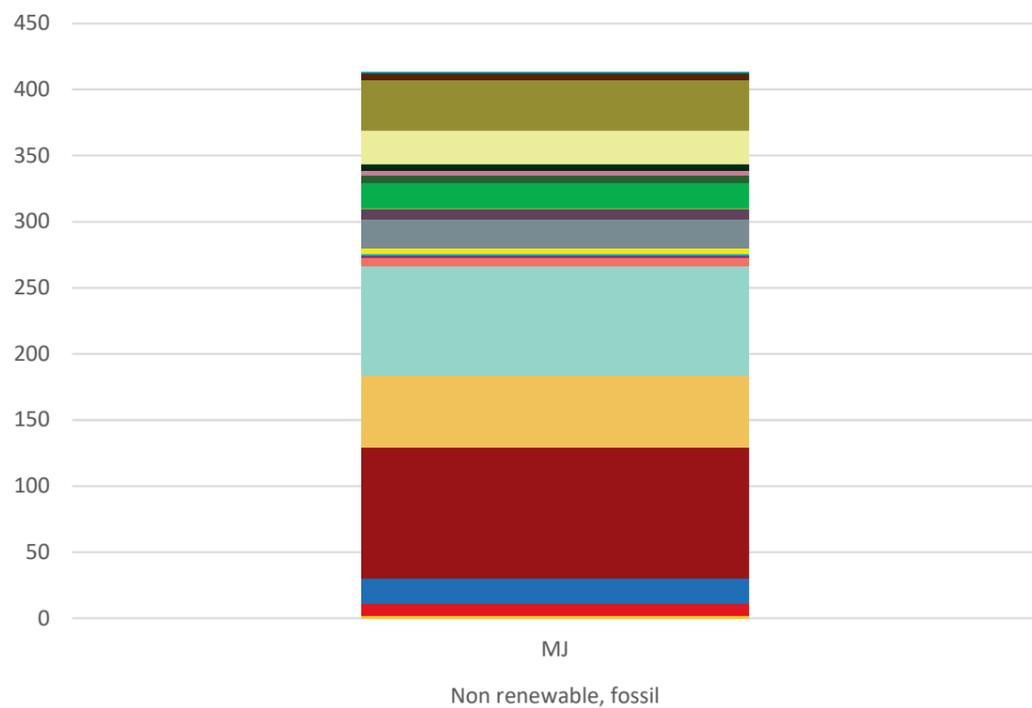


Grafico 6.20 - CED
Valori totali per la produzione di 1 t di legno di pioppo

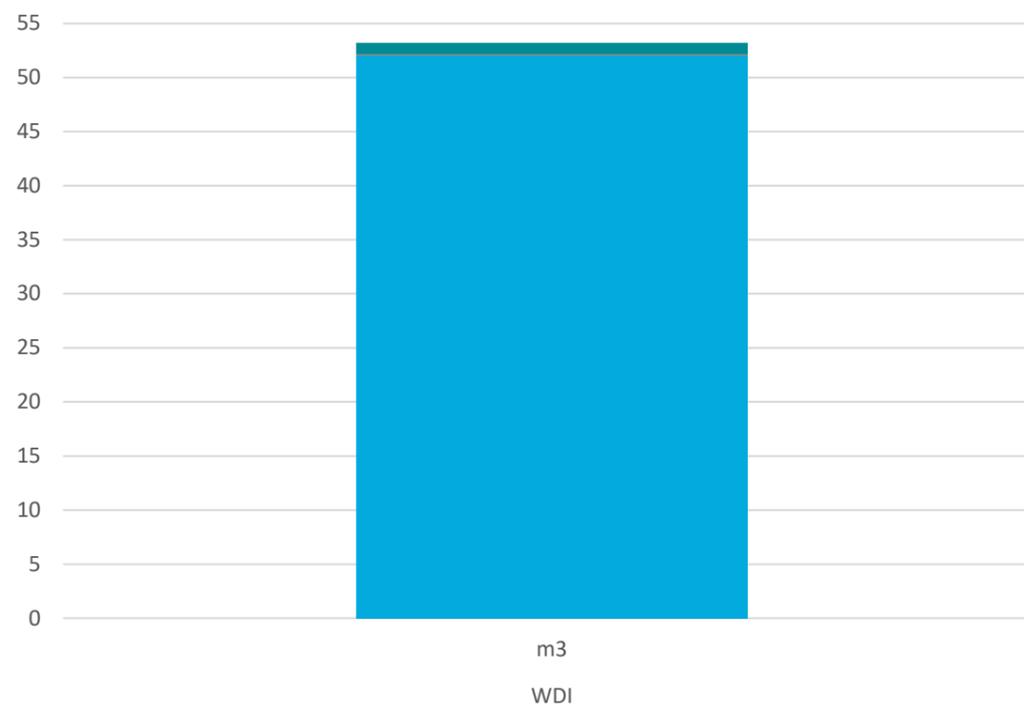


Grafico 6.21 - Berger et al. 2014 (Water Scarcity) V1.00
Valori totali per la produzione di 1 t di legno di pioppo

- Lavorazioni del suolo
- Affinamento
- Aratura
- Chiusura buche
- Cioccatura
- Discatura
- Fresatura
- Zappatura
- Scavo buche
- Tracciamento manuale
- Irrigazione
- Irrigazione I
- Irrigazione II
- Trattamenti
- Concimazione I
- Concimazione II
- Diserbo
- Spollonatura
- Trattamento af. lanigero
- Trattamento crisomela
- Trattamento ifantria
- Trattamento marssonina
- Trattamento punteruolo
- Trattamento ruggine
- Trattamento saperda
- Altre operazioni
- Correzione punte
- Messa a dimora
- Movimentazione
- Potatura
- Raccolta e depezzatura
- Scarico e messa in acqua
- Taglio e sramatura

ECOPROFILO - BARBATELLAIO CLONI MSA

Input

Energia e combustibile in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Gasolio	kg	-	x	1494,4

Materiali in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Concime ternario	kg	-	x	500
Concime Urea	kg	-	x	140
Diserbanti	kg	-	x	2,28
Trattamento insetticida	kg	-	x	2,7
Consumo acqua*	l	x	-	3 007 700
Talee	n	x	-	62 500

Output

	Unità	Totale
IPCC 2013 GWP 100a V1.00		
Global Warming Potential	kg CO ₂ eq	2 801,19

ILCD method		
Climate Change	kg CO ₂ eq	2 808,1
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00021
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	0,0012
Human toxicity, cancer effects	CTUh	2,37E-06
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1,15
Ionizing radiation HH	kBq U235 eq	6,97
Ionizing radiation E (interim)	CTUe	6,34E-05
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	27,99
Acidification	molc H+ eq	24,13
Terrestrial eutrophication	molc N eq	117,23
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,033
Marine eutrophication	kg N eq	10,13
Freshwater ecotoxicity	CTUe	2 426,54
Land use	kg C deficit	28,97
Water resource depletion	m ³ water eq	2 611,65
Mineral, fossil & ren resource depletion	kg Sb eq	0,042

CED		
Non renewable, fossil	MJ	39 994,20
Non-renewable, nuclear	MJ	234,79
Non-renewable, biomass	MJ	0,034
Renewable, biomass	MJ	16,17
Renewable, wind, solar, geothe	MJ	19,22
Renewable, water	MJ	51,12

Berger et al 2014 (Water Scarcity) V1.00		
WDI	m ³	1 921,19

*come consumo d'acqua si intende l'acqua totale utilizzata durante tutta la coltivazione, sia quella per l'irrigazione che per i trattamenti fitosanitari

Gli impatti caratterizzato da colore più chiaro sono stati calcolati, ma non vengono rappresentati nel grafico in quanto poco significativi per l'analisi in particolare.

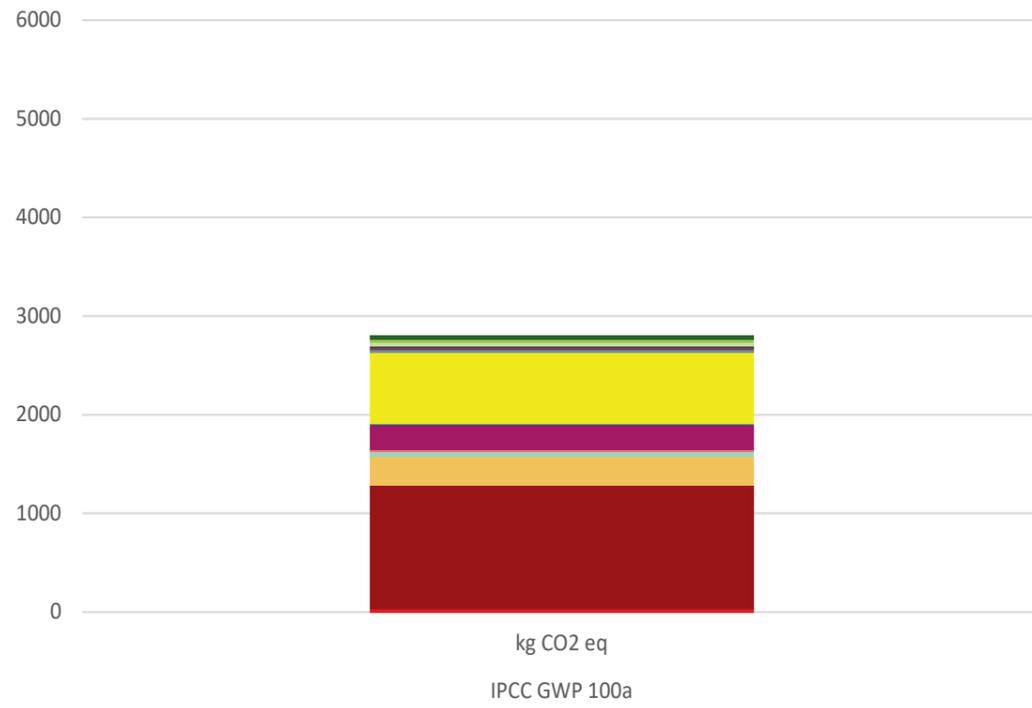


Grafico 6.22 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

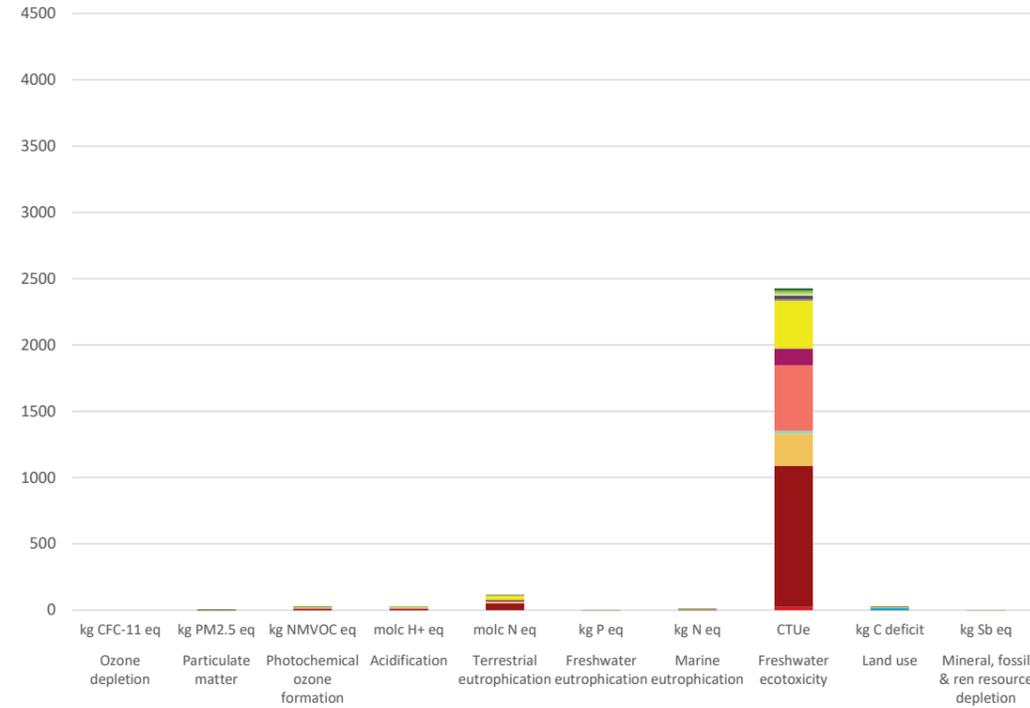


Grafico 6.23 - ILCD method

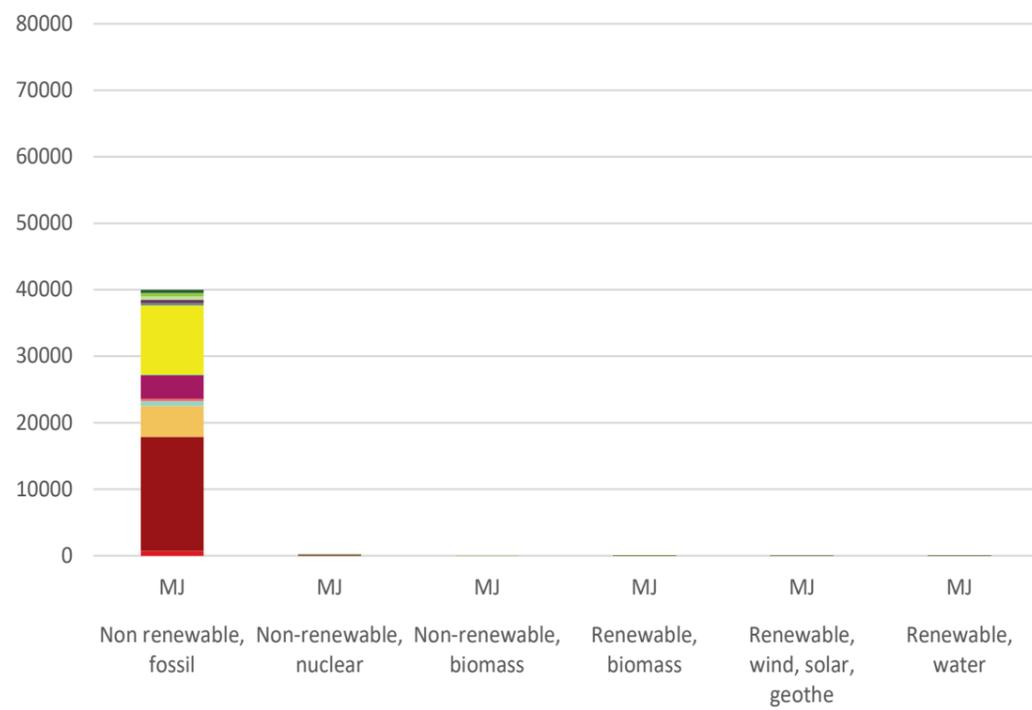


Grafico 6.24 - CED

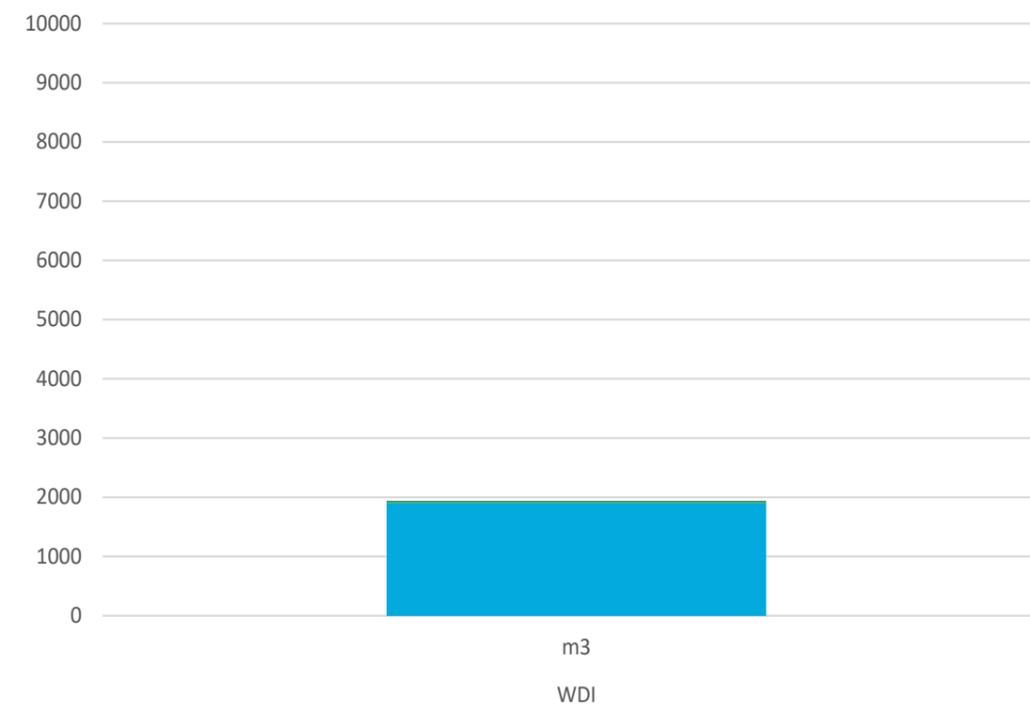


Grafico 6.25 - Berger et al. 2014 (Water Scarcity) V1.00

- Lavorazioni del suolo
- Aratura
 - Discatura
 - Fresatura
- Irrigazione
- Irrigazione
- Trattamenti
- Concimazione I
 - Concimazione II
 - Diserbo
 - Trattamento crisomela
 - Trattamento ifantria
 - Trattamento punteruolo
- Altre operazioni
- Messa a dimora
 - Raccolta
 - Taglio astoni

Barbatellaio con cloni MSA.

I 4 grafici che vengono presentati ci illustrano in modo intuitivo quali siano gli impatti ambientali del barbatellaio coltivato secondo il modello intensivo con cloni MSA, per ogni metodo analizzato.

- IPCC: il principale responsabile del riscaldamento globale risulta essere la Concimazione I, ovvero la concimazione di fondo per la preparazione del terreno, che copre il 44,5% circa delle emissioni totali di CO₂ in atmosfera (1247,6 kg CO₂eq). La concimazione viene effettuata con trattore e spandiconcime e la sostanza è un concime ternario NPK 15-15-15. Altre lavorazioni che hanno un ruolo significativo nel calcolo IPCC sono la Messa a Dimora per il 26,1%, Concimazione II per il 10,3% e la Fresatura per il 9%.
- ILCD: nel metodo ILCD l'indicatore realmente rilevante nello studio risulta essere "Freshwater Ecotoxicity", dove l'impatto è maggiore confronto alle altre categorie. Anche in questo caso, nel calcolo dell'ecotossicità dell'acqua dolce, la protagonista è la Concimazione I che rappresenta il 43,8% degli impatti (1063,06 CTUe), seguito dal Diserbo con il 20,3%, la Messa a dimora con il 14,9% e la Concimazione II con il 10%.
- CED: come già descritto in precedenza le emissioni di gas serra e il consumo di energia sono indissolubilmente legati. Si può notare quindi che le lavorazioni che risultano avere una Cumulative Energy Demande superiore corrispondono alle lavorazioni che rilasciano più CO₂ in atmosfera. Tra tutti i parametri che vengono analizzati l'indicatore più significativo risulta essere il consumo di risorse non rinnovabili, prevalentemente di

combustibili fossili: questo è dato dall'utilizzo per l'interno ciclo di vita e per tutte le lavorazioni di trattori e macchinari a gasolio.

Nella categoria "Non Renewable, fossil" la Concimazione I, come negli altri casi, risulta essere la più impattante coprendo il 42,9% del totale (17157,48 MJ).

Questa lavorazione è seguita dalla Messa a Dimora con il 26%, Concimazione II con l'11,7% e la Fresatura con il 8,9%.

Le altre lavorazioni, nonostante abbiano comunque un impatto per quanto riguarda il consumo di risorse non rinnovabili, risultano essere meno importanti.

Come possiamo notare le percentuali che caratterizzano ogni lavorazione si avvicina molto tra il calcolo di GWP e CED, appunto per la questione che risultano essere legate.

Water Scarcity: per quanto riguarda il consumo di acqua potabile naturalmente la maggiore responsabile risulta essere l'attività di irrigazione, coprendo il 99,7% (1917 m³) del consumo di risorse idriche. Il restante 0,3% è dato dall'acqua utilizzata per i trattamenti.

ECOPROFILO - VIVAIO CLONI MSA

Input

Energia e combustibile in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Gasolio	kg	-	x	1 134

Materiali in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Concime ternario	kg	-	x	500
Concime Urea	kg	-	x	70
Diserbanti	kg	-	x	2,68
Trattamento spollonante	kg	-	x	0,48
Trattamento insetticida	kg	-	x	2,7
Consumo acqua*	l	x	-	2 008 100
Astoni	n	x	-	7 000

Output

	Unità	Totale
IPCC 2013 GWP 100a V1.00		
Global Warming Potential	kg CO ₂ eq	2 810,87

ILCD method		
Climate Change	kg CO ₂ eq	2 817,54
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00025
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	0,0013
Human toxicity, cancer effects	CTUh	2,25E-06
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1,21
Ionizing radiation HH	kBq U235 eq	6,68
Ionizing radiation E (interim)	CTUe	6,04E-05
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	28,34
Acidification	molc H+ eq	24,37
Terrestrial eutrophication	molc N eq	118,45
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,033
Marine eutrophication	kg N eq	10,26
Freshwater ecotoxicity	CTUe	2 423,83
Land use	kg C deficit	24,70
Water resource depletion	m3 water eq	1 741,82
Mineral, fossil & ren resource depletion	kg Sb eq	0,043

CED		
Non renewable, fossil	MJ	39 812,28
Non-renewable, nuclear	MJ	227,83
Non-renewable, biomass	MJ	0,035
Renewable, biomass	MJ	16,34
Renewable, wind, solar, geoth	MJ	20,38
Renewable, water	MJ	52,17

Berger et al 2014 (Water Scarcity) V1.00

WDI	m ³	1 282,42
-----	----------------	----------

*come consumo d'acqua si intende l'acqua totale utilizzata durante tutta la coltivazione, sia quella per l'irrigazione che per i trattamenti fitosanitari

Gli impatti caratterizzato da colore più chiaro sono stati calcolati, ma non vengono rappresentati nel grafico in quanto poco significativi per l'analisi in particolare.

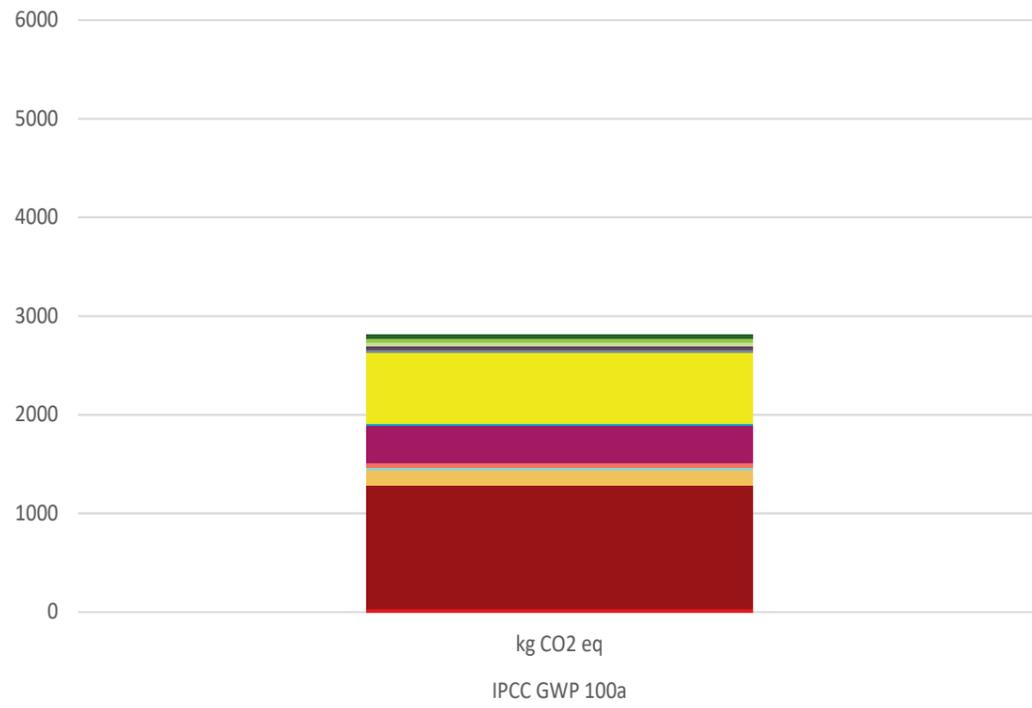


Grafico 6.26 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

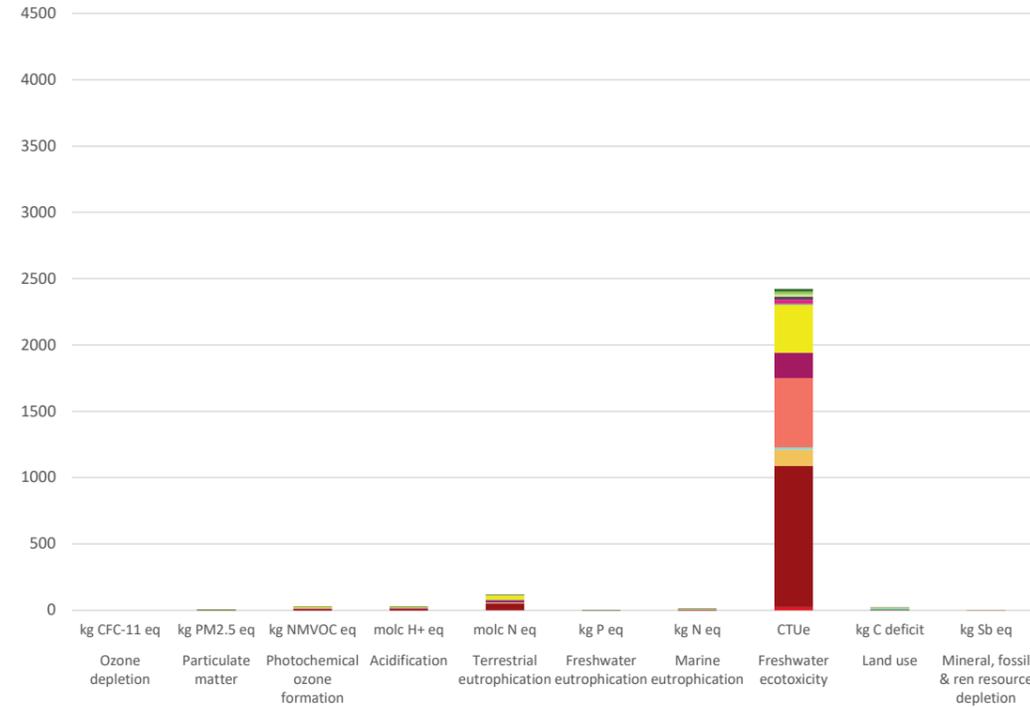


Grafico 6.27 - ILCD method

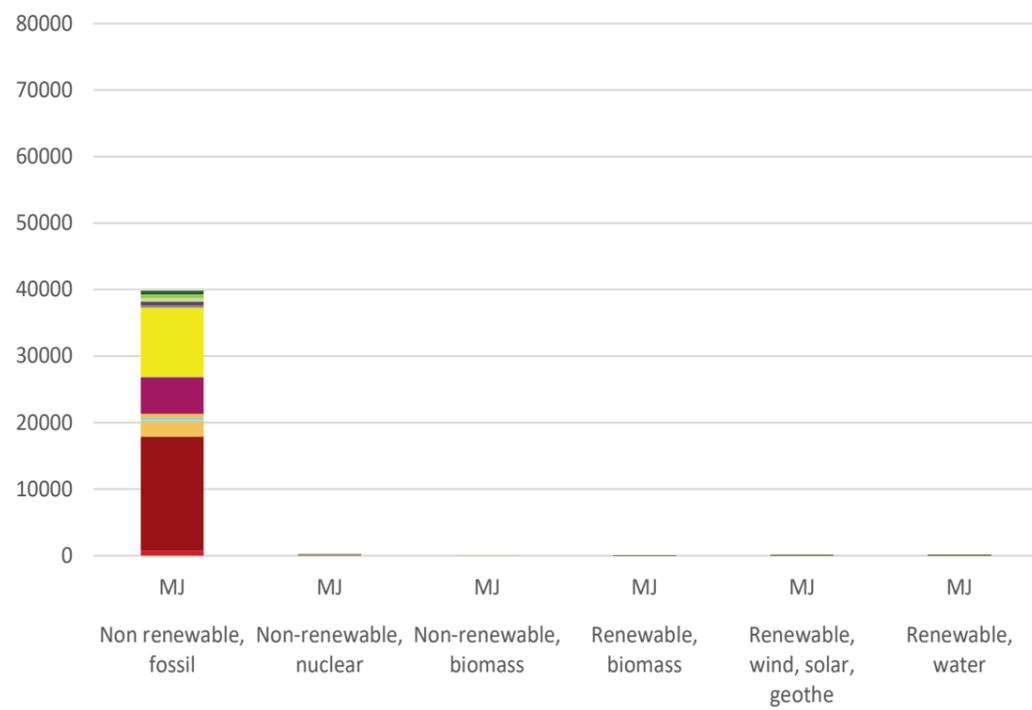


Grafico 6.28 - CED

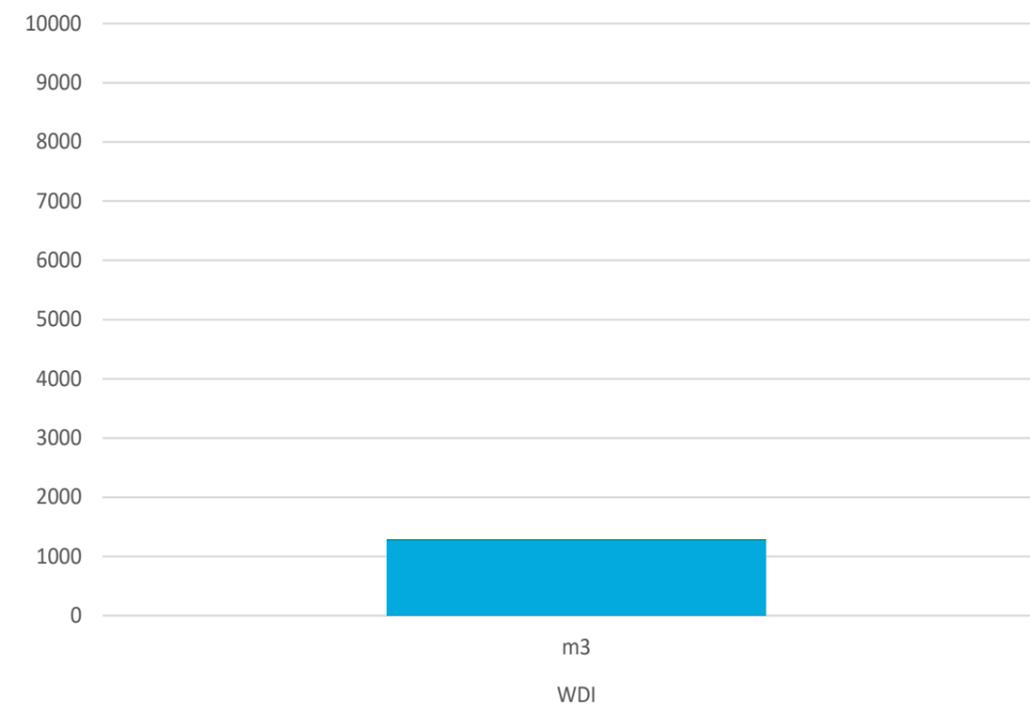


Grafico 6.29 - Berger et al. 2014 (Water Scarcity) V1.00

- Lavorazioni del suolo
 - Aratura
 - Discatura
 - Fresatura
 - Zappatura
- Irrigazione
 - Irrigazione
- Trattamenti
 - Concimazione I
 - Concimazione II
 - Diserbo
 - Spollonatura
 - Trattamento crisomela
 - Trattamento ifantria
 - Trattamento punteruolo
- Altre operazioni
 - Correzione punte
 - Messa a dimora
 - Potatura
 - Raccolta
 - Taglio astoni

Vivaio con cloni MSA.

I 4 grafici che vengono presentati ci illustrano in modo intuitivo quali siano gli impatti ambientali del vivaio coltivato secondo il modello intensivo con cloni MSA, per ogni metodo analizzato.

- IPCC: il principale responsabile del riscaldamento globale risulta essere la Concimazione I, ovvero la concimazione di fondo per la preparazione del terreno, che copre il 44,4% circa delle emissioni totali di CO₂ in atmosfera (1247,57 kg CO₂eq). La concimazione viene effettuata con trattore e spandiconcime e la sostanza è un concime ternario NPK 15-15-15. Altre lavorazioni che hanno un ruolo significativo nel calcolo IPCC sono la Messa a Dimora per il 26%, Fresatura per il 13,7% e Concimazione II per il 5%.
- ILCD: nel metodo ILCD l'indicatore realmente rilevante nello studio risulta essere "Freshwater Ecotoxicity", dove l'impatto è maggiore confronto alle altre categorie. Anche in questo caso, nel calcolo dell'ecotossicità dell'acqua dolce, la protagonista è la Concimazione I che rappresenta il 43,8% degli impatti (1063,06 CTUe), seguito dal Diserbo con il 21,5% e la Messa a dimora con l'14,9%. Minore impatto hanno la Fresatura e la Concimazione II che coprono rispettivamente il 7,9% ed il 5%.
- CED: come già descritto in precedenza le emissioni di gas serra e il consumo di energia sono indissolubilmente legati. Si può notare quindi che le lavorazioni che risultano avere una Cumulative Energy Demande superiore corrispondono alle lavorazioni che rilasciano più CO₂ in atmosfera. Tra tutti i parametri che vengono analizzati l'indicatore più significativo

risulta essere il consumo di risorse non rinnovabili, prevalentemente di combustibili fossili: questo è dato dall'utilizzo per l'interno ciclo di vita e per tutte le lavorazioni di trattori e macchinari a gasolio.

Nella categoria "Non Renewable, fossil" la Concimazione I, come negli altri casi, risulta essere la più impattante coprendo il 43,1% del totale (17157,48 MJ).

Questa lavorazione è seguita dalla Messa a Dimora con il 26,1%, Fresatura con il 13,8% e la Concimazione II con il 5,8%.

Le altre lavorazioni, nonostante abbiano comunque un impatto per quanto riguarda il consumo di risorse non rinnovabili, risultano essere meno importanti.

Come possiamo notare le percentuali che caratterizzano ogni lavorazione si avvicina molto tra il calcolo di GWP e CED, appunto per la questione che risultano essere legate.

Water Scarcity: per quanto riguarda il consumo di acqua potabile naturalmente la maggiore responsabile risulta essere l'attività di irrigazione, coprendo il 99,6% del consumo di risorse idriche (1278 m³). Il restante 0,4% è dato dall'acqua utilizzata per i trattamenti.

ECOPROFILO - PIOPPELO CLONI MSA

Input

Energia e combustibile in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Gasolio	kg	-	x	2 514,5

Materiali in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Concime ternario	kg	-	x	500
Concime Urea	kg	-	x	270
Trattamento insetticida	kg	-	x	2,5
Consumo acqua*	l	x	-	14 503 715,5
Pioppelle	n	x	-	277

Output

	Unità	Totale
IPCC 2013 GWP 100a V1.00		
Global Warming Potential	kg CO ₂ eq	4 917,97

ILCD method		
Climate Change	kg CO ₂ eq	4 921,24
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,0005
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	0,0028
Human toxicity, cancer effects	CTUh	3,73E-06
Particulate matter	kg PM2.5 eq	2,48
Ionizing radiation HH	kBq U235 eq	7,29
Ionizing radiation E (interim)	CTUe	6,7E-05
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	53,51
Acidification	molc H+ eq	43,91
Terrestrial eutrophication	molc N eq	216,02
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,03
Marine eutrophication	kg N eq	19,13
Freshwater ecotoxicity	CTUe	3 188,28
Land use	kg C deficit	60,32
Water resource depletion	m ³ water eq	12 616,84
Mineral, fossil & ren resource depletion	kg Sb eq	0,042

CED		
Non renewable, fossil	MJ	70 709,78
Non-renewable, nuclear	MJ	236,34
Non-renewable, biomass	MJ	0,035
Renewable, biomass	MJ	14,65
Renewable, wind, solar, geother	MJ	26,81
Renewable, water	MJ	63,33

Berger et al 2014 (Water Scarcity) V1.00

WDI	m ³	9267,478
-----	----------------	----------

*come consumo d'acqua si intende l'acqua totale utilizzata durante tutta la coltivazione, sia quella per l'irrigazione che per i trattamenti fitosanitari

Gli impatti caratterizzati da colore più chiaro sono stati calcolati, ma non vengono rappresentati nel grafico in quanto poco significativi per l'analisi in particolare.

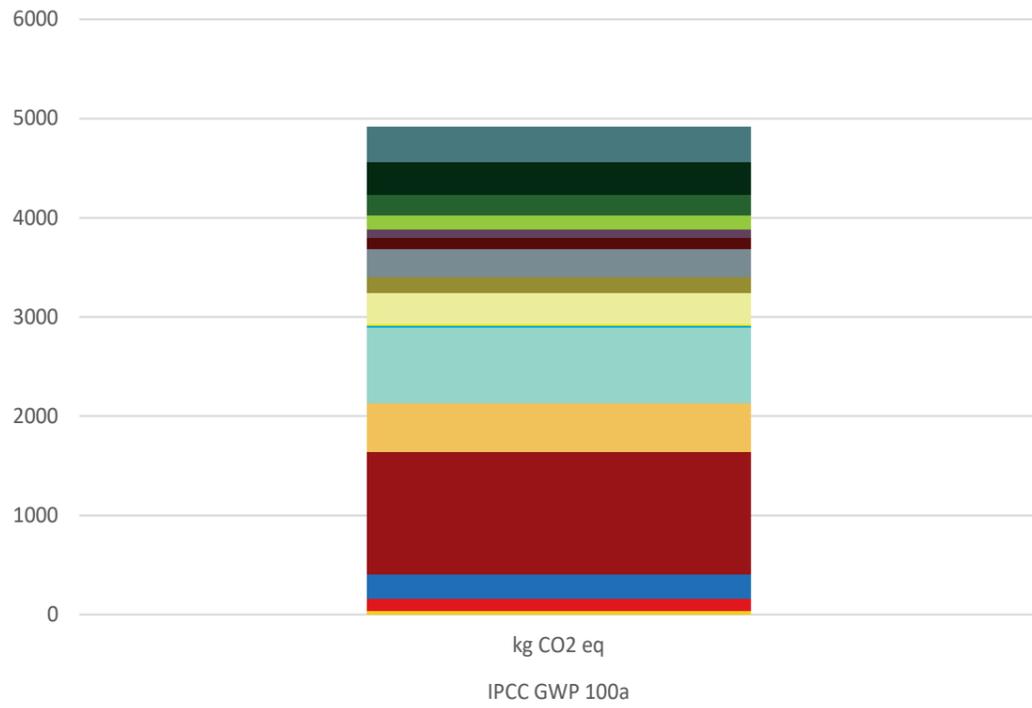


Grafico 6.30 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

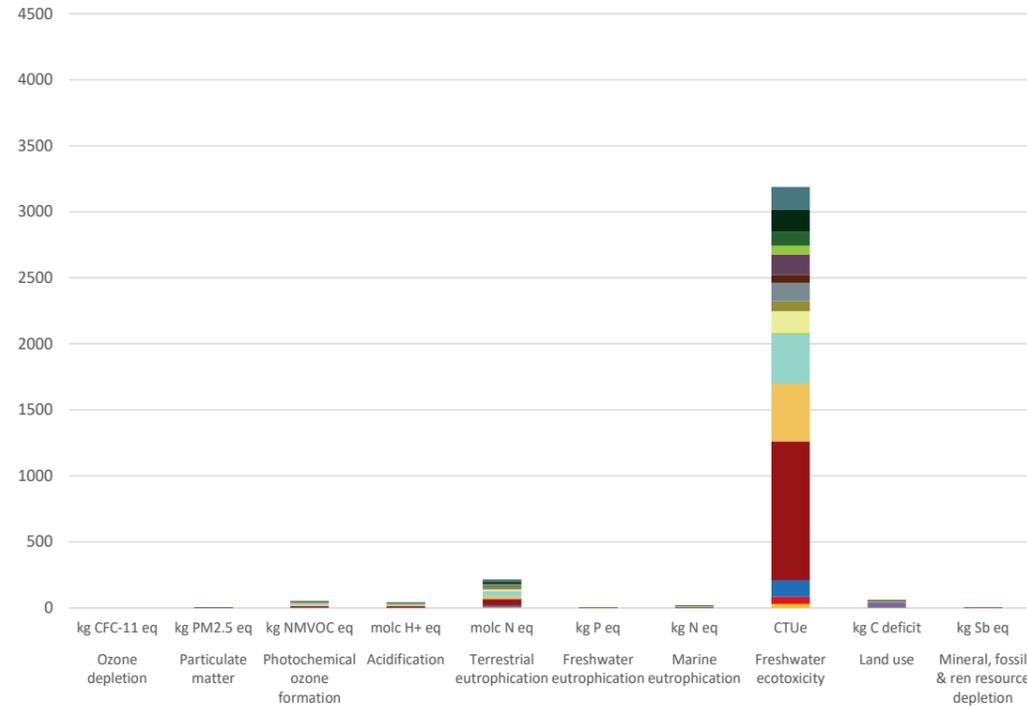


Grafico 6.31 - ILCD method

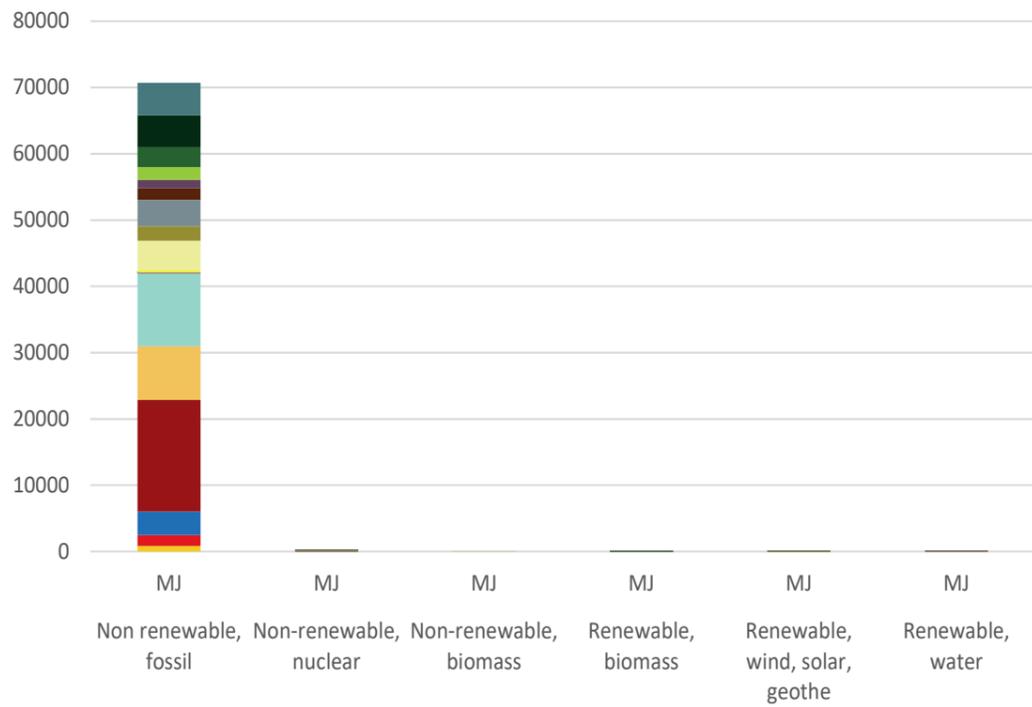


Grafico 6.32 - CED

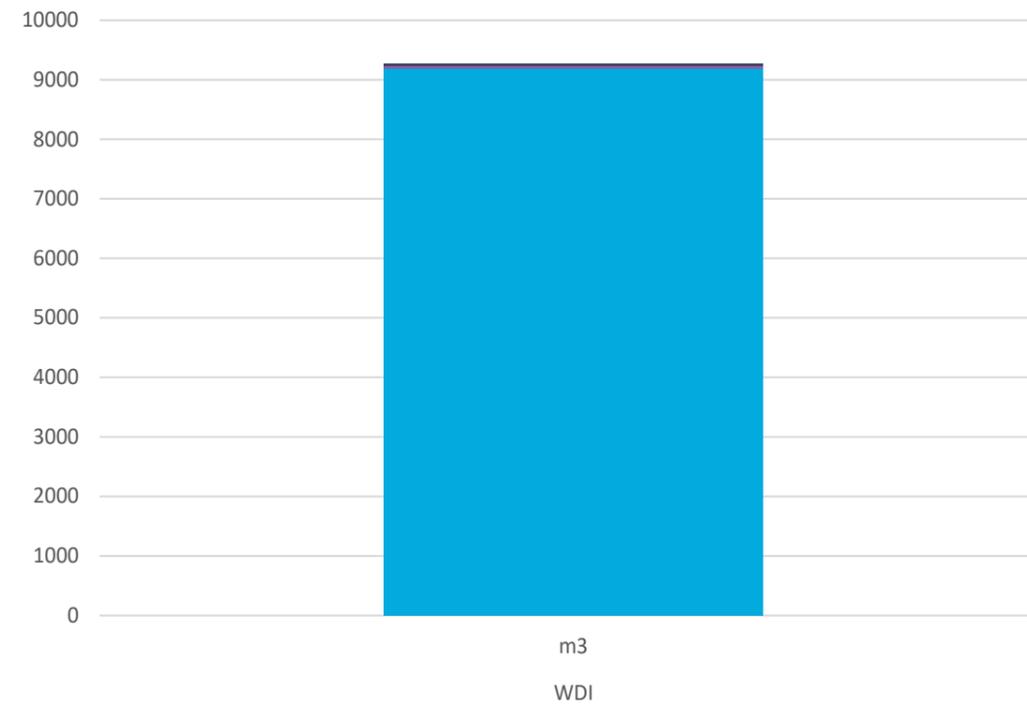


Grafico 6.33 - Berger et al. 2014 (Water Scarcity) V1.00

- Lavorazioni del suolo**
- Affinamento
 - Aratura
 - Chiusura buche
 - Cioccatura
 - Discatura
 - Trinciatura
 - Scavo buche
 - Tracciamento manuale
- Irrigazione**
- Irrigazione I
 - Irrigazione II
- Trattamenti**
- Concimazione I
 - Concimazione II
 - Diserbo
 - Trattamento ifantria
 - Trattamento punteruolo
 - Trattamento saperda
- Altre operazioni**
- Messa a dimora
 - Movimentazione
 - Potatura
 - Raccolta e depezzatura
 - Scarico e messa in acqua
 - Taglio e sramatura

Pioppeto con cloni MSA.

I 4 grafici che vengono presentati ci illustrano in modo intuitivo quali siano gli impatti ambientali del pioppeto coltivato secondo il modello intensivo con cloni MSA, per ogni metodo analizzato.

- IPCC: il principale responsabile del riscaldamento globale risulta essere la Concimazione I, ovvero la concimazione di fondo per la preparazione del terreno, che copre il 24,9% circa delle emissioni totali di CO₂ in atmosfera (1224,2 kg CO₂eq). La concimazione viene effettuata con trattore e spandiconcime e la sostanza è un concime ternario NPK 15-15-15. Altre lavorazioni che hanno un ruolo significativo nel calcolo IPCC sono la Discatura con il 15,6%. Tra il 5 ed il 10% vi sono anche le emissioni date dalla Ciocatura, Raccolta, Movimentazione, Trattamento Saperda, la Trinciatura e la Concimazione II.
- ILCD: nel metodo ILCD l'indicatore realmente rilevante nello studio risulta essere "Freshwater Ecotoxicity", dove l'impatto è maggiore confronto alle altre categorie. Anche in questo caso, nel calcolo dell'ecotossicità dell'acqua dolce, la protagonista è la Concimazione I che rappresenta il 32,9% degli impatti (1051,5 CTUe), seguito dalla Concimazione II con il 13,6% e la lavorazione per la Discatura con l'11,9%. Minore impatto hanno la Trinciatura, il Trattamento Saperda, Taglio e la Movimentazione che coprono singolarmente intorno al 5%.
- CED: come già descritto in precedenza le emissioni di gas serra e il consumo di energia sono indissolubilmente legati. Si può notare quindi che le lavorazioni che risultano avere una Cumulative Energy Demande

superiore corrispondono alle lavorazioni che rilasciano più CO₂ in atmosfera.

Tra tutti i parametri che vengono analizzati l'indicatore più significativo risulta essere il consumo di risorse non rinnovabili, prevalentemente di combustibili fossili: questo è dato dall'utilizzo per l'interno ciclo di vita e per tutte le lavorazioni di trattori e macchinari a gasolio.

Nella categoria "Non Renewable, fossil" la Concimazione I, come negli altri casi, risulta essere la più impattante coprendo il 23,8% del totale (16824,78 MJ).

Questa lavorazione è seguita dalla Discatura con il 15,5% e la Concimazione II con il 11,4%, Trinciatura con il 7% e la Movimentazione e Trattamento Saperda con il 6%.

Le altre lavorazioni, nonostante abbiano comunque un impatto per quanto riguarda il consumo di risorse non rinnovabili, risultano essere meno importanti.

Come possiamo notare le percentuali che caratterizzano ogni lavorazione si avvicina molto tra il calcolo di GWP e CED, appunto per la questione che risultano essere legate.

Water Scarcity: per quanto riguarda il consumo di acqua potabile naturalmente la maggiore responsabile risulta essere l'attività di irrigazione, coprendo il 99,3% del consumo di risorse idriche (9201,6 m³). Il restante 0,4% è dato dall'acqua utilizzata per i trattamenti.

Bilancio di CO₂.

Con i calcoli effettuati tramite la normativa prEN 1644, siamo in grado, dopo aver ricavato la quantità di CO₂ emessa dalle lavorazioni totali in 15 anni di coltivazione, di dire quando, in base alla crescita delle pioppelle, l'impianto arriva in pari con il bilancio di CO₂, ovvero in quale età la nostra piantagione riesce ad assorbire ed azzerare tutta la CO₂ emessa per le lavorazioni.

Troviamo così una curva crescente con l'assorbimento di CO₂ per ogni anno di età [Grafico 6.34].

Una coltivazione di 15 anni (barbatellaio, vivaio e pioppeto) per la produzione di 229 t di legno di pioppo MSA, emette in atmosfera un totale di 5043 kg CO₂ eq: i 277 pioppi che vengono coltivati (considerando comunque nel calcolo il carico di carbonio che viene accumulato dalle pioppelle provenienti dal vivaio) assorbono un totale di 201700 kg CO₂ eq.

L'anidride carbonica emessa durante la fase di coltivazione viene dunque bilanciata e portata a 0 grazie all'assorbimento delle piante intorno alla seconda metà del primo anno in pioppeto: in 15 anni di coltivazione possiamo quindi notare che i pioppi assorbono una quantità di anidride carbonica 40 volte maggiore di quella emessa da tutte le operazioni per la sua buona crescita.

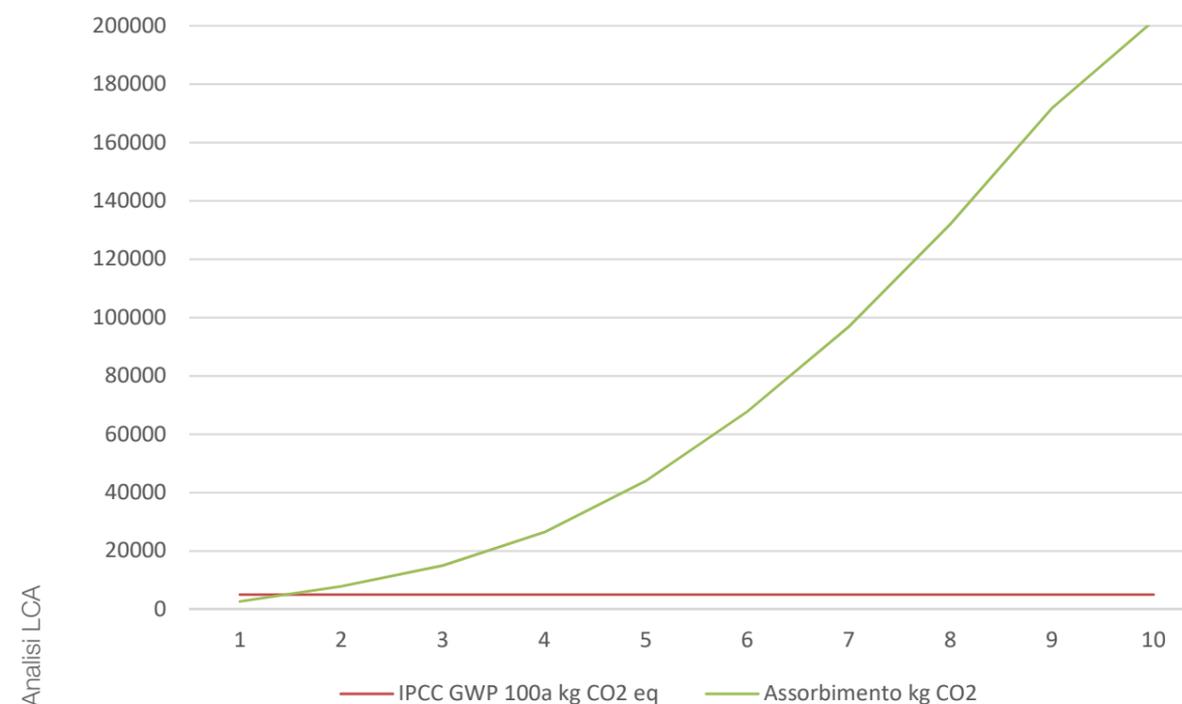


Grafico 6.34 - Assorbimento di CO₂ per 15 anni di coltivazione

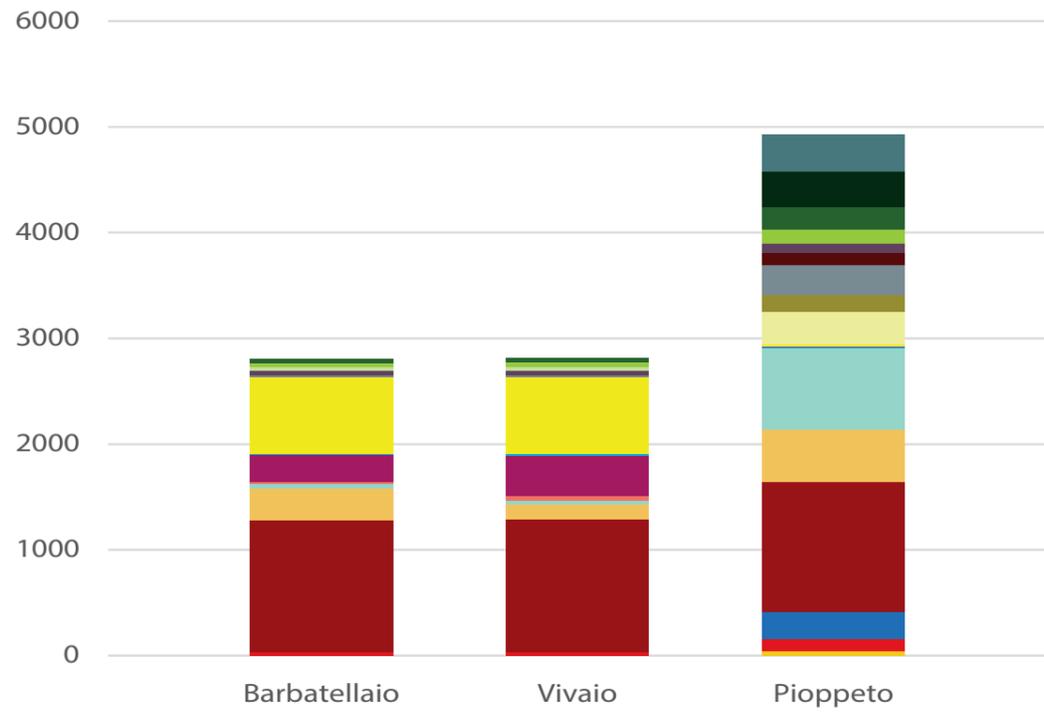


Grafico 6.35 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00
Rapporto tra le fasi di coltivazione - 1 ha

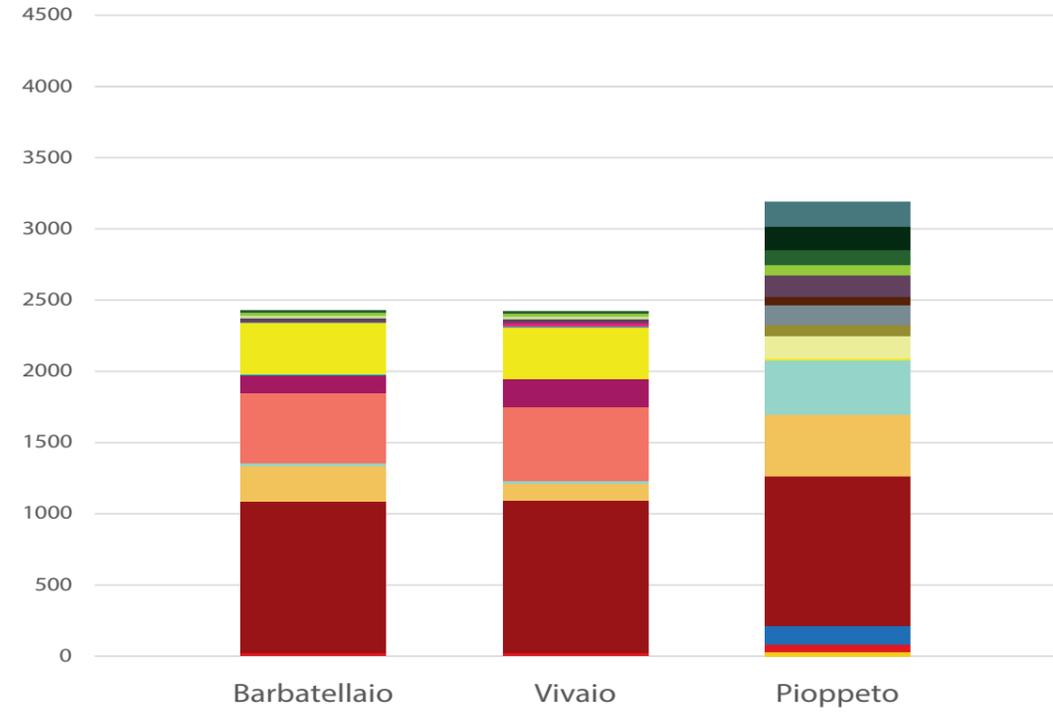


Grafico 6.36 - ILCD method
Rapporto tra le fasi di coltivazione - 1 ha

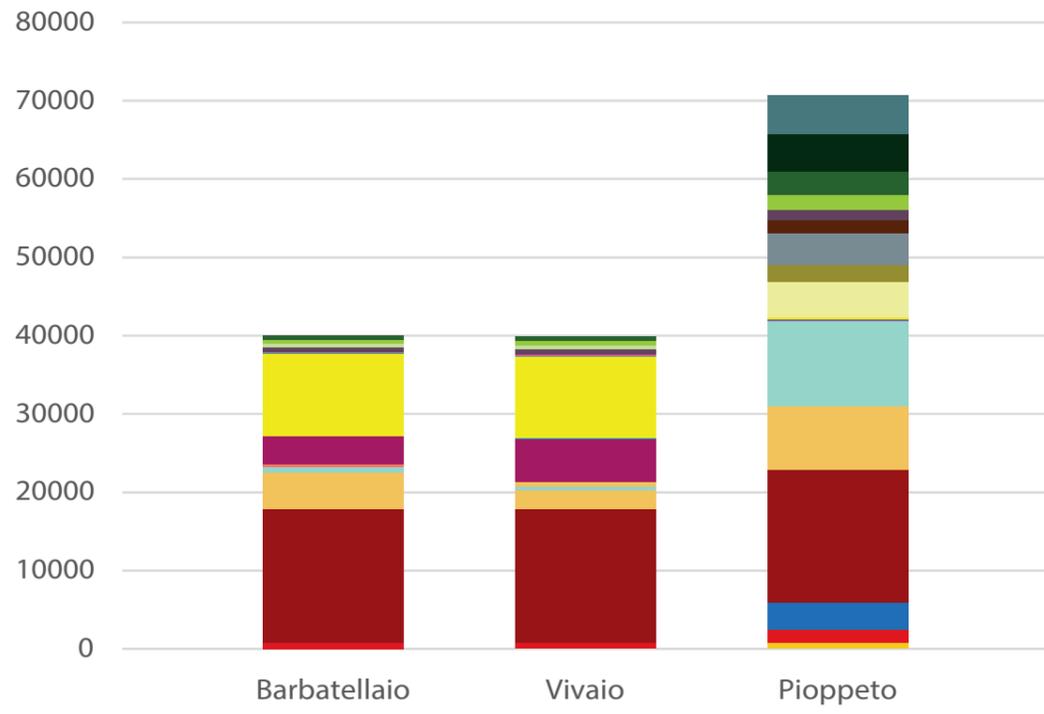


Grafico 6.37 - CED
Rapporto tra le fasi di coltivazione - 1 ha

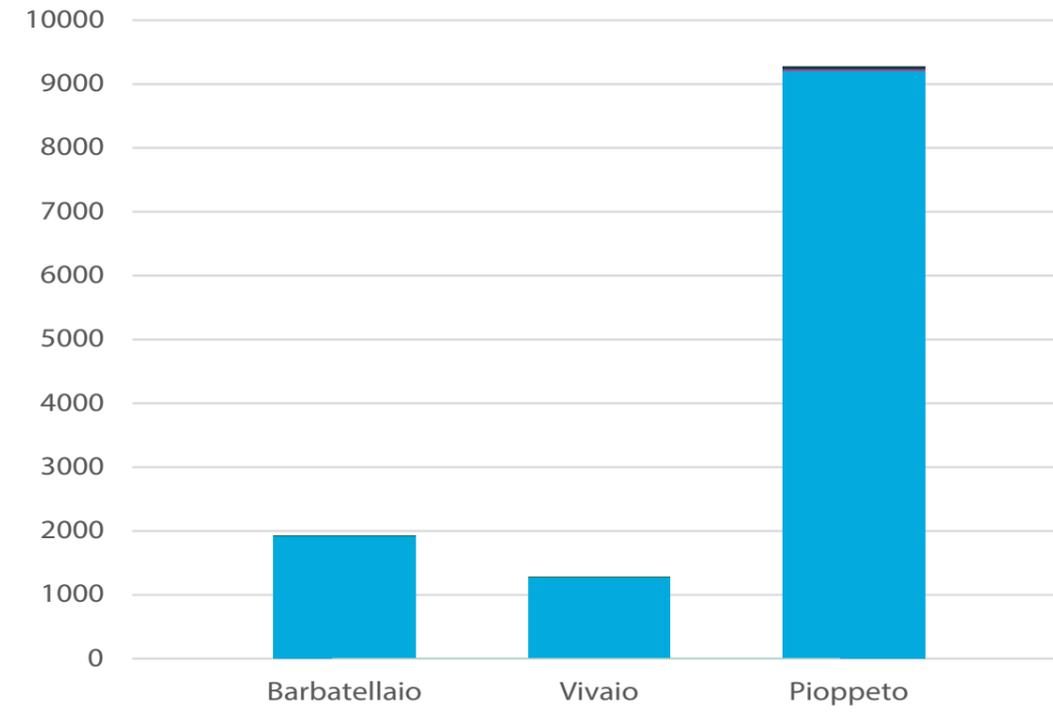


Grafico 6.38 - Berger et al. 2014 (Water Scarcity) V1.00
Rapporto tra le fasi di coltivazione - 1 ha

- Lavorazioni del suolo
- Affinamento
- Aratura
- Chiusura buche
- Cioccatura
- Discatura
- Trinciatura
- Fresatura
- Zappatura
- Scavo buche
- Tracciamento manuale
- Irrigazione
- Irrigazione I
- Irrigazione II
- Treatmenti
- Concimazione I
- Concimazione II
- Diserbo
- Spollonatura
- Treatmento crisomela
- Treatmento ifantria
- Treatmento punteruolo
- Treatmento saperda
- Altre operazioni
- Correzione punte
- Messa a dimora
- Movimentazione
- Potatura
- Raccolta e depezzatura
- Scarico e messa in acqua
- Taglio e sramatura

Come possiamo notare dalla comparazione tra i diversi momenti della vita del pioppo ciò che gli accomuna è l'impatto provocato da diverse operazioni che hanno dei valori maggiori confronto ad altre, risultando così le più rilevanti nell'analisi: si ricorda che i valori relativi al barbatellaio sono per ettaro per 3 anni, nel vivaio per ettaro per 2 anni di coltivazione e nel pioppeto per ettaro per 10 anni di coltivazione.

Rilevante risulta essere l'impatto dato dalla Concimazione I, che come possiamo vedere, ricopre la percentuale maggiore in tutte e tre le fasi di coltivazione per i tre metodi di analisi degli impatti IPCC, ILCD e CED, mentre per il Waste Footprint l'irrigazione fa da protagonista per quanto riguarda il consumo delle risorse d'acqua dolce.

Nel metodo IPCC e CED possiamo notare delle variazioni tra Barbatellaio, Vivaio e Pioppeto, dove nei primi due risultano avere molta rilevanza gli impatti causati dalla Messa a dimora del materiale di impianto, le operazioni di Fresatura e la Concimazione II.

Nel Pioppeto invece, sempre per questi due indicatori, i valori più alti vengono raggiunti dalla Discatura, dalla Concimazione II e la Trinciatura.

Per quanto riguarda l'ILCD nella categoria per l'ecotossicità dell'acqua, oltre alla Concimazione I che, come già detto, risulta essere la più rilevante, troviamo un innalzamento degli impatti di altre sostanze chimiche utilizzate nella coltura: comune al Barbatellaio e Vivaio troviamo il Diserbo, mentre gli altri trattamenti risultano avere un minimo impatto (quasi nullo), che va alzandosi con le lavorazioni in Pioppeto.

Analizzando i valori trasformati per 1 t di pioppo prodotta dalla coltivazione, possiamo notare che nelle fasi di Barbatellaio e Vivaio la fase di Messa a Dimora, se per 1 ha di terreno risultava avere valori abbastanza alti, per l'ottenimento di 1 t di pioppo i valori sono praticamente nulli; stesso ragionamento ricade sull'operazione di Diserbo.

In ogni caso in 15 anni di coltivazione le lavorazioni che hanno una maggiore ricaduta sull'ambiente sono la Concimazione I, la Concimazione II e la Discatura.

I maggiori impatti sono comunque registrati principalmente nell'ultima fase di vita del pioppo: per arrivare ad ottenere una tonnellata di legno non è necessario un ettaro di terreno, e comunque tutti i valori relativi al pioppeto vanno riferiti a 10 anni di coltivazione, contro i 3 ed i 2 di barbatellaio e vivaio.

Per il calcolo del consumo di acqua dolce i valori più alti sono sempre raggiunti dall'operazione di Irrigazione.

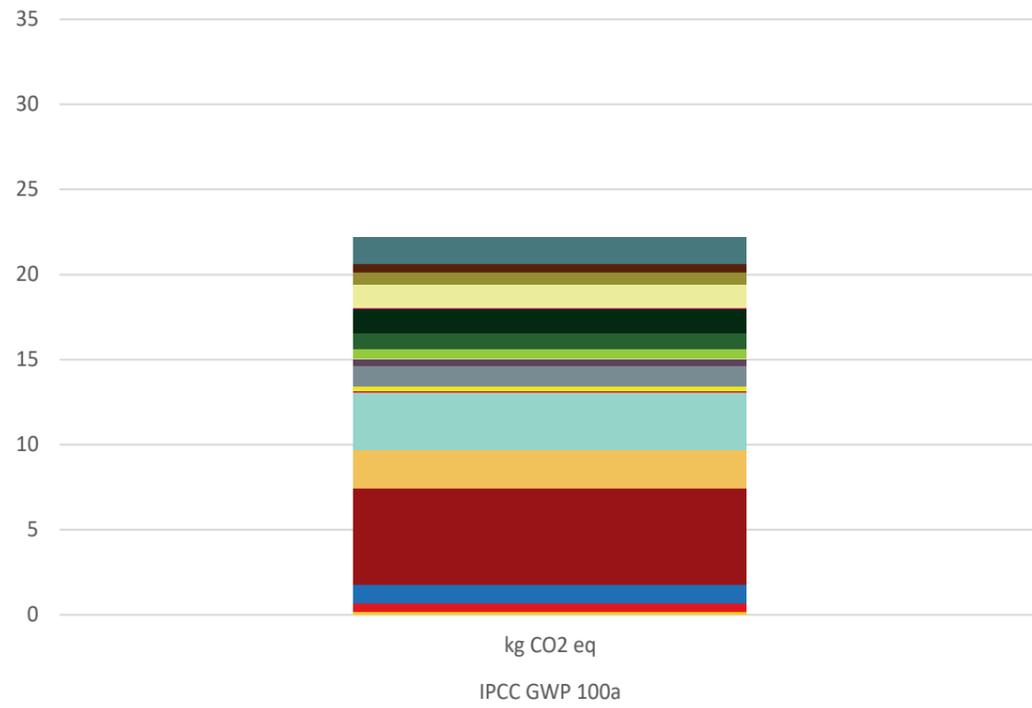


Grafico 6.39 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00
Valori totali per la produzione di 1 t di legno di pioppo

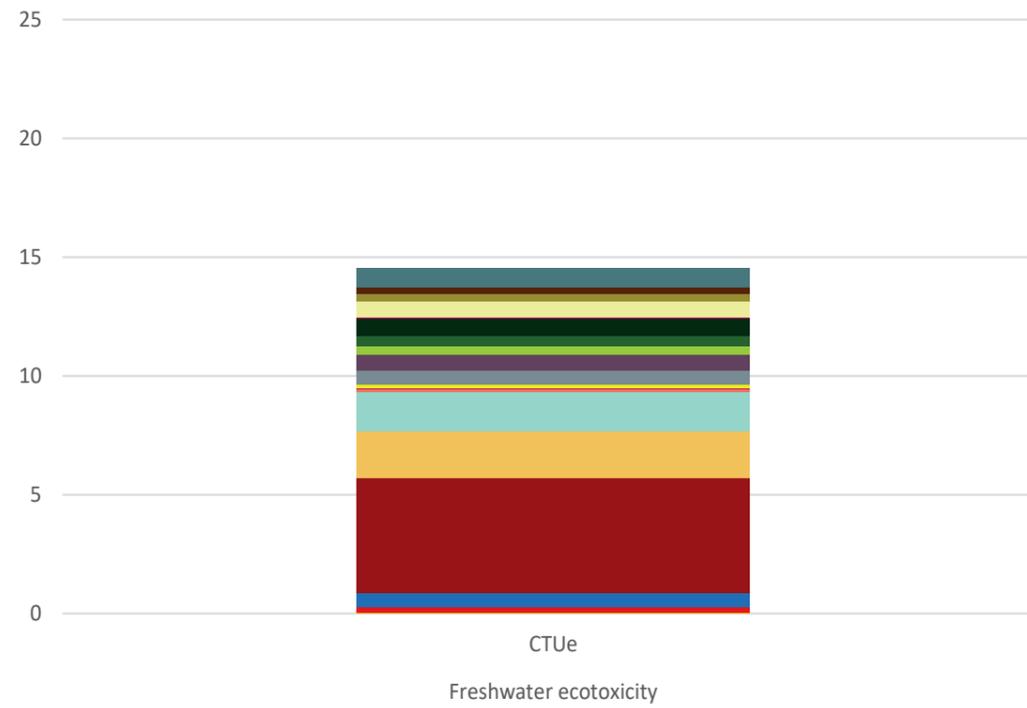


Grafico 6.40 - ILCD method
Valori totali per la produzione di 1 t di legno di pioppo

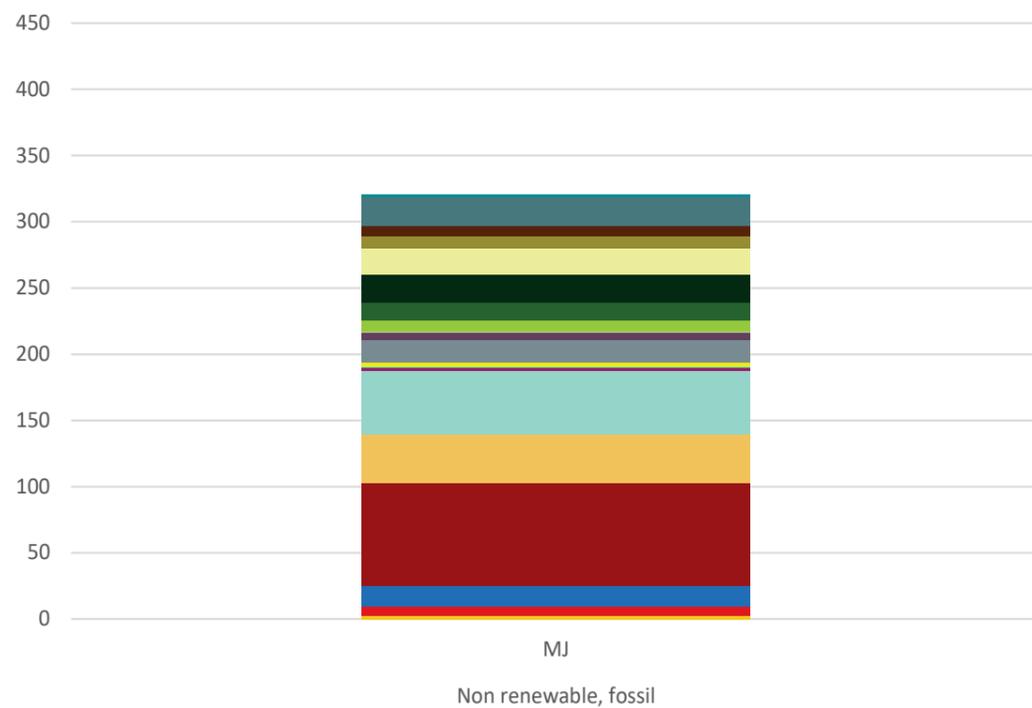


Grafico 6.41 - CED
Valori totali per la produzione di 1 t di legno di pioppo

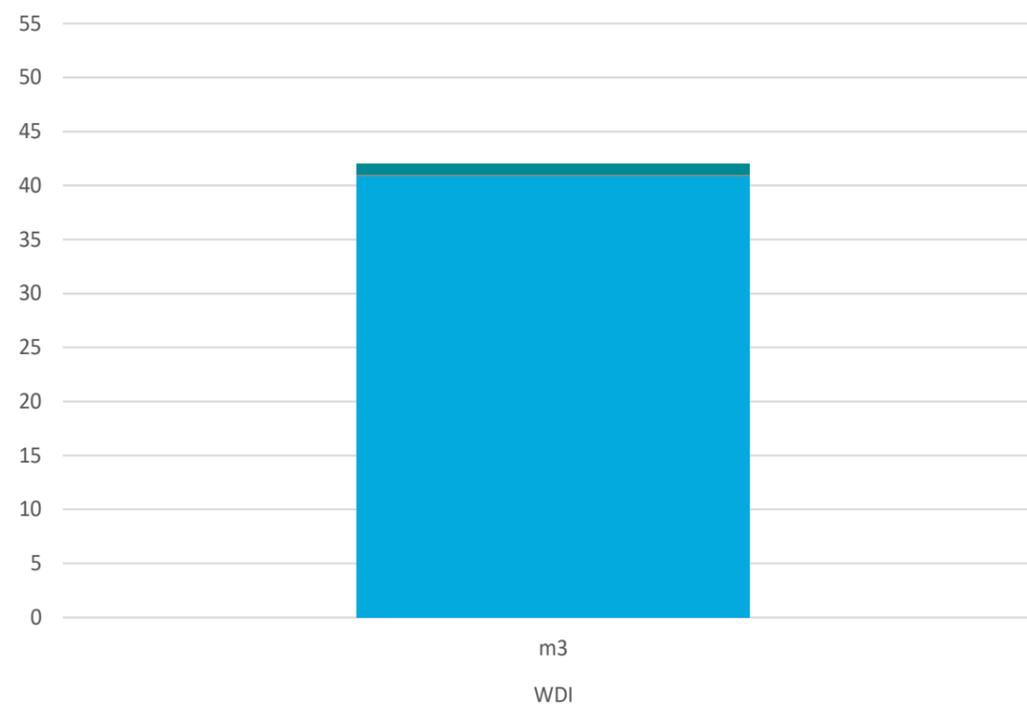


Grafico 6.42 - Berger et al. 2014 (Water Scarcity) V1.00
Valori totali per la produzione di 1 t di legno di pioppo

- Lavorazioni del suolo
- Affinamento
- Aratura
- Chiusura buche
- Cioccatura
- Discatura
- Trinciatura
- Fresatura
- Zappatura
- Scavo buche
- Tracciamento manuale
- Irrigazione
- Irrigazione I
- Irrigazione II
- Trattamenti
- Concimazione I
- Concimazione II
- Diserbo
- Spollonatura
- Treatmento crisomela
- Treatmento ifantria
- Treatmento punteruolo
- Treatmento saperda
- Altre operazioni
- Correzione punte
- Messa a dimora
- Movimentazione
- Potatura
- Raccolta e depezzatura
- Scarico e messa in acqua
- Taglio e sramatura

ECOPROFILO - BARBATELLAIO CLONI MSA CERTIFICATO PEFC

Input

Energia e combustibile in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Gasolio	kg	-	x	1494,4

Materiali in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Concime ternario	kg	-	x	500
Concime Urea	kg	-	x	140
Diserbanti	kg	-	x	2,28
Trattamento insetticida	kg	-	x	2,7
Consumo acqua*	l	x	-	3 007 700
Talee	n	x	-	62 500

Output

	Unità	Totale
IPCC 2013 GWP 100a V1.00		
Global Warming Potential	kg CO ₂ eq	2 801,19

ILCD method		
Climate Change	kg CO ₂ eq	2 808,1
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00021
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	0,0012
Human toxicity, cancer effects	CTUh	2,37E-06
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1,15
Ionizing radiation HH	kBq U235 eq	6,97
Ionizing radiation E (interim)	CTUe	6,34E-05
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	27,99
Acidification	molc H+ eq	24,13
Terrestrial eutrophication	molc N eq	117,23
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,033
Marine eutrophication	kg N eq	10,13
Freshwater ecotoxicity	CTUe	2 426,54
Land use	kg C deficit	28,97
Water resource depletion	m ³ water eq	2 611,65
Mineral, fossil & ren resource depletion	kg Sb eq	0,042

CED		
Non renewable, fossil	MJ	39 994,20
Non-renewable, nuclear	MJ	234,79
Non-renewable, biomass	MJ	0,034
Renewable, biomass	MJ	16,17
Renewable, wind, solar, geother	MJ	19,22
Renewable, water	MJ	51,12

Berger et al 2014 (Water Scarcity) V1.00		
WDI	m ³	1 921,19

*come consumo d'acqua si intende l'acqua totale utilizzata durante tutta la coltivazione, sia quella per l'irrigazione che per i trattamenti fitosanitari

Gli impatti caratterizzati da colore più chiaro sono stati calcolati, ma non vengono rappresentati nel grafico in quanto poco significativi per l'analisi in particolare.

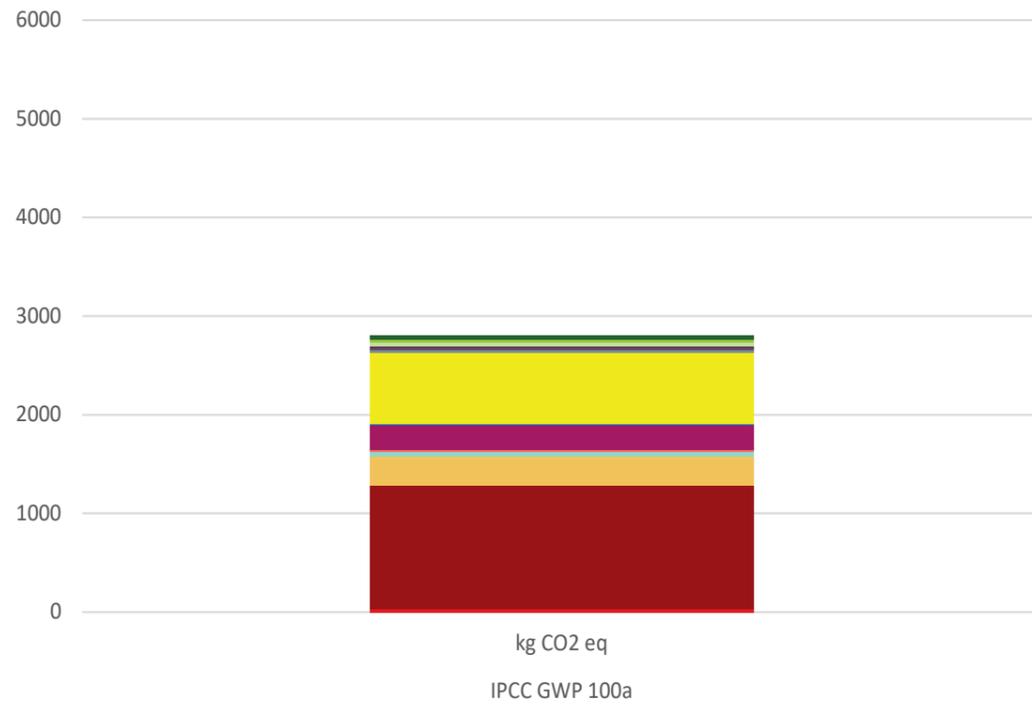


Grafico 6.43 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

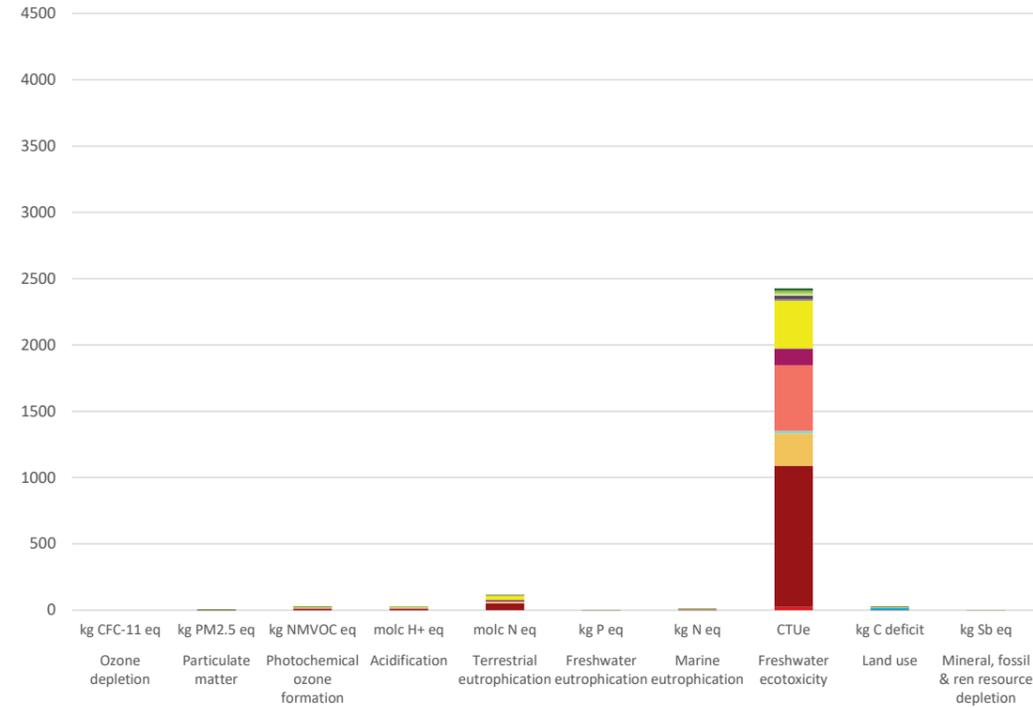


Grafico 6.44 - ILCD method

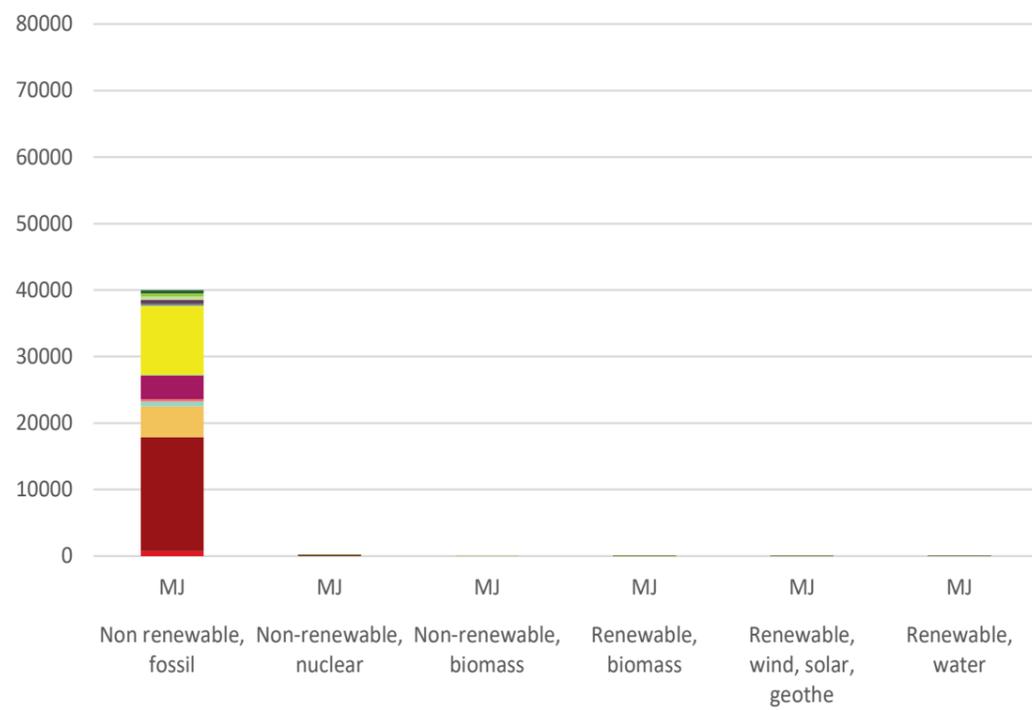


Grafico 6.45 - CED

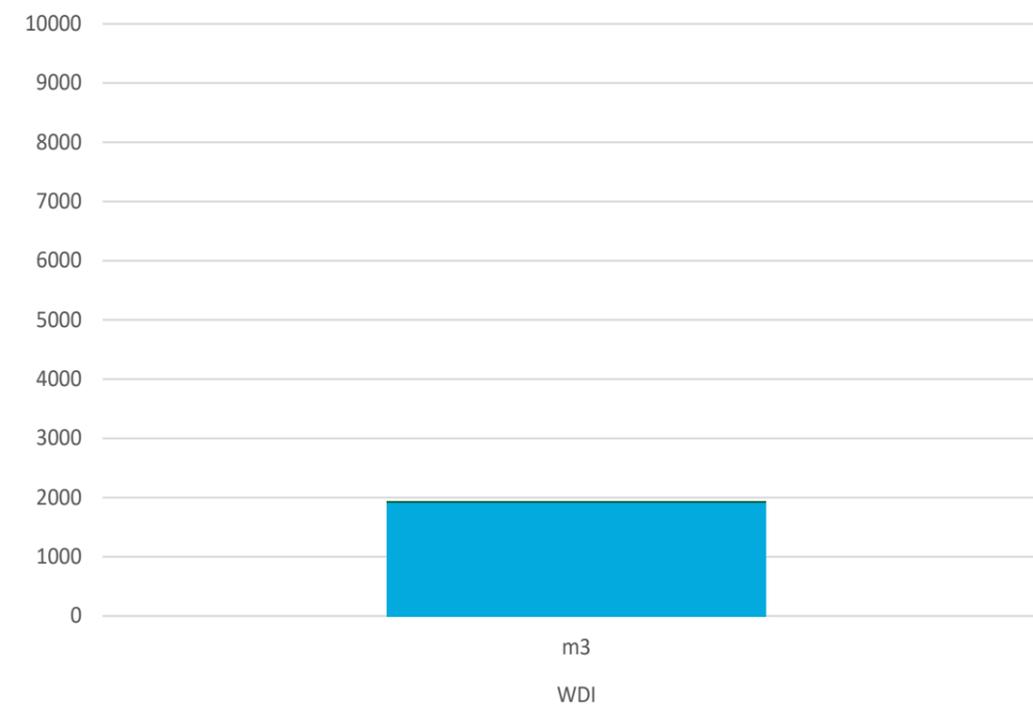


Grafico 6.46 - Berger et al. 2014 (Water Scarcity) V1.00

- Lavorazioni del suolo
- Aratura
 - Discatura
 - Fresatura
- Irrigazione
- Irrigazione
- Trattamenti
- Concimazione I
 - Concimazione II
 - Diserbo
 - Trattamento crisomela
 - Trattamento ifantria
 - Trattamento punteruolo
- Altre operazioni
- Messa a dimora
 - Raccolta
 - Taglio astoni

Barbatellaio con cloni MSA certificato PEFC.

I 4 grafici che vengono presentati ci illustrano in modo intuitivo quali siano gli impatti ambientali del barbatellaio coltivato secondo il modello certificato PEFC con cloni MSA, per ogni metodo analizzato.

- IPCC: il principale responsabile del riscaldamento globale risulta essere la Concimazione I, ovvero la concimazione di fondo per la preparazione del terreno, che copre il 44,5% circa delle emissioni totali di CO₂ in atmosfera (1247,6 kg CO₂eq). La concimazione viene effettuata con trattore e spandiconcime e la sostanza è un concime ternario NPK 15-15-15. Altre lavorazioni che hanno un ruolo significativo nel calcolo IPCC sono la Messa a Dimora per il 26,1%, Concimazione II per il 10,3% e la Fresatura per il 9%.
- ILCD: nel metodo ILCD l'indicatore realmente rilevante nello studio risulta essere "Freshwater Ecotoxicity", dove l'impatto è maggiore confronto alle altre categorie. Anche in questo caso, nel calcolo dell'ecotossicità dell'acqua dolce, la protagonista è la Concimazione I che rappresenta il 43,8% degli impatti (1063,06 CTUe), seguito dal Diserbo con il 20,3%, la Messa a dimora con il 14,9% e la Concimazione II con il 10%.
- CED: come già descritto in precedenza le emissioni di gas serra e il consumo di energia sono indissolubilmente legati. Si può notare quindi che le lavorazioni che risultano avere una Cumulative Energy Demande superiore corrispondono alle lavorazioni che rilasciano più CO₂ in atmosfera. Tra tutti i parametri che vengono analizzati l'indicatore più significativo

risulta essere il consumo di risorse non rinnovabili, prevalentemente di combustibili fossili: questo è dato dall'utilizzo per l'interno ciclo di vita e per tutte le lavorazioni di trattori e macchinari a gasolio.

Nella categoria "Non Renewable, fossil" la Concimazione I, come negli altri casi, risulta essere la più impattante coprendo il 42,9% del totale (17157,48 MJ).

Questa lavorazione è seguita dalla Messa a Dimora con il 26%, Concimazione II con l'11,7% e la Fresatura con il 8,9%.

Le altre lavorazioni, nonostante abbiano comunque un impatto per quanto riguarda il consumo di risorse non rinnovabili, risultano essere meno importanti.

Come possiamo notare le percentuali che caratterizzano ogni lavorazione si avvicina molto tra il calcolo di GWP e CED, appunto per la questione che risultano essere legate.

Water Scarcity: per quanto riguarda il consumo di acqua potabile naturalmente la maggiore responsabile risulta essere l'attività di irrigazione, coprendo il 99,7% (1917 m³) del consumo di risorse idriche. Il restante 0,3% è dato dall'acqua utilizzata per i trattamenti.

ECOPROFILO - VIVAIO CLONI MSA CERTIFICATO PEFC

Input

Energia e combustibile in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Gasolio	kg	-	x	1 134

Materiali in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Concime ternario	kg	-	x	500
Concime Urea	kg	-	x	70
Diserbanti	kg	-	x	2,68
Trattamento spollonante	kg	-	x	0,48
Trattamento insetticida	kg	-	x	2,7
Consumo acqua*	l	x	-	2 008 100
Astoni	n	x	-	7 000

Output

	Unità	Totale
IPCC 2013 GWP 100a V1.00		
Global Warming Potential	kg CO ₂ eq	2 810,87

ILCD method		
Climate Change	kg CO ₂ eq	2 817,54
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00025
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	0,0013
Human toxicity, cancer effects	CTUh	2,25E-06
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1,21
Ionizing radiation HH	kBq U235 eq	6,68
Ionizing radiation E (interim)	CTUe	6,04E-05
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	28,34
Acidification	molc H+ eq	24,37
Terrestrial eutrophication	molc N eq	118,45
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,033
Marine eutrophication	kg N eq	10,26
Freshwater ecotoxicity	CTUe	2 423,83
Land use	kg C deficit	24,70
Water resource depletion	m3 water eq	1 741,82
Mineral, fossil & ren resource depletion	kg Sb eq	0,043

CED		
Non renewable, fossil	MJ	39 812,28
Non-renewable, nuclear	MJ	227,83
Non-renewable, biomass	MJ	0,035
Renewable, biomass	MJ	16,34
Renewable, wind, solar, geoth	MJ	20,38
Renewable, water	MJ	52,17

Berger et al 2014 (Water Scarcity) V1.00		
WDI	m ³	1 282,42

*come consumo d'acqua si intende l'acqua totale utilizzata durante tutta la coltivazione, sia quella per l'irrigazione che per i trattamenti fitosanitari

Gli impatti caratterizzato da colore più chiaro sono stati calcolati, ma non vengono rappresentati nel grafico in quanto poco significativi per l'analisi in particolare.

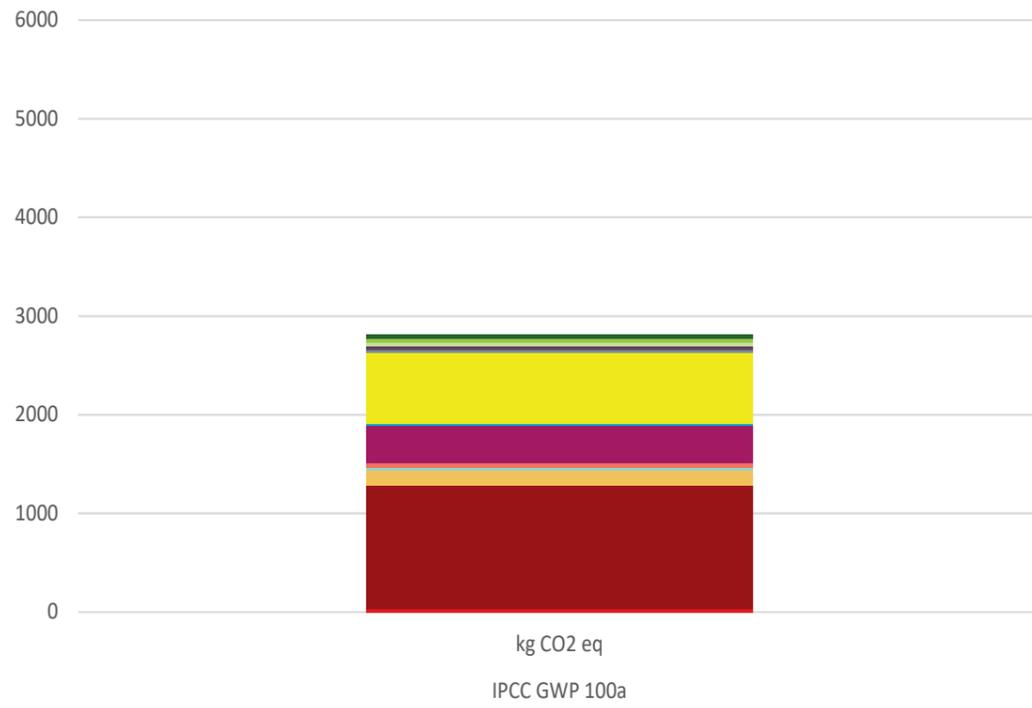


Grafico 6.47 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

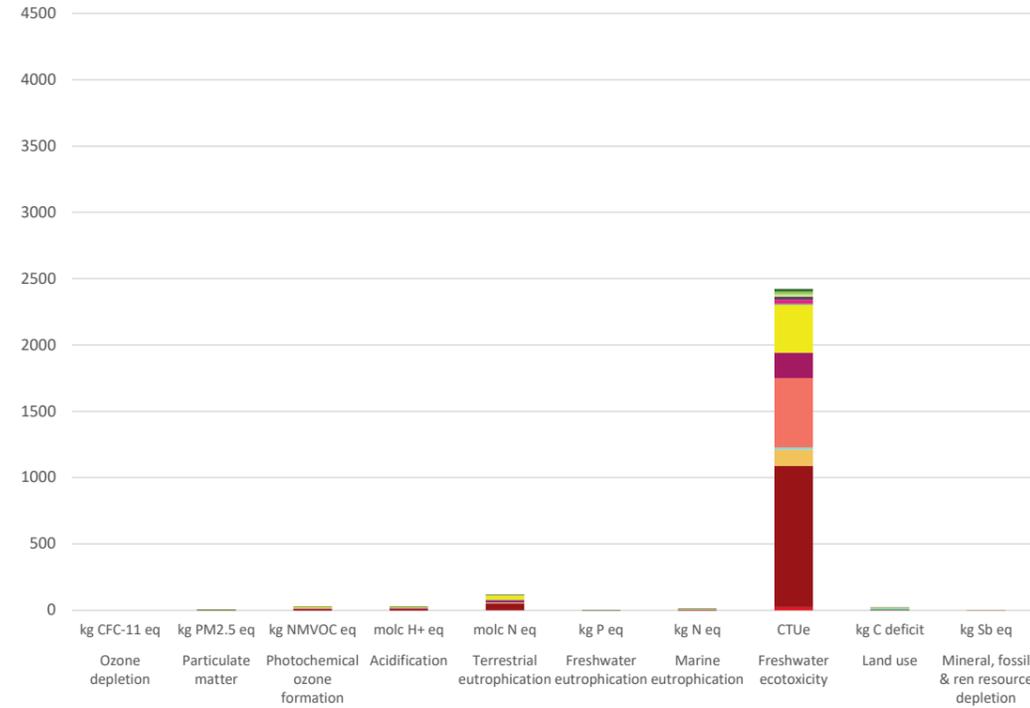


Grafico 6.48 - ILCD method

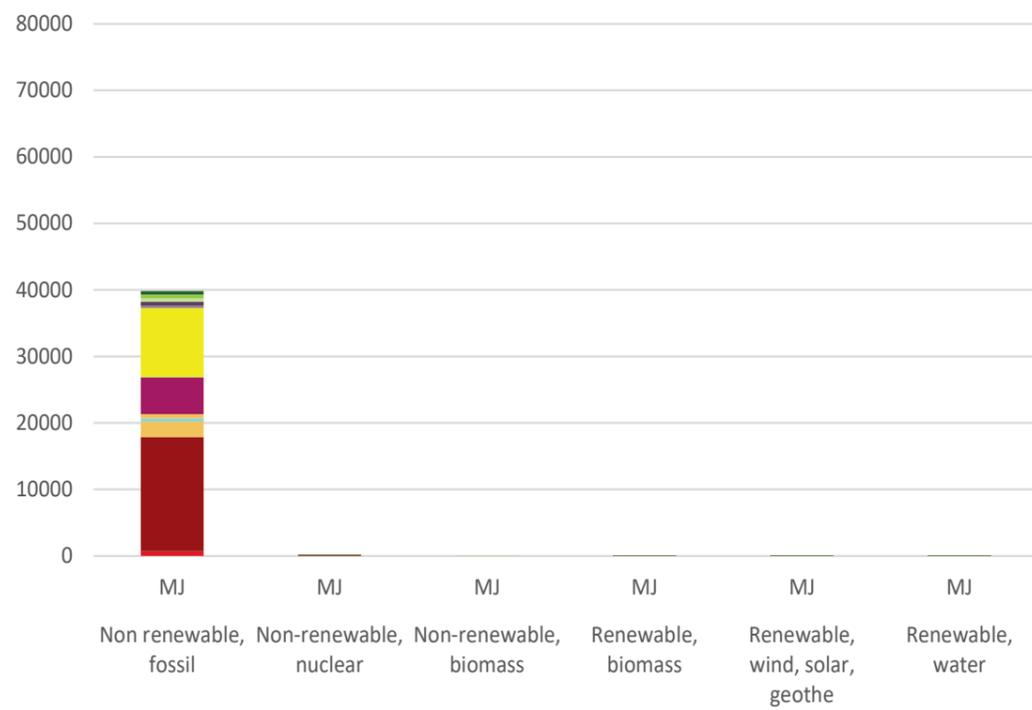


Grafico 6.49 - CED

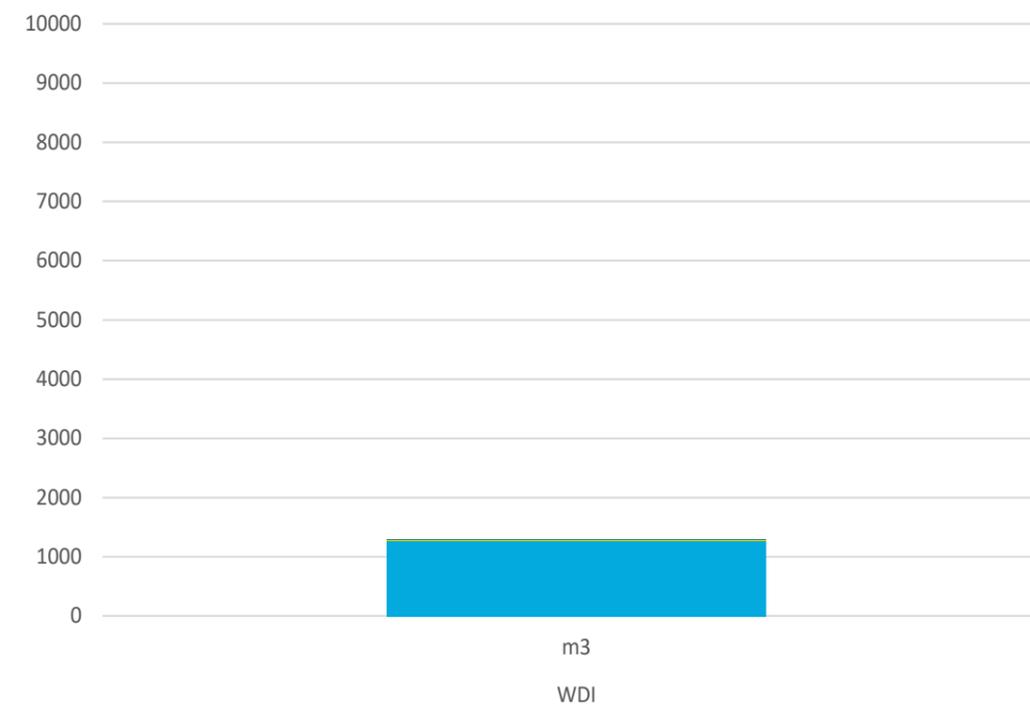


Grafico 6.50 - Berger et al. 2014 (Water Scarcity) V1.00

- Lavorazioni del suolo
 - Aratura
 - Discatura
 - Fresatura
 - Zappatura
- Irrigazione
 - Irrigazione
- Trattamenti
 - Concimazione I
 - Concimazione II
 - Diserbo
 - Spollonatura
 - Trattamento crisomela
 - Trattamento ifantria
 - Trattamento punteruolo
- Altre operazioni
 - Correzione punte
 - Messa a dimora
 - Potatura
 - Raccolta
 - Taglio astoni

Vivaio con cloni MSA.

I 4 grafici che vengono presentati ci illustrano in modo intuitivo quali siano gli impatti ambientali del vivaio coltivato secondo il modello intensivo con cloni MSA, per ogni metodo analizzato.

- IPCC: il principale responsabile del riscaldamento globale risulta essere la Concimazione I, ovvero la concimazione di fondo per la preparazione del terreno, che copre il 44,4% circa delle emissioni totali di CO₂ in atmosfera (1247,57 kg CO₂eq). La concimazione viene effettuata con trattore e spandiconcime e la sostanza è un concime ternario NPK 15-15-15. Altre lavorazioni che hanno un ruolo significativo nel calcolo IPCC sono la Messa a Dimora per il 26%, Fresatura per il 13,7% e Concimazione II per il 5%.
- ILCD: nel metodo ILCD l'indicatore realmente rilevante nello studio risulta essere "Freshwater Ecotoxicity", dove l'impatto è maggiore confronto alle altre categorie. Anche in questo caso, nel calcolo dell'ecotossicità dell'acqua dolce, la protagonista è la Concimazione I che rappresenta il 43,8% degli impatti (1063,06 CTUe), seguito dal Diserbo con il 21,5% e la Messa a dimora con l'14,9%. Minore impatto hanno la Fresatura e la Concimazione II che coprono rispettivamente il 7,9% ed il 5%.
- CED: come già descritto in precedenza le emissioni di gas serra e il consumo di energia sono indissolubilmente legati. Si può notare quindi che le lavorazioni che risultano avere una Cumulative Energy Demande superiore corrispondono alle lavorazioni che rilasciano più CO₂ in atmosfera. Tra tutti i parametri che vengono analizzati l'indicatore più significativo

risulta essere il consumo di risorse non rinnovabili, prevalentemente di combustibili fossili: questo è dato dall'utilizzo per l'interno ciclo di vita e per tutte le lavorazioni di trattori e macchinari a gasolio.

Nella categoria "Non Renewable, fossil" la Concimazione I, come negli altri casi, risulta essere la più impattante coprendo il 43,1% del totale (17157,48 MJ).

Questa lavorazione è seguita dalla Messa a Dimora con il 26,1%, Fresatura con il 13,8% e la Concimazione II con il 5,8%.

Le altre lavorazioni, nonostante abbiano comunque un impatto per quanto riguarda il consumo di risorse non rinnovabili, risultano essere meno importanti.

Come possiamo notare le percentuali che caratterizzano ogni lavorazione si avvicina molto tra il calcolo di GWP e CED, appunto per la questione che risultano essere legate.

Water Scarcity: per quanto riguarda il consumo di acqua potabile naturalmente la maggiore responsabile risulta essere l'attività di irrigazione, coprendo il 99,6% del consumo di risorse idriche (1278 m³). Il restante 0,4% è dato dall'acqua utilizzata per i trattamenti.

ECOPROFILO - PIOPPETO CLONI MSA CERTIFICATO PEFC

Input

Energia e combustibile in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Gasolio	kg	-	x	2 541,8

Materiali in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Letame	kg	-	x	50 000
Concime Urea	kg	-	x	225
Trattamento insetticida	kg	-	x	0,901
Consumo acqua*	l	x	-	5 503 315,5
Pioppelle	n	x	-	277

Output

	Unità	Totale
IPCC 2013 GWP 100a V1.00		
Global Warming Potential	kg CO ₂ eq	3 713,77

ILCD method		
Climate Change	kg CO ₂ eq	3707,46
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,0005
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	0,0028
Human toxicity, cancer effects	CTUh	2,08E-06
Particulate matter	kg PM2.5 eq	2,36
Ionizing radiation HH	kBq U235 eq	1,84
Ionizing radiation E (interim)	CTUe	1,58E-05
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	44,31
Acidification	molc H+ eq	34,89
Terrestrial eutrophication	molc N eq	171,32
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,0021
Marine eutrophication	kg N eq	15,62
Freshwater ecotoxicity	CTUe	2 110,79
Land use	kg C deficit	38,89
Water resource depletion	m ³ water eq	4 786,85
Mineral, fossil & ren resource depletion	kg Sb eq	1,69

CED		
Non renewable, fossil	MJ	53 902,85
Non-renewable, nuclear	MJ	62,98
Non-renewable, biomass	MJ	0,021
Renewable, biomass	MJ	5,85
Renewable, wind, solar, geother	MJ	17,11
Renewable, water	MJ	32,84

Berger et al 2014 (Water Scarcity) V1.00

WDI	m ³	3 516,38
-----	----------------	----------

*come consumo d'acqua si intende l'acqua totale utilizzata durante tutta la coltivazione, sia quella per l'irrigazione che per i trattamenti fitosanitari

Gli impatti caratterizzati da colore più chiaro sono stati calcolati, ma non vengono rappresentati nel grafico in quanto poco significativi per l'analisi in particolare.

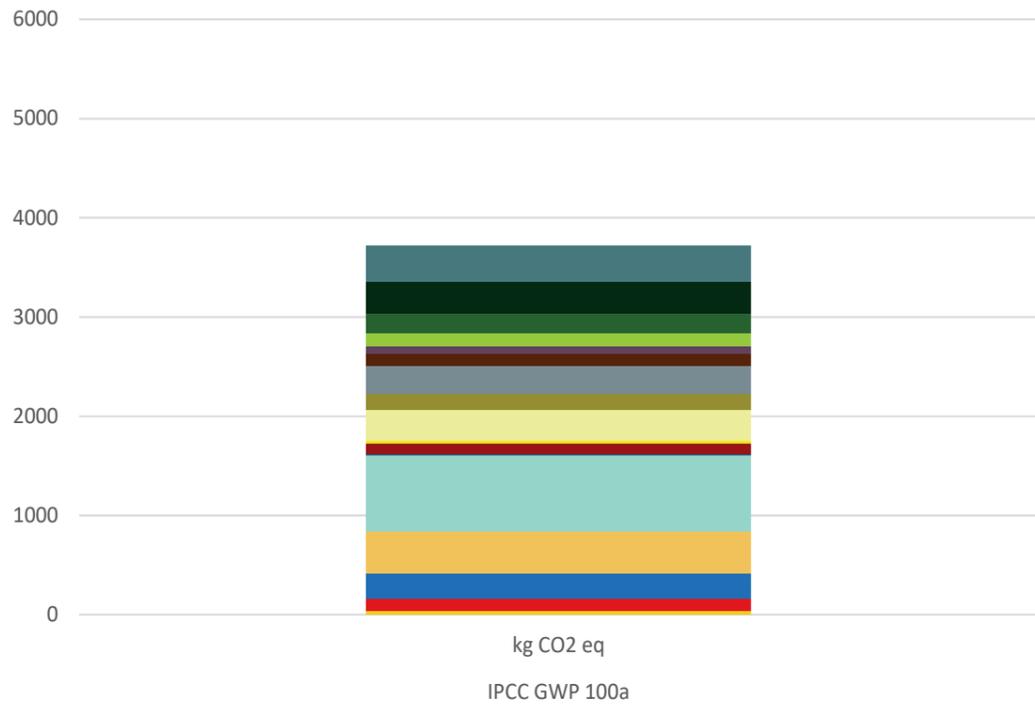


Grafico 6.51 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

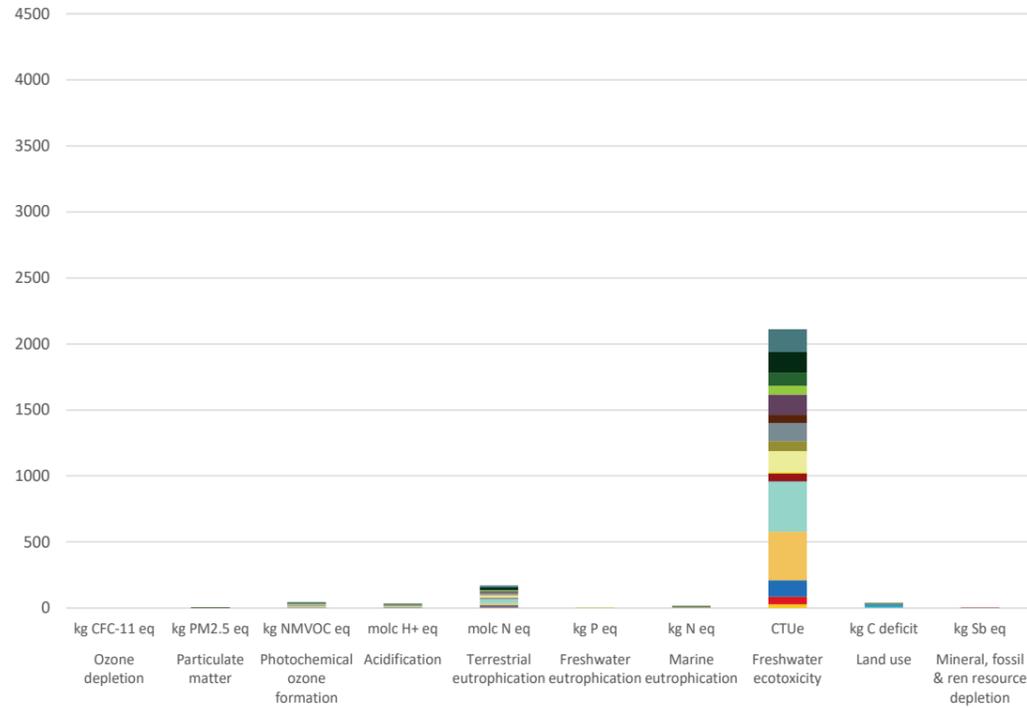


Grafico 6.52 - ILCD method

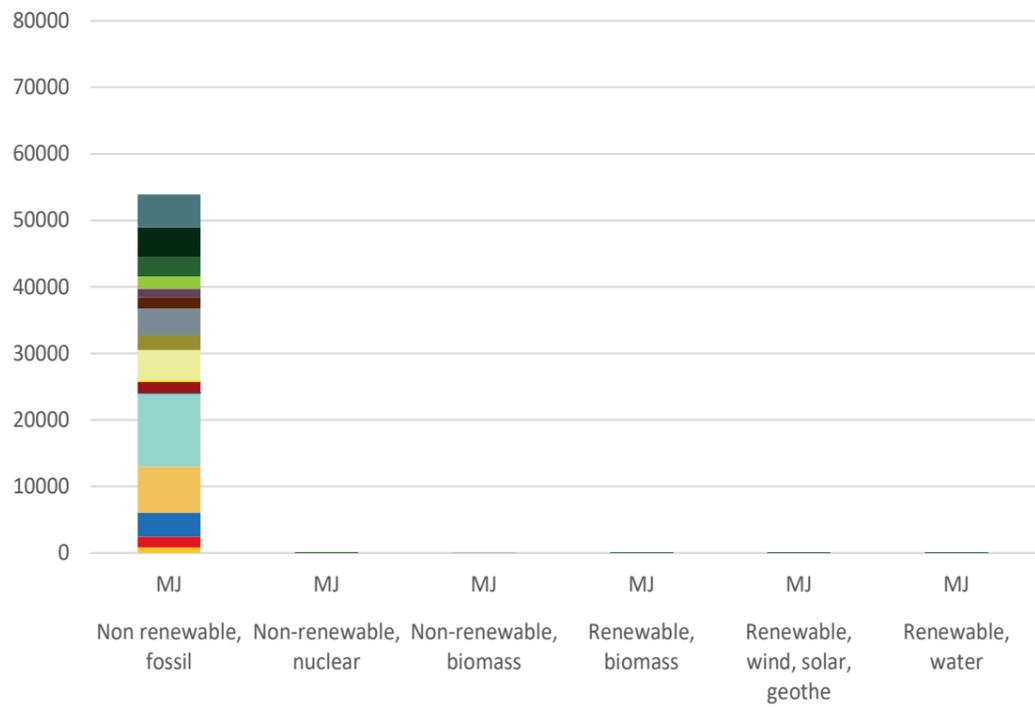


Grafico 6.53 - CED

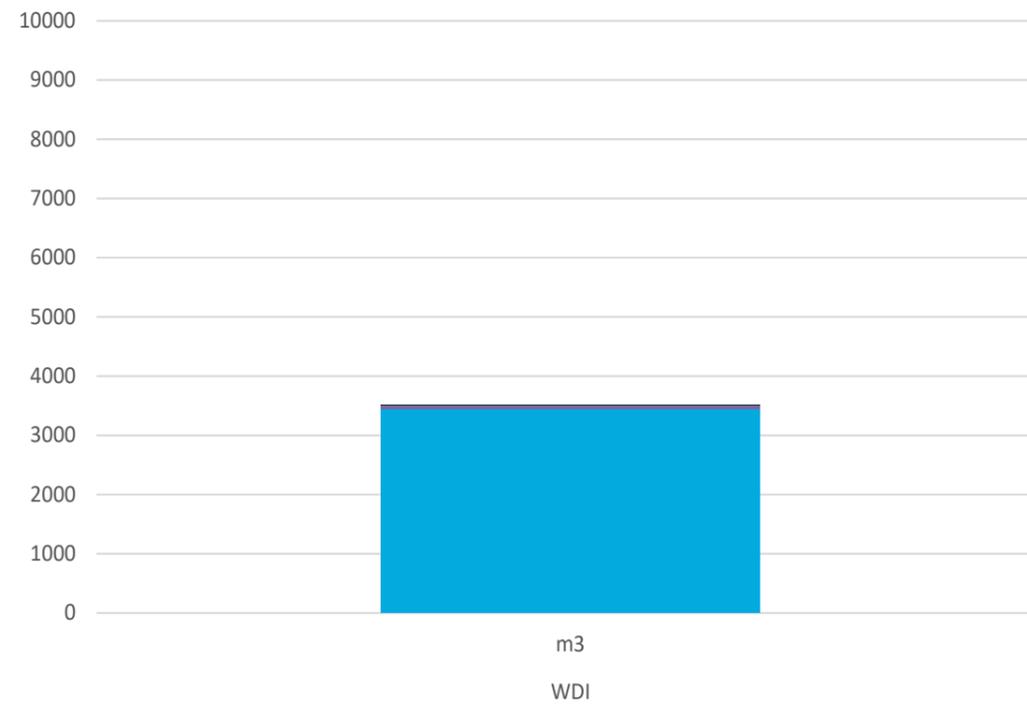


Grafico 6.54 - Berger et al. 2014 (Water Scarcity) V1.00

- Lavorazioni del suolo
 - Affinamento
 - Aratura
 - Chiusura buche
 - Cioccata
 - Discatura
 - Trinciatura
 - Scavo buche
 - Tracciamento manuale
- Irrigazione
 - Irrigazione I
 - Irrigazione II
- Trattamenti
 - Letamazione
 - Concimazione II
 - Diserbo
 - Trattamento ifantria
 - Trattamento punteruolo
 - Trattamento saperda
- Altre operazioni
 - Messa a dimora
 - Movimentazione
 - Potatura
 - Raccolta e depezzatura
 - Scarico e messa in acqua
 - Taglio e sramatura

Pioppeto con cloni MSA certificato PEFC.

I 4 grafici che vengono presentati ci illustrano in modo intuitivo quali siano gli impatti ambientali del pioppeto coltivato secondo il modello certificato PEFC, per ogni metodo analizzato.

- IPCC: il principale responsabile del riscaldamento globale risulta essere la Discatura, che copre il 20,7% circa delle emissioni totali di CO₂ in atmosfera (768,2 kg CO₂eq). Confronto ai pioppeti coltivati con il modello intensivo risulta essere più alto il valore della discatura in quanto viene a mancare l'operazione di Concimazione I effettuata con sostanze chimiche, in quanto la certificazione PEFC impone l'utilizzo di solo Letame per la concimazione di fondo (che essendo uno scarto naturale degli animale da allevamento risulta avere un impatto nullo nonostante i macchinari per la distribuzione nel terreno). La Movimentazione, il Trattamento Saperda e la Trinciatura coprono il 9% degli impatti, mentre Raccolta e Ciocatura coprono l'8 ed il 7%.
• ILCD: nel metodo ILCD l'indicatore realmente rilevante nello studio risulta essere "Freshwater Ecotoxicity", dove l'impatto è maggiore confronto alle altre categorie. Anche in questo caso, nel calcolo dell'ecotossicità dell'acqua dolce, la protagonista è la Discatura che rappresenta il 18% degli impatti (379,97 CTUe), seguito dalla Concimazione II con il 17,5%. Minore impatto hanno la Trinciatura con l'8%, il Taglio, il Trattamento Saperda, la Raccolta e la Movimentazione che raggiungono il 7%.
• CED: come già descritto in precedenza le emissioni di gas serra e il consumo di energia sono indissolu-

bilmente legati. Si può notare quindi che le lavorazioni che risultano avere una Cumulative Energy Demande superiore corrispondono alle lavorazioni che rilasciano più CO₂ in atmosfera.

Tra tutti i parametri che vengono analizzati l'indicatore più significativo risulta essere il consumo di risorse non rinnovabili, prevalentemente di combustibili fossili: questo è dato dall'utilizzo per l'interno ciclo di vita e per tutte le lavorazioni di trattori e macchinari a gasolio.

Nella categoria "Non Renewable, fossil" la Discatura, come negli altri casi, risulta essere la più impattante coprendo il 20,3% del totale (10933,06 MJ).

Questa lavorazione è seguita dalla Concimazione II con il 12,8%, Trinciatura con il 9,2%, Trattamento Saperda e Movimentazione con l'8%. Valori tra il 7 ed il 5% vengono raggiunti dalla Ciocatura, Raccolta e Trattamento Punteruolo.

Le altre lavorazioni, nonostante abbiano comunque un impatto per quanto riguarda il consumo di risorse non rinnovabili, risultano essere meno importanti.

Come possiamo notare le percentuali che caratterizzano ogni lavorazione si avvicina molto tra il calcolo di GWP e CED, appunto per la questione che risultano essere legate.

• Water Scarcity: per quanto riguarda il consumo di acqua la maggiore responsabile risulta essere l'attività di irrigazione, coprendo il 98% del consumo di risorse idriche (3450,6 m³). Il restante 2% è dato dall'acqua utilizzata per i trattamenti. L'impatto sul consumo d'acqua dolce è più basso degli altri modelli colturali, in quanto la certificazione prevede la scelta di terreni favorevoli che permettono minore apporto idrico.

Analisi LCA

Bilancio di CO₂.

Con i calcoli effettuati tramite la normativa prEN 1644, siamo in grado, dopo aver ricavato la quantità di CO₂ emessa dalle lavorazioni totali in 15 anni di coltivazione, di dire quando, in base alla crescita delle pioppelle, l'impianto arriva in pari con il bilancio di CO₂, ovvero in quale età la nostra piantagione riesce ad assorbire ed azzerare tutta la CO₂ emessa per le lavorazioni.

Troviamo così una curva crescente con l'assorbimento di CO₂ per ogni anno di età [Grafico 6.55].

Una coltivazione di 15 anni (barbatellaio, vivaio e pioppeto) per la produzione di 229 t di legno di pioppo MSA, emette in atmosfera un totale di 3838 kg CO₂ eq: i 277 pioppi che vengono coltivati (considerando comunque nel calcolo il carico di carbonio che viene accumulato dalle pioppelle proveniente dal vivaio) assorbono un totale di 201700 kg CO₂ eq.

Analisi LCA

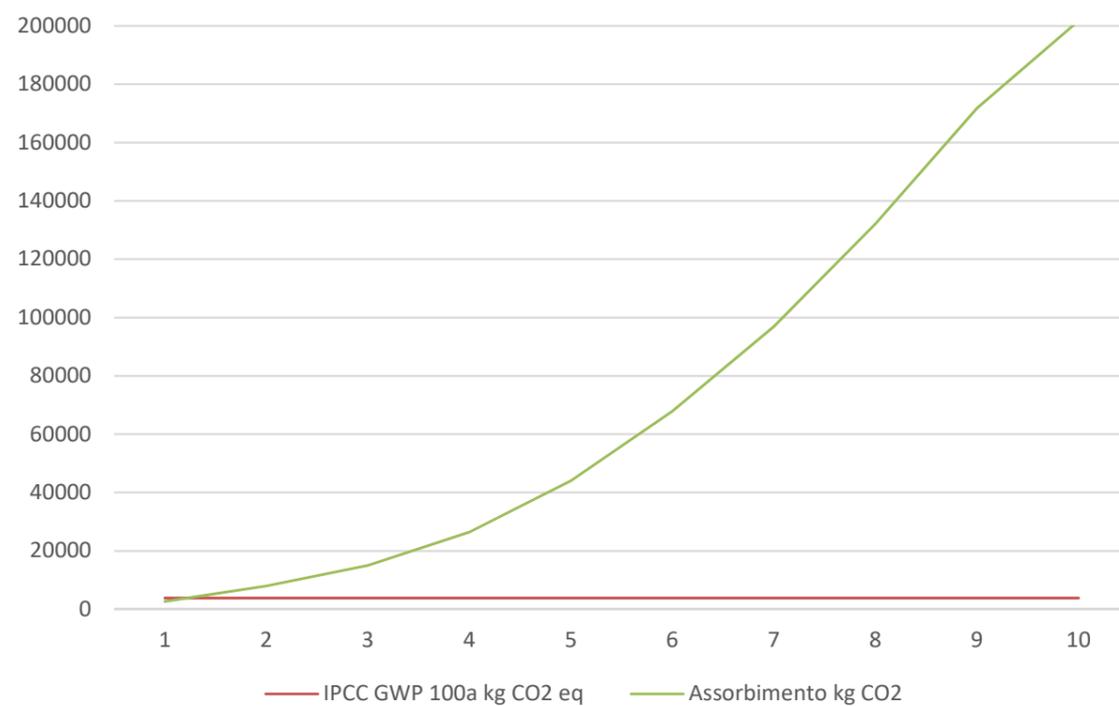


Grafico 6.55 - Assorbimento di CO₂ per 15 anni di coltivazione

L'anidride carbonica emessa durante la fase di coltivazione viene dunque bilanciata e portata a 0 grazie all'assorbimento delle piante intorno alla seconda metà del primo anno in pioppeto: in 15 anni di coltivazione possiamo quindi notare che i pioppi assorbono una quantità di anidride carbonica 50 volte maggiore di quella emessa da tutte le operazioni per la sua buona crescita.

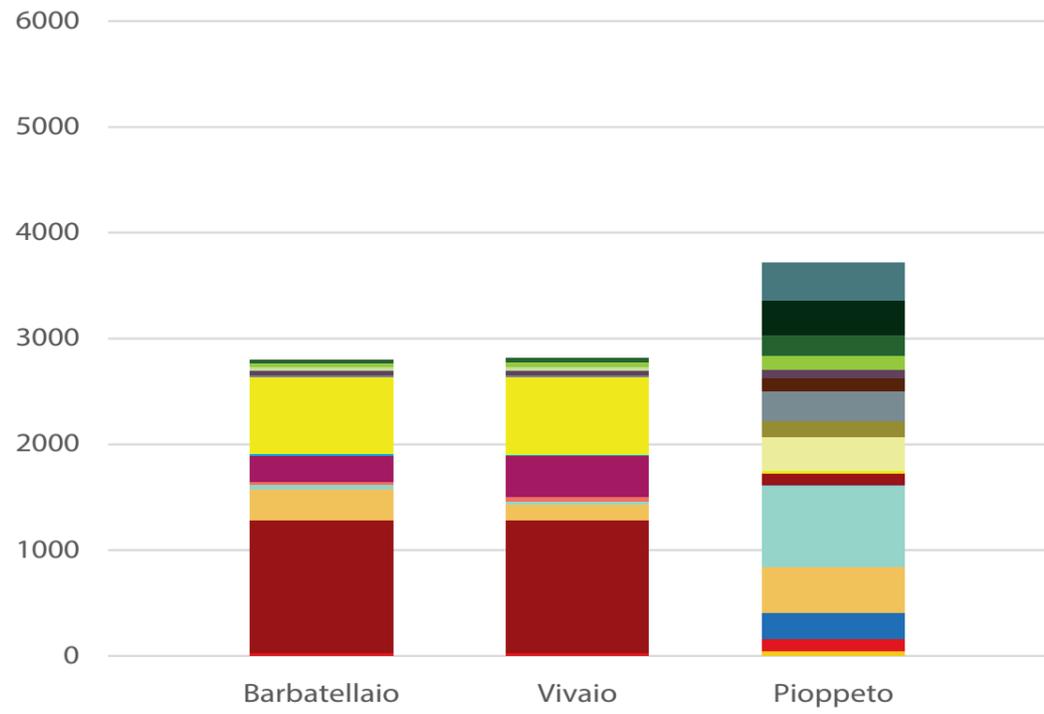


Grafico 6.56 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00
Rapporto tra le fasi di coltivazione

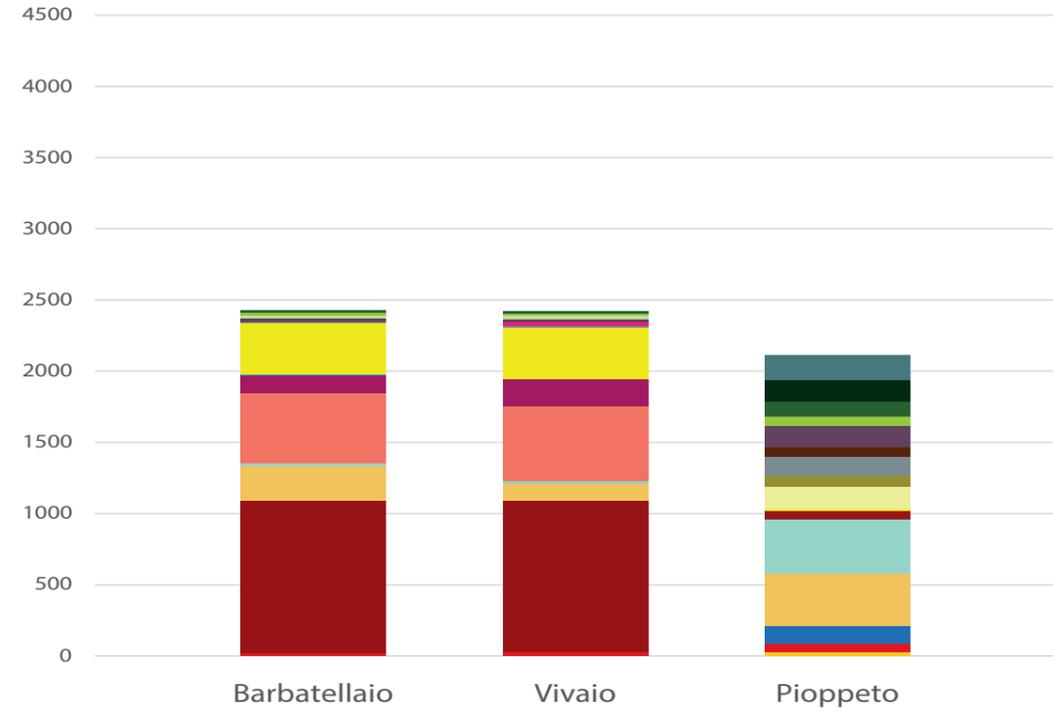


Grafico 6.57 - ILCD method
Rapporto tra le fasi di coltivazione

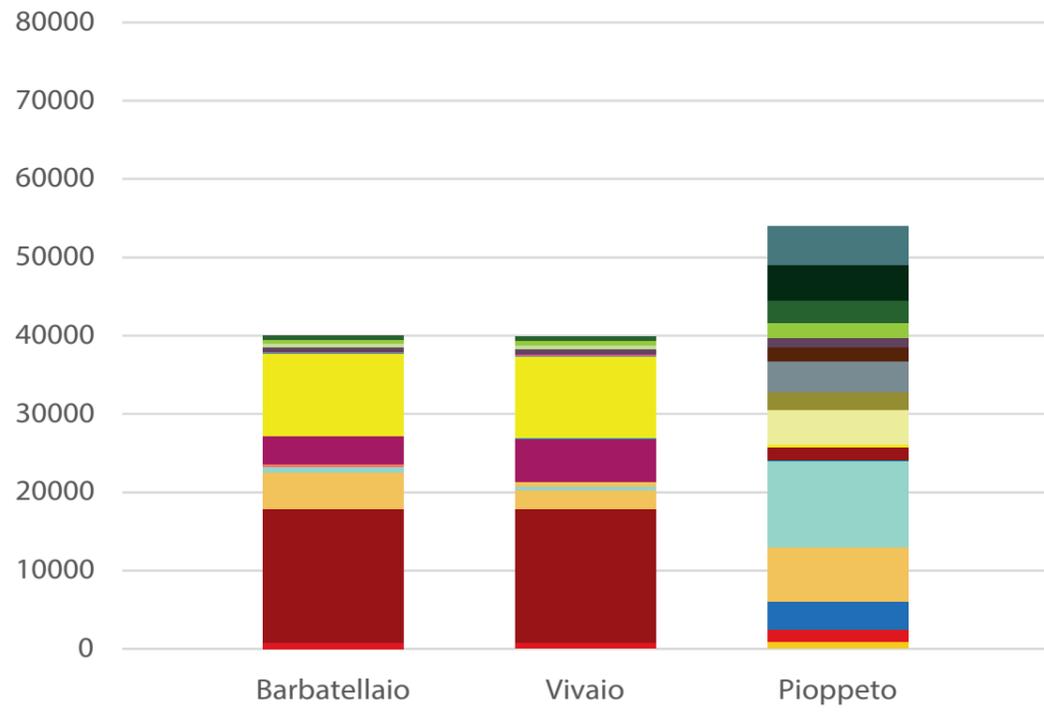


Grafico 6.58 - CED
Rapporto tra le fasi di coltivazione

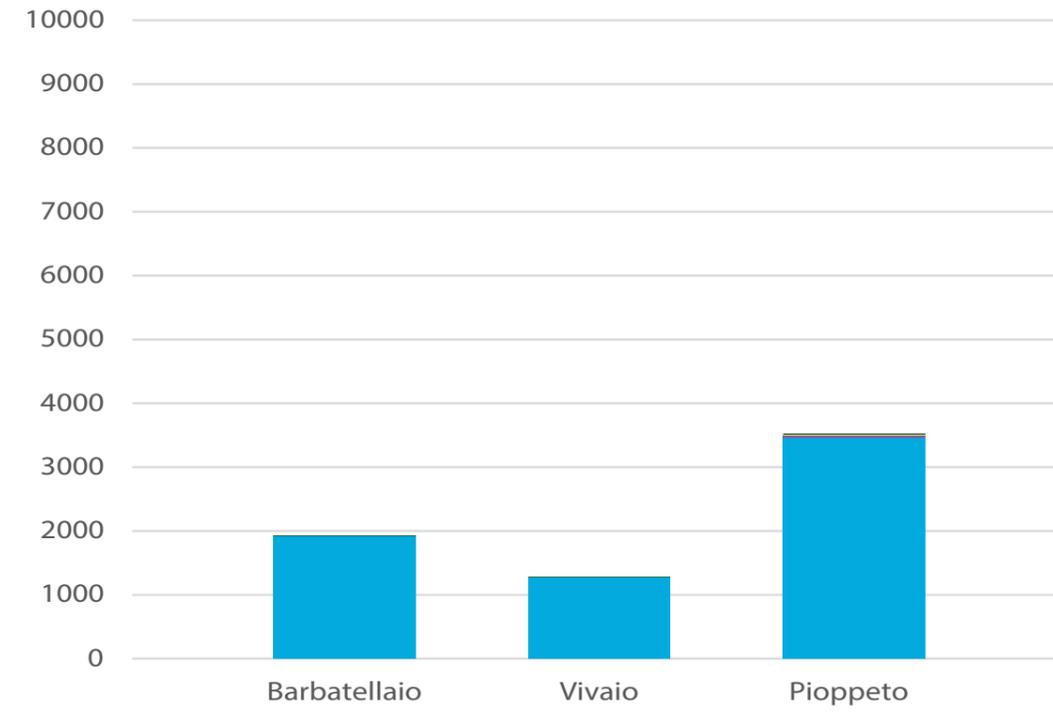


Grafico 6.59 - Berger et al. 2014 (Water Scarcity) V1.00
Rapporto tra le fasi di coltivazione

- Lavorazioni del suolo
- Affinamento
- Aratura
- Chiusura buche
- Cioccatura
- Discatura
- Trinciatura
- Fresatura
- Zappatura
- Scavo buche
- Tracciamento manuale
- Irrigazione
- Irrigazione I
- Irrigazione II
- Trattamenti
- Concimazione I/Letamazione
- Concimazione II
- Diserbo
- Spollonatura
- Treatmenti
- Treatmenti crismela
- Treatmenti ifantria
- Treatmenti punteruolo
- Treatmenti saperda
- Altre operazioni
- Correzione punte
- Messa a dimora
- Movimentazione
- Potatura
- Raccolta e depezzatura
- Scarico e messa in acqua
- Taglio e sramatura

Come possiamo notare dalla comparazione tra i diversi momenti della vita del pioppo ciò che gli accomuna è l'impatto provocato da diverse operazioni che hanno dei valori maggiori confronto ad altre, risultando così le più rilevanti nell'analisi: si ricorda che i valori relativi al barbatellaio sono per ettaro per 3 anni, nel vivaio per ettaro per 2 anni di coltivazione e nel pioppeto per ettaro per 10 anni di coltivazione.

Rilevate risulta essere l'impatto dato dalla Concimazione I per quanto riguarda le prime di due fasi della coltivazione (Barbatellaio e Vivaio), che come possiamo vedere, ricopre la percentuale maggiore per i tre metodi di analisi degli impatti IPCC, ILCD e CED. Nel Pioppeto la concimazione di fondo viene sostituita con la Letamazione, che quindi abbassa gli impatti legati alla produzione della sostanza chimica concimante. Per il Water Footprint l'irrigazione fa da protagonista per quanto riguarda il consumo delle risorse d'acqua dolce.

Nel metodo IPCC e CED possiamo notare delle variazioni tra Barbatellaio, Vivaio e Pioppeto, dove nei primi due risultano avere molta rilevanza gli impatti causati dalla Messa a dimora del materiale di impianto, le operazioni di Fresatura e la Concimazione II.

Per quanto riguarda il metodo ILCD, per l'indicatore di ecotossicità dell'acqua dolce, sempre per le prime due fasi di coltivazione, risulta essere rilevante l'operazione di Diserbo.

Nel Pioppeto invece, per tutti e tre i metodi analizzati, rilevanti risulta essere la Discatura, la Concimazione II e la Trinciatura. Anche se in minor percentuale risultano importanti nel Pioppeto anche tutte le operazioni di trattamento fitosa-

nitario (Crisomela, Ifantria, Saperda) e le fasi di Taglio, Movimentazione e Raccolta.

Analizzando i valori trasformati per 1 t di pioppo prodotta dalla coltivazione, possiamo notare che nelle fasi di Barbatellaio e Vivaio la fase di Messa a Dimora, se per 1 ha di terreno risultava avere valori abbastanza alti, per l'ottenimento di 1 t di pioppo i valori sono praticamente nulli; stesso ragionamento ricade sull'operazione di Diserbo.

In ogni caso in 15 anni di coltivazione le lavorazioni che hanno una maggiore ricaduta sull'ambiente sono la Concimazione II, la Discatura, la Movimentazione e la Trinciatura.

I maggiori impatti sono comunque registrati principalmente nell'ultima fase di vita del pioppo: per arrivare ad ottenere una tonnellata di legno non è necessario un ettaro di terreno, e comunque tutti i valori relativi al pioppeto vanno riferiti a 10 anni di coltivazione, contro i 3 ed i 2 di barbatellaio e vivaio.

Per il calcolo del consumo di acqua dolce i valori più alti sono sempre raggiunti dall'operazione di Irrigazione.

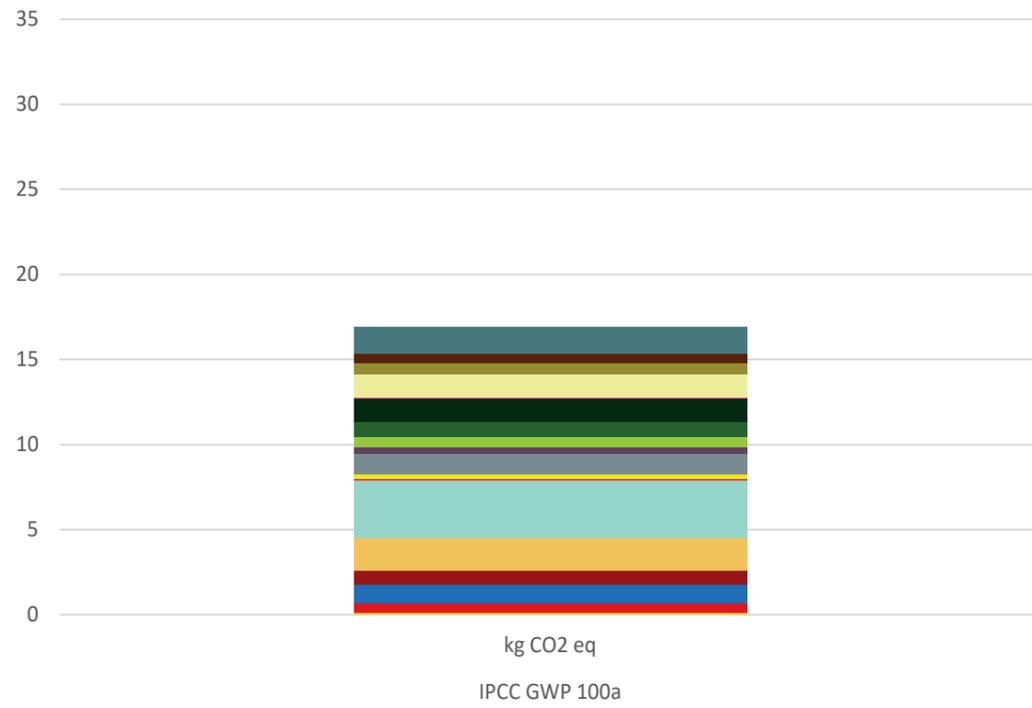


Grafico 6.60 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00
Valori totali per la produzione di 1 t di legno di pioppo

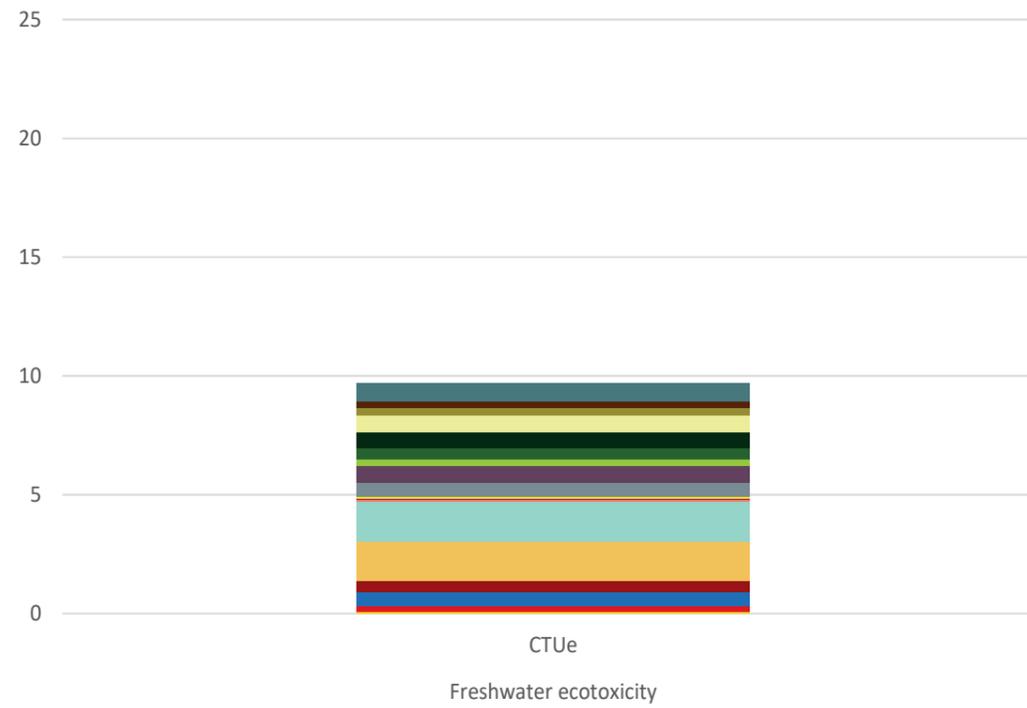


Grafico 6.61 - ILCD method
Valori totali per la produzione di 1 t di legno di pioppo

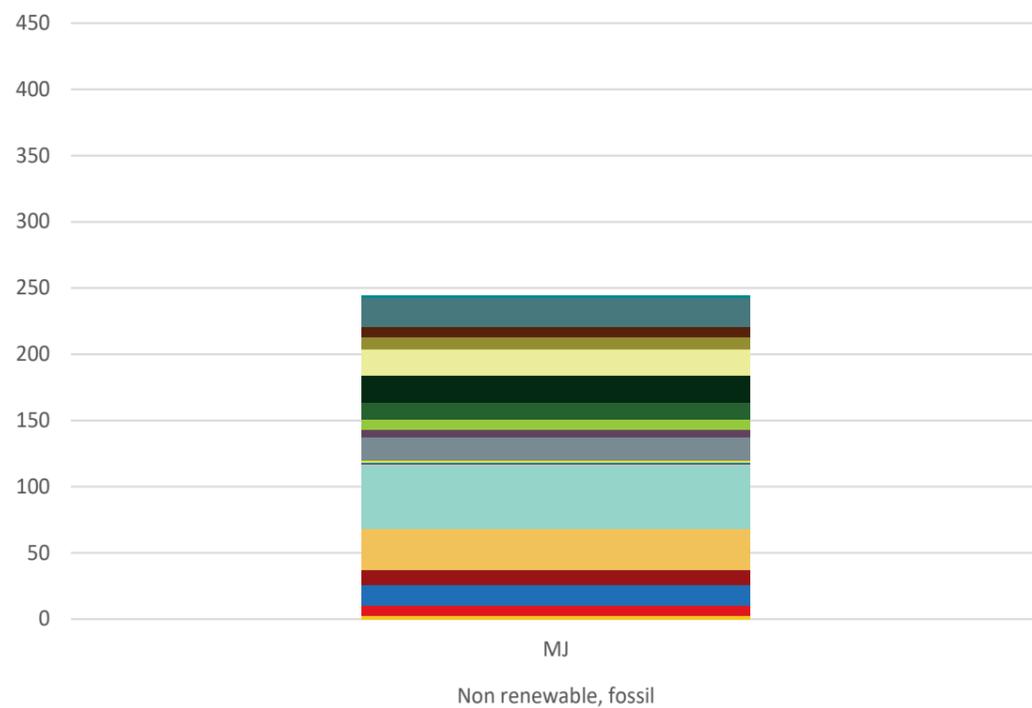


Grafico 6.62 - CED
Valori totali per la produzione di 1 t di legno di pioppo

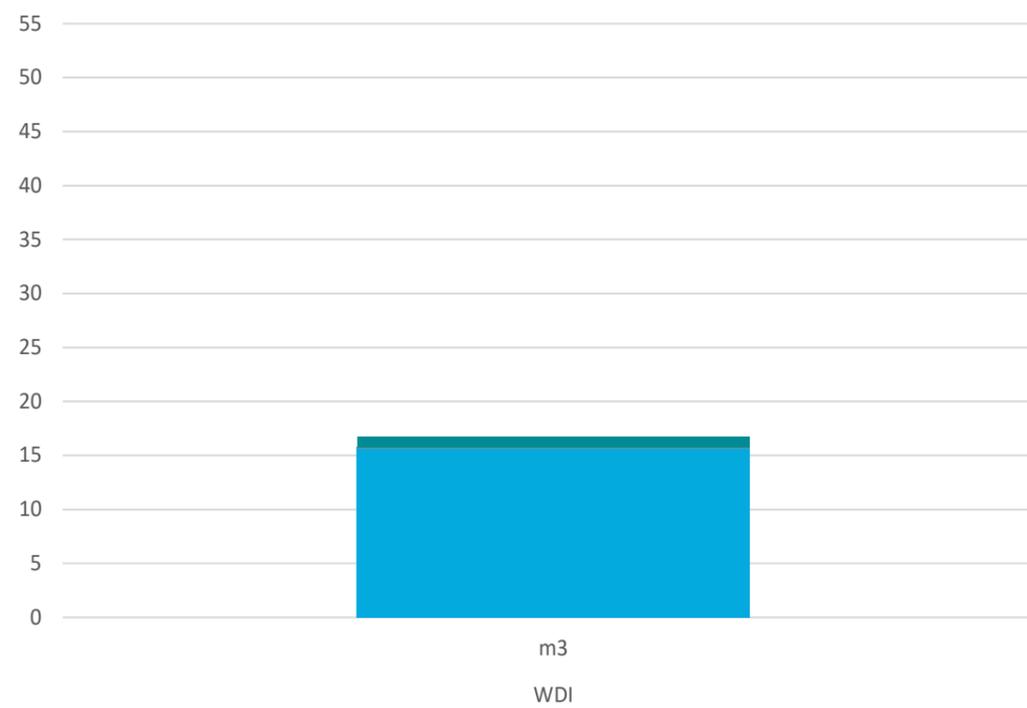


Grafico 6.63 - Berger et al. 2014 (Water Scarcity) V1.00
Valori totali per la produzione di 1 t di legno di pioppo

- Lavorazioni del suolo
- Affinamento
- Aratura
- Chiusura buche
- Cioccatura
- Discatura
- Trinciatura
- Fresatura
- Zappatura
- Scavo buche
- Tracciamento manuale
- Irrigazione
- Irrigazione I
- Irrigazione II
- Trattamenti
- Concimazione I/Letamazione
- Concimazione II
- Diserbo
- Spollonatura
- Trattamento crisomela
- Trattamento ifantria
- Trattamento punteruolo
- Trattamento saperda
- Altre operazioni
- Correzione punte
- Messa a dimora
- Movimentazione
- Potatura
- Raccolta e depezzatura
- Scarico e messa in acqua
- Taglio e sramatura

6.3 ANALISI DI SENSIBILITÀ

Analisi sui trattamenti.

Come abbiamo notato vi sono delle lavorazioni che incidono più di altre sugli impatti ambientali: di queste la Concimazione I, la Concimazione II e la Discatura per tutti gli indicatori.

Nello specifico per l'ILCD method, Freshwater Ecotoxicity, il trattamento rilevante è la somministrazione di sostanze fitosanitarie contro la Marssonina.

Con l'analisi di sensibilità, ipotizzando di variare le quantità di queste lavorazioni, si vuole verificare quanto il dato sia accurato e quale sia la sua reale influenza sul risultato finale.

Questo lavoro, naturalmente, non può portare a miglioramenti per quanto riguarda la reale piantagione: essendo il pioppo un essere vivente, può subire in modo positivo e negativo dei cambiamenti dati da ogni variazione della coltura, legati principalmente alla quantità e qualità del legno, che potrebbe non risultare idoneo per l'industria dello sfogliato.

	Variazione su IPCC kg CO ₂ eq			
	-50%	0	+50%	+100%
<i>I-214</i>				
Concimazione I	3,9	7,9	11,5	15,3
Concimazione II	2,4	2,5	4,9	6,2
<i>MSA</i>				
Concimazione I	3,9	7,7	11,5	15,3
Concimazione II	1,7	2,9	4,3	5,3
<i>MSA PEFC</i>				
Concimazione I	0,2	0,3	0,5	0,7
Concimazione II	1,5	2,6	3,6	4,7

	Variazione su ILCD Freshwater ecotoxicity CTUe			
	-50%	0	+50%	+100%
<i>I-214</i>				
Marssonina	2,9	5,7	8,6	11,4

	Variazione su CED MJ			
	-50%	0	+50%	+100%
<i>I-214</i>				
Concimazione I	53,4	105,6	157,8	200,8
Concimazione II	37,1	58,5	80	101,3
<i>MSA</i>				
Concimazione I	53,4	105,6	157,8	200,8
Concimazione II	27,7	49,1	70,5	91,9
<i>MSA PEFC</i>				
Concimazione I	2,4	4,6	6,9	8,1
Concimazione II	24,2	42,1	60	77,9

	Variazione su WDI m ³			
	-50%	0	+50%	+100%
<i>I-214</i>				
Irrigazione	26,1	52,2	78,3	104,3
<i>MSA</i>				
Concimazione I	26,1	52,2	78,3	104,3
<i>MSA PEFC</i>				
Concimazione I	9,9	19,9	29,9	39,9

Dall'analisi di sensibilità possiamo notare che con il variare delle sostanze concimanti per gli intervalli percentuali scelti, possono esserci forti ricadute sugli indicatori di impatto.

Per tutti gli indicatori e le sostanze analizzate possiamo fare la stessa considerazione: come possiamo notare al variare percentuale della sostanza utilizzata nella coltura, varia proporzionalmente (o quasi) l'impatto ambientale derivato da essa.

Questo ci fa capire che se, ad esempio, apportassimo per distrazione, per errore o per approssimazione, il 50% in più del concime nella piantagione le emissioni in atmosfera, la quantità di energia incorporata, aumenterebbero del 50%.

Analisi sul barbatellaio.

Come indicato nei capitoli precedenti i pioppi, al contrario di altre specie arboree, crescono e si sviluppano per talea. Le talee vengono prodotte dal barbatellaio, prima fase di coltivazione analizzata.

In bibliografia e in tutti gli studi segnalati dal CREA, che ci ha supportato in questo percorso, la "culla" non tiene in considerazione che la talea che viene inserita nel barbatellaio deriva comunque da un altro barbatellaio che ha prodotto talee da coltivare per creare un'altro impianto.

Con questa analisi di sensibilità si vuole capire se gli impatti ambientali a carico della talea che andiamo ad inserire nella nostra coltivazione siano oppure no un fattore da tenere in considerazione.

Modello Intensivo con clone I-214

62 500 → Barbatellaio → 1 856 250

In media una talea pesa tra i 40 e i 50 g. Considerando il valore medio massimo possiamo calcolare che da 1 ha di barbatellaio escono circa 92 812 500 g di talee.

In proporzione se per 1 ha riusciamo ad ottenere 92 812 500 g di talee per ottenerne 50 g ci serviranno 0,0000005 ha. Creando così il codice relativo a 1 talea da 50 g possiamo verificare se l'inserimento della stessa nel life cycle assessment di 1 t di legno di pioppo apporta dei cambiamenti sugli impatti ambientali.

Per capire quanto la nostra talea incide su 1 tonnellata di legno di pioppo dobbiamo considerare che per la produzione di 1 t servono 0,00003 ha di barbatellaio.

Quindi se in 1 ha entrano 62 500 talee, in 0,00003 ha ne entrano 1,875.

Modello intensivo con clone MSA

62 500 → Barbatellaio → 1 856 250

In media una talea pesa tra i 40 e i 50 g. Considerando il valore medio massimo possiamo calcolare che da 1 ha di barbatellaio escono circa 92 812 500 g di talee.

In proporzione se per 1 ha riusciamo ad ottenere 92 812 500 g di talee per ottenerne 50 g ci serviranno 0,0000005 ha. Creando così il codice relativo a 1 talea da 50 g possiamo verificare se l'inserimento della stessa nel life cycle assessment di 1 t di legno di pioppo apporta dei cambiamenti sugli impatti ambientali.

Per capire quanto la nostra talea incide su 1 tonnellata di legno di pioppo dobbiamo considerare che per la produzione di 1 t servono 0,00002 ha di barbatellaio.

Quindi se in 1 ha entrano 62 500 talee, in 0,00002 ha ne entrano 1,25.

Modello certificato PEFC con cloni MSA

62 500 → Barbatellaio → 1 856 250

In media una talea pesa tra i 40 e i 50 g. Considerando il valore medio massimo possiamo calcolare che da 1 ha di barbatellaio escono circa 92 812 500 g di talee.

In proporzione se per 1 ha riusciamo ad ottenere 92 812 500 g di talee per ottenerne 50 g ci serviranno 0,0000005 ha. Creando così il codice relativo a 1 talea da 50 g possiamo verificare se l'inserimento della stessa nel life cycle assessment di 1 t di legno di pioppo apporta dei cambiamenti sugli impatti ambientali.

Per capire quanto la nostra talea incide su 1 tonnellata di legno di pioppo dobbiamo considerare che per la produzio-

ne di 1 t servono 0,00002 ha di barbatellaio.

Quindi se in 1 ha entrano 62 500 talee, in 0,00002 ha ne entrano 1,25.

Lanciando l'analisi con il codice modificato otteniamo i seguenti risultati su 1 t di legno di pioppo:

	IPCC kg CO ₂ eq	ILCD CTUe	CED MJ	WDI m ³
Modello intensivo I-214	31,16	25,44	446,17	56,01
Modello intensivo + talea	31,161	25,442	446,19	56,02
Modello intensivo MSA	22,20	14,5	319,08	41,04
Modello intensivo MSA + talea	22,201	14,5	319,1	41,041
Modello PEFC MSA	16,09	9,771	245,14	15,74
Modello PEFC MSA + talea	16,091	25,442	245,16	15,741

Nonostante la metodologia di analisi sia più corretta ipotizzando che la talea che andiamo ad inserire in barbatellaio come materia prima si porti dietro degli impatti relativi alla sua produzione, come possiamo notare dai risultati, l'incidenza della stessa per ogni metodo analizzato è inferiore allo 0,1%.

Allocazione sui valori di mercato.

Per il proseguimento dell'analisi è stato necessario capire quale percentuale degli input derivati dalla coltivazione effettivamente è in ingresso nell'azienda di produzione del pannello di compensato. Infatti non tutte le parti del tronco tagliato vengono destinate alla sfogliatura.

In base al diametro calcolato ad 1,30 m vi sono differenti percentuali destinate all'industria dello sfogliato, del segato o del cippato.

Abbiamo così preso in considerazione dei range medi di diametro dei tronchi [Fig. 6.2] in modo da ottenere le percentuali inviate alle diverse fasi industriali e

abbiamo, per capire quali impatti gravano sul legno da compensato, tramite tabelle di prezzo medi [Fig. 6.3] suddiviso gli impatti.

Dati i due grafici di riferimento e i diametri medi di un pioppo maturo abbiamo identificato 2 ripartizioni percentuali del volume (tra le più comuni).

Diametro di maturità:

- Caso 1: 30 cm di diametro ripartiscono 50% sfogliato, 25% segati, 25% cippato/triturazione
- Caso 2: 35 cm di diametro ripartiscono 75% sfogliato, 15% segati, 10% cippato/triturazione.

Per quanto riguarda il valore di mercato alla tonnellata si sono considerati anche qui due casi in cui si tiene conto della variazione del valore dello sfogliato in base alla classe di aspetto delle facce, considerando il valore minimo ed il valore massimo.

Valori di mercato:

- Caso A: Sfogliato 130 €/t, Segato 50€/t, Cippato/triturazione 26 €/t;
- Caso B: Sfogliato 100 €/t, Segato 50 €/t, Cippato/triturazione 26 €/t.

Sulla base di questi 4 dati di partenza si è creata una matrice, dove per ogni modello di coltivazione sono stati ottenuti 4 risultati di ripartizione degli impatti.

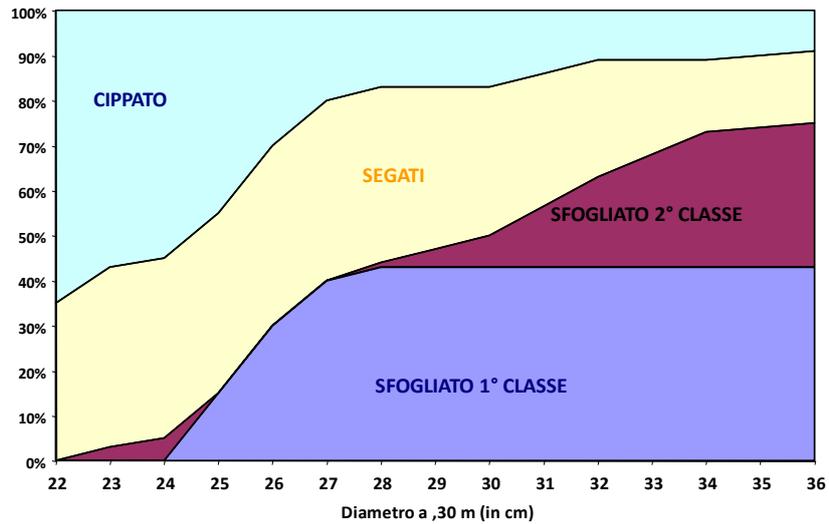


Figura 6.2 - Ripartizione percentuale del volume

Toppo	Sfogliato			Segato	Triturazione
	I classe	II classe	III classe		
Lunghezza (m)	2,6 - 2,3 - 1,9 - 1,3			2	-
Diam. Min. (cm)	22-25	20-22	20-22	15-18	3
Valore €/t	130	110	100	50	26
(franco partenza)	145	130	110	60	33

Figura 6.3 - Valori di mercato €/t

Modello Intensivo con clone I-214.

Nel modello Intensivo con clone I-214 abbiamo una produttività per ha di 180 tonnellate di legno di pioppo.

- Caso 1A - minimo diametro massimo valore di mercato:

Considerando l'incrocio dei dati relativi al caso 1 con 30 cm di diametro e il caso con lo sfogliato al massimo del suo valore otteniamo i seguenti risultati.

	%	t/ha	€/t	€/ha	Impatti
Sfogliato	50	90	130	11 700	77,4%
Segato	25	45	50	2 250	15%
Cippato	25	45	26	1 170	7,6%
Totale €/ha				15 120	

- Caso 1B - minimo diametro minimo valore di mercato:

Considerando l'incrocio dei dati relativi al caso 1 con 30 cm di diametro e il caso B con lo sfogliato al minimo del suo valore otteniamo i seguenti risultati.

	%	t/ha	€/t	€/ha	Impatti
Sfogliato	50	90	100	9 000	72,4%
Segato	25	45	50	2 250	18,2%
Cippato	25	45	26	1 170	9,4%
Totale €/ha				12 420	

- Caso 2A - massimo diametro massimo valore di mercato:

Considerando l'incrocio dei dati relativi al caso 2 con 35 cm di diametro e il caso A con lo sfogliato al massimo del suo valore otteniamo i seguenti risultati.

	%	t/ha	€/t	€/ha	Impatti
Sfogliato	75	135	130	17 550	90,6%
Segato	15	27	50	1 350	6,9%
Cippato	10	18	26	468	2,5%
Totale €/ha				19 368	

mo valore di mercato:

Considerando l'incrocio dei dati relativi al caso 2 con 35 cm di diametro e il caso B con lo sfogliato al massimo del suo valore otteniamo i seguenti risultati.

	%	t/ha	€/t	€/ha	Impatti
Sfogliato	75	135	100	13 500	88%
Segato	15	27	50	1 350	8,8%
Cippato	10	18	26	468	3,2%
Totale €/ha				15 318	

Nei primi due casi, considerando un diametro di maturità di 30 cm gli impatti che effettivamente ricadono sul legno destinato allo sfogliato stanno intorno al 70-80%, con un guadagno totale per ettaro di circa 15 000 €.

Naturalmente, con l'aumentare del diametro a 35 cm e quindi della percentuale di legno destinato alla sfogliatura gli impatti aumentano toccando il 90%; di conseguenza aumenta anche il guadagno, che arriva intorno ai 19 000 € nel migliore dei casi.

Modello Intensivo con clone MSA/certificato PEFC con clone MSA

Nei due modelli colturali, certificato e non certificato, con cloni MSA abbiamo una produttività per ha di 229 tonnellate di legno di pioppo.

- Caso 1A - minimo diametro massimo valore di mercato:

Considerando l'incrocio dei dati relativi al caso 1 con 30 cm di diametro e il caso con lo sfogliato al massimo del suo valore otteniamo i seguenti risultati.

	%	t/ha	€/t	€/ha	Impatti
Sfogliato	50	114,5	130	14 885	77,4%
Segato	25	57,25	50	2 862,5	15%
Cippato	25	57,25	26	1 488,5	7,6%
Totale €/ha				19 236	

- Caso 1B - minimo diametro minimo valore di mercato:
Considerando l'incrocio dei dati relativi al caso 1 con 30 cm di diametro e il caso B con lo sfogliato al minimo del suo valore otteniamo i seguenti risultati.

	%	t/ha	€/t	€/ha	Impatti
Sfogliato	50	114,5	100	11 450	72,4%
Segato	25	57,25	50	2 862,5	18,2%
Cippato	25	57,25	26	1 488,5	9,4%
Totale €/ha				15 801	

- Caso 2A - massimo diametro massimo valore di mercato:
Considerando l'incrocio dei dati relativi al caso 2 con 35 cm di diametro e il caso A con lo sfogliato al massimo del suo valore otteniamo i seguenti risultati.

	%	t/ha	€/t	€/ha	Impatti
Sfogliato	75	171,75	130	22 327,5	90,6%
Segato	15	34,35	50	1 717,5	6,9%
Cippato	10	22,9	26	595,4	2,5%
Totale €/ha				24 640,4	

- Caso 2B - massimo diametro minimo valore di mercato:
Considerando l'incrocio dei dati relativi al caso 2 con 35 cm di diametro e il caso B con lo sfogliato al massimo del suo valore otteniamo i seguenti risultati.

	%	t/ha	€/t	€/ha	Impatti
Sfogliato	75	135	100	17 175	88%
Segato	15	27	50	1 717,5	8,8%
Cippato	10	18	26	595,4	3,2%
Totale €/ha				15 318	

Le differenze in termini di guadagno sono date dalla differente produttività tra i modelli con clone MSA e il modello con I-214.

Nei primi due casi, considerando un diametro di maturità di 30 cm gli impat-

ti che effettivamente ricadono sul legno destinato allo sfogliato stanno intorno al 70-80%, con un guadagno totale per ettaro di circa 19 000 €.

Naturalmente, con l'aumentare del diametro a 35 cm e quindi della percentuale di legno destinato alla sfogliatura gli impatti aumentano toccando il 90%; di conseguenza aumenta anche il guadagno che arriva intorno ai 24 000 € nel migliore dei casi.

Per la creazione del codice da inserire nell'analisi LCA del pannello di compensato di pioppo è stata fatta una media sull'allocazione, sia per il diametro che per il valore di mercato.

Tenendo sempre in considerazione che ci potrebbe essere una situazione migliore ed una peggiore: nel nostro studio con "migliore" e "peggiore" si intende che si porta dietro più o meno percentuale di impatti ambientali, anche se questo potrebbe compromettere il guadagno da parte del coltivatore.

Dati riassuntivi e scelta dell'allocazione per lo sfogliato I-214

	%	t/ha	€/t	€/ha	Impatti
Migliore	50	90	100	9 000	72,4%
Media	67	120,6	115	13 869	84,7%
Peggior	75	135	130	17 550	90,6%

Dati riassuntivi e scelta dell'allocazione per lo sfogliato MSA

	%	t/ha	€/t	€/ha	Impatti
Migliore	50	114,5	100	11 450	72,4%
Media	67	153,4	115	17 641	84,7%
Peggior	75	171,75	130	22 327,5	90,6%

6.4 NOTE CONCLUSIVE

L'utilizzo di certificazioni forestali è di sicuro un punto di partenza per poter raggiungere obiettivi ben precisi come la sostenibilità ambientale.

Con l'utilizzo di un protocollo di certificazione come quello PEFC si possono ottenere benefici ambientali ed economici. Infatti la certificazione fornisce indicazioni ben precise per quanto riguarda il numero delle lavorazioni da effettuare, la quantità e la tipologia delle sostanze che possono essere utilizzate. La procedura certificata garantisce una diminuzione delle emissioni di CO₂, la conseguente diminuzione del consumo di energia primaria e un minor inquinamento delle risorse acquifere (secondo l'indice di ecotossicità dell'acqua). Inoltre i coltivatori possono in questo modo dimostrare le loro buone pratiche colturali, portando il prodotto "legno" ad un livello superiore e inserendosi sul mercato con una materia prima sostenibile.

L'obiettivo posto nella tesi era quello di studiare interamente il ciclo di vita di un pannello di compensato di pioppo, partendo dalla coltivazione del pioppo fino alla produzione del prodotto finito, imballato e pronto per la spedizione.

L'importanza dell'analisi che è stata svolta risiede nel fatto che ancora poche aziende italiane si sono mosse per certificare i propri prodotti a base legno, nonostante le direttive emesse a livello nazionale ed europeo e che, le analisi di impatto ambientale reperibili non includono dati puntuali sulla coltivazione del pioppo, la fase precedente alla produzione del manufatto edilizio.

voli nella filiera del legno in Italia. Sono stati studiati tre modelli colturali:

Modello Intensivo clone I-214

Modello Intensivo clone MSA (Senna)

Modello certificato PEFC con cloni MSA (Senna e Diva).

Lo scopo era quello di paragonarli e dimostrare che la scelta di un buon clone, può portare alla riduzione degli impatti ambientali grazie a una gestione sostenibile della coltura. Infatti riduce i consumi energetici e l'impiego di sostanze per i trattamenti fitosanitari in quanto il clone è più resistente agli attacchi fungini e parassitari.

Per ogni modello colturale sono stati utilizzati dati diretti sulla coltivazione di 15 anni dal Centro di Ricerca Foreste e Legno di Casale Monferrato (AL) del CREA (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria).

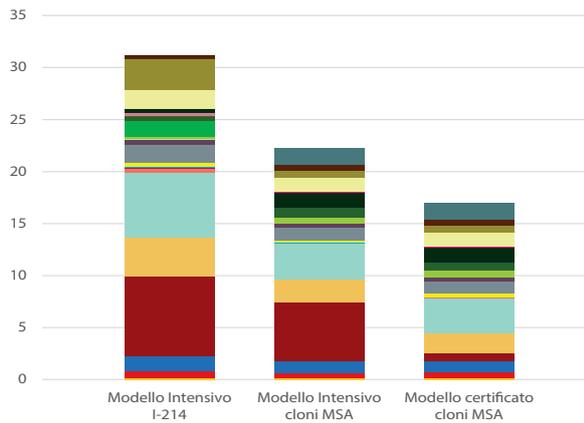
Per ognuna scheda sono stati raccolti i dati relativi al consumo di carburante, acqua, sostanze concimanti, diserbanti e per i trattamenti fitosanitari.

I 15 anni di coltivazione sono stati suddivisi in 3 fasi principali di vita del pioppo, partendo dal Barbatellaio, dove vengono fatte crescere le giovani talee, proseguendo con il Vivaio, dove entrano gli astoni che vengono fatti crescere e curati in modo che il fusto sia dritto e sano, finendo e con il Pioppeto.

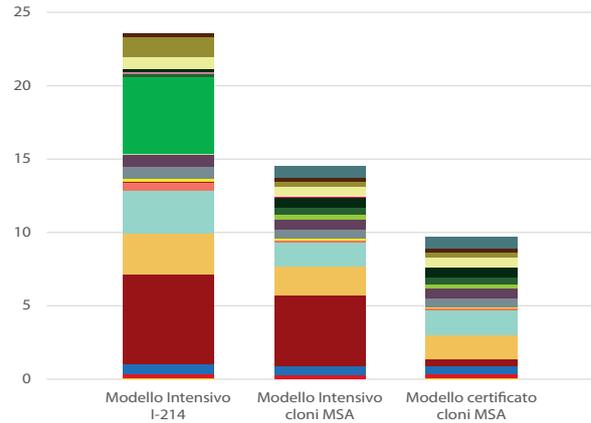
Queste fasi vengono analizzate separatamente considerando 1 ettaro di impianto.

Per i diversi cloni e modelli colturali sono stati valutati gli impatti ambientali secondo gli indicatori IPCC 2013 GWP 100 a, CED - Non-Renowable fossil, ILCD method, Freshwater ecotoxicity e Water scarcity. L'analisi dei risultati ha permesso di valutare se i cloni MSA e il modello colturale PEFC possano effettivamente contribuire alla riduzione dell'impatto ambientale nella fase di coltivazione del

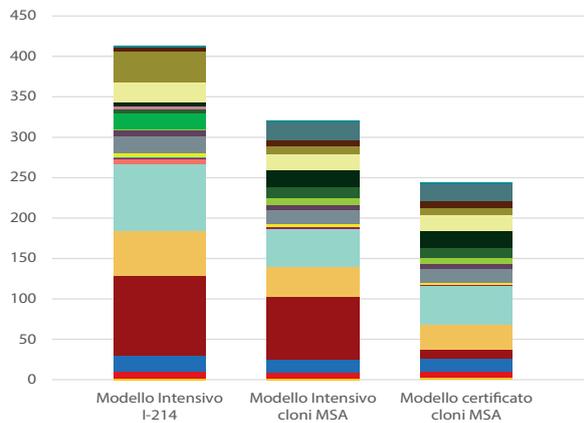
Per questo nella prima parte ci si è dedicati all'analisi della coltura del pioppo dalla "culla" al "cancello". Il pioppo infatti è una pianta da legno emergente che può portare dei cambiamenti considere-



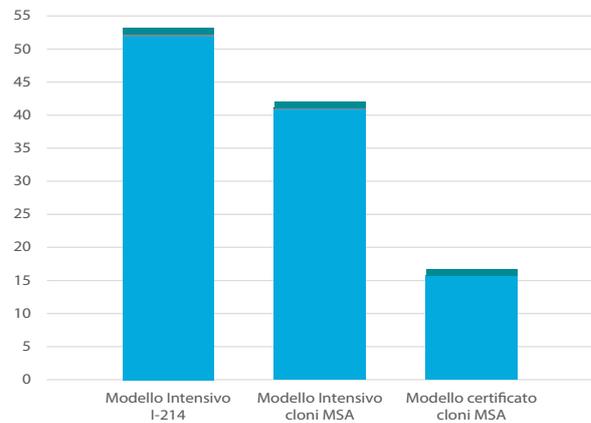
IPCC 2013 GWP 100a V1.00, kg CO₂ eq
Rapporto tra i tre modelli colturali



ILCD - Freshwater ecotoxicity, CTUe
Rapporto tra i tre modelli colturali



CED - Non renewable, fossil, MJ
Rapporto tra i tre modelli colturali



Berger et al 2014 (Water Scarcity) V1.00, m³
Rapporto tra i tre modelli colturali

- | | | | |
|---|----------------------------|---|--------------------------|
|  | Lavorazioni del suolo |  | Diserbo |
|  | Affinamento |  | Spollonatura |
|  | Aratura |  | Trattamento af. lanigero |
|  | Chiusura buche |  | Trattamento crisomela |
|  | Cioccatura |  | Trattamento ifantria |
|  | Discatura |  | Trattamento marssonina |
|  | Trinciatura |  | Trattamento punteruolo |
|  | Fresatura |  | Trattamento ruggine |
|  | Zappatura |  | Trattamento saperda |
|  | Scavo buche |  | Altre operazioni |
|  | Tracciamento manuale |  | Correzione punte |
|  | Irrigazione |  | Messa a dimora |
|  | Irrigazione I |  | Movimentazione |
|  | Irrigazione II |  | Potatura |
|  | Trattamenti |  | Raccolta |
|  | Concimazione I/Letamazione |  | Scarico e messa in acqua |
|  | Concimazione II |  | Taglio e sramatura |

pioppo. Inoltre, i risultati ottenuti per 1 ettaro di pioppeto sono stati normalizzati e riferiti alla produzione di 1 tonnellata di legno, per poter condurre, nella seconda parte della tesi, l'analisi LCA del pannello di compensato e verificare quale influenza possa avere la scelta del clone e del modello colturale sul prodotto finale.

I risultati ottenuti possono essere riassunti come segue:

IPCC 2013 GWP 100 a.

Se in un pioppeto coltivato seguendo un modello intensivo, per la produzione di 1 t di legno di pioppo le emissioni dovute alle lavorazioni e alle sostanze utilizzate si aggirano intorno ai 31,2 kg CO₂ eq, la variazione portata dall'utilizzo di un clone MSA (considerando sempre un modello colturale intensivo) diminuisce del 30% le emissioni di CO₂ arrivando a 22 kg CO₂ eq.

Questo è dato principalmente dalla produttività differente che hanno i due tipi di clone: un clone MSA infatti per 1 ha di pioppeto produce circa il 15% in volume di legno, diminuendo in proporzione gli impatti per ottenere 1 t di legno.

Se utilizzassimo in un pioppeto con cloni MSA la certificazione PEFC, grazie al controllo delle quantità di sostanze fitosanitarie e concimi e alla diminuzione di alcune lavorazioni del terreno, avremmo una diminuzione ulteriore delle emissioni di CO₂ del 23,2% circa, con un bilancio di 16,9 kg CO₂ eq.

CED - Non-Renowable, fossil.

Come accennato più volte, una diminuzione o un aumento delle emissioni è strettamente legato ad una conseguente diminuzione/aumento dell'energia primaria incorporata CED: un pioppeto a modello intensivo registra un CED Non-renewable fossil (indicatore maggiormente rilevante nel calcolo) di 446,2

MJ: il modello intensivo con cloni MSA registra una diminuzione del 28% circa (321,77 MJ) sul CED e adottando la certificazione PEFC un'ulteriore diminuzione del 23,7% (245,41 MJ).

ILCD method, Freshwater ecotoxicity.

Molto importante risulta essere il discorso intorno alle sostanze utilizzate per i trattamenti fitosanitari: nella certificazione PEFC vengono limitate a piccolissime dosi se non del tutto vietate, diminuendo così anche gli impatti relativi all'ecotossicità dell'acqua (ILCD): cambiamenti significativi da questo punto di vista si possono riscontrare già dal secondo modello dove, nonostante il metodo di coltivazione sia comunque quello intensivo, la variazione del solo clone coltivato porta ad una diminuzione l'impatto del 43%: da 25,5 a 14,5 CTUe.

Infatti con la coltivazione del clone Sena piuttosto che l'I-214 non sono necessari i trattamenti relativi alla prevenzione di attacchi fungini e sono limitati gli insetticidi, mentre come possiamo notare dal grafico con l'I-214 l'impatto del trattamento contro la Marssonina, ad esempio, è molto alto, comprendo per la produzione di 1 t di pioppo, circa il 22% degli impatti totali in 15 anni di coltivazione.

Con l'utilizzo della certificazione PEFC abbiamo, come già detto, un'ulteriore diminuzione delle sostanze fitosanitarie, ma, ancora più importante è il divieto di utilizzo di concimanti di fondo chimici, sostituiti completamente dal letame. Come si può chiaramente notare dal grafico, infatti, gli impatti derivati dalla Concimazione I sono quasi azzerati. Ciò che resta è relativo alla fase di barba-tellaio e vivaio che non sono soggetti a certificazione, quindi si può prevedere l'utilizzo di concimi ternari.

L'impatto così viene ridotto di un ulteriore 19% confronto al modello intensivo con cloni MSA, arrivando a 9,77 CTUe.

Water scarcity, Berger et al. 2014.

Altro aspetto molto importante è l'analisi del Water Scarcity.

Tra modello intensivo con I-214 e modello intensivo con cloni MSA in realtà non vi sono variazioni di apporto idrico: la differenza nel calcolo dell'impatto sta nella differente produttività, che ne riduce gli impatti in proporzione ad 1 t di legno.

Per il calcolo del consumo di acqua dolce il modello intensivo con I-214 consuma 56 m³ di acqua mentre il modello intensivo con cloni MSA 41 m³ abbassando l'impatto del 27%.

Per quanto riguarda il modello certificato PEFC con cloni MSA, il documento di certificazione ipotizza un apporto idrico basandosi sulla qualità del terreno. Quindi, coltivando su un terreno dalle caratteristiche ottimali per quanto riguarda la ritenzione idrica, la risalita di acqua di falda, etc, le irrigazioni scendono, portando ad un consumo di acqua dolce inferiore del 62% rispetto ad un modello non certificato con cloni MSA, consumando risorse acquifere pari a 15,7 m³.

Sequestro di carbonio.

Il bilancio di carbonio durante tutto il ciclo di vita della coltivazione risulta essere più che positivo.

La norma ci permette di calcolare il sequestro di carbonio legato all'accrescimento della pianta in ingresso sotto forma di "pioppella" nel pioppeto, quindi per 10 anni di coltivazione.

Un pioppeto coltivato con cloni I-214 secondo un modello intensivo, per la totale produzione di 1 ha, in 10 anni coltivazione registra un sequestro di carbonio pari a 164,5 t di CO₂.

Considerando che in 15 anni di coltivazione la produzione di 1 ha di pioppeto emette in atmosfera 5192,9 kg CO₂ eq, la piantagione riesce ad assorbire entro il 2 anno di età tutta l'anidride carbonica emessa per il suo ciclo di vita.

In un pioppeto coltivato con modello intensivo con cloni MSA, che sia o meno certificato, grazie al maggiore accrescimento dei pioppi a maggiore sostenibilità ambientale, per 1 ha di pioppeto in 10 anni di coltivazione vengono assorbite 201,7 t di CO₂: il 20% in più confronto ad un clone I-214.

Con queste considerazioni si può notare come le emissioni di carbonio date dalla coltivazione del pioppo vengano più che annullate dalla crescita dell'albero che in situazione di elevata CO₂ si comporta in maniera ottimale dal punto di vista dell'assorbimento.

Da questa analisi risulta apparire evidente che l'utilizzo di un documento di certificazione come quello fornito da PEFC può essere un valido strumento per la diminuzione degli impatti ambientali nella coltivazione del pioppo.

Se per la coltivazione di pioppeti i coltivatori certificassero le coltivazioni, mettendo in opera tutte le regole riportate nel documento di certificazione PEFC (creato ad hoc per la gestione sostenibile della pioppicoltura) e utilizzando dei cloni differenti dall'I-214, probabilmente ci sarebbero dei risparmi economici e sicuramente ci sarebbero dei riscontri positivi per quanto riguarda il nostro ambiente.

7. ANALISI DEL CICLO DI VITA DEL COMPENSATO

7.1 MATERIALI E METODI

siderazione.

OBIETTIVI E SCOPI

L'obiettivo è quello di analizzare gli impatti ambientali della produzione di un pannello di compensato di pioppo dell'azienda E. Vigolungo.

In questa seconda parte dell'analisi viene analizzato un pannello in compensato/multistrato longitudinale di pioppo di dimensioni 252x125 cm con spessore 18 mm.

Lo scopo è quello di ottenere delle informazioni precise sull'impatto ambientale derivate dalla produzione industriale del pannello, cercando di capire i punti critici dell'azienda in tutta la fase produttiva. Contemporaneamente utilizzando, come materia prima il legno di pioppo proveniente dai 3 modelli colturali studiati, capire se l'utilizzo di cloni a maggiore sostenibilità ambientale e la certificazione PEFC, oltre che diminuire l'impatto ambientale dell'impianto di coltivazione, può fare delle differenze anche su un prodotto edilizio.

Queste considerazioni potrebbero essere fondamentali per capire se gli impatti ambientali relativi alla produzione di un pannello in compensato di pioppo siano influenzati anche dalla coltivazione che, come accennato precedentemente, spesso nella compilazione di un EPD o comunque di una certificazione ambientale di prodotto, non viene presa in con-

UNITÀ FUNZIONALE

In linea con la bibliografia l'unità funzionale per l'analisi di pannelli a base legno è la produzione di 1 m³ di pannello. Inoltre viene scelta in accordo con l'azienda che rileva tutti i dati di input relativi dapprima a kg di topi in entrata e kg di sfogliato fino ad arrivare a sapere sostanze, energia e calore che servono per produrre ad 1 m³ di pannello da 252x125 cm di spessore 18 mm.

Come appena accennato per 1 m³ di pannello in compensato di pioppo si conoscono i kg di tronchi in ingresso in azienda.

Per questo motivo è stata pensata un'analisi parallela nella fase di coltivazione dove nel pioppeto l'unità funzionale rimane l'ettaro, che viene successivamente modificato (aumentando o diminuendo) in base ad 1 kg di pioppo che dovrà uscire dalla coltivazione.

DESCRIZIONE DEL SISTEMA

L'azienda analizzata è la E. Vigolungo compensati di Canale.

L'azienda si occupa della produzione di pannelli in compensato di pioppo per tutti i settori: automotive, fai da te, costruzioni ed edilizia, arredamento, packaging etc.

Il pannello scelto con il supporto dell'azienda è il VigoPly L [Tab. 7], uno dei

panelli più grandi in produzione, con dimensioni specifiche di 252 x 125 cm di spessore 18 mm.

Lo stabilimento analizzato si trova a Canale (CN) e registra una produzione annua che si aggira intorno ai 40 000 m³ di compensato di pioppo.

L'anno identificativo della produzione è 2017, e per le quantità prodotte ci si è riferiti precisamente a settembre dove il pannello specifico ha raggiunto la produzione di 212 m³.

Oggi la Vigolungo preleva la materia prima da due impianti principali: Barbero a Monticello Alba (CN) e Balzola (AL).

Per l'analisi verrà invece ipotizzato che lo stabilimento di rifornisca dagli impianti del CREA-Foreste e legno, a Casale Monferrato (AL).

L'azienda dispone di due linee di produzione con macchinari di diverse dimensioni e quindi capacità produttive differenti.

L'approvvigionamento elettrico avviene tramite agganci alla rete comunale men-

VigoPly L - Pannello di compensato/multistrato longitudinale di pioppo

Descrizione									
Utilizzo	Arredamento, edilizia, imballaggio, fai da te, allestimento caravan e automobili, settore nautico								
Classificazione in base all'aspetto delle facce	Gold, Superior, Standard, Natural								
Rilascio di formaldeide	E1, CARB 2, NAUF								
Classe di incollaggio	Classe 1, Classe 2							EN 314-2	
Certificazioni	PEFC, FSC, CE2+, CARB 2								
Formati	244 x 122, 252 x 125, 252 x 187, 310 x 153, 312 x 187, 312 x 212 cm								
Spessori	da 3 a 40 mm							EN 315	
Tolleranze dimensionali	Lunghezza e larghezza: +/-3,5 mm. Spessore +(0,2+0,03t); -(0,4+0,03t). Squadratura: 1 mm/m							EN 315	
	Norma	Unità	Spessori - Strati						
			4/3	8/5	10/5	12/7	18/9*	20/9	
Caratteristiche meccaniche									
Resistenza a flessione longitudinale	UNI EN 310	N/mm ²	45	36	28	20	29	30	29
Resistenza a flessione trasversale	UNI EN 310	N/mm ²	24	32	24	32	37	27	39
Modulo di elasticità a flessione longitudinale	UNI EN 310	N/mm ²	4680	3525	3600	3130	3270	3480	3150
Modulo di elasticità a flessione trasversale	UNI EN 310	N/mm ²	1370	3150	3300	3290	3900	3790	3580
Caratteristiche fisiche									
Massa volumica	420 kg/m ³ +/- 10%							EN 323	
Conducibilità termica	0,12 W/m K							EN 12664	
Umidità residua	8/12 %							EN 322	
Reazione al fuoco	D-s2,d0 - Dfl-s1 (per spessori > 9 mm)							EN 13501-1	

*Valori relativi al pannello di compensato analizzato nella tesi.

tre l'apporto di energia, sia per quanto riguarda alcune fasi produttive, sia per il riscaldamento dei locali di servizio e degli uffici avviene tramite un generatore di vapore saturo a biomassa, in cui vengono inviati a termovalorizzazione gli scarti della lavorazione.

Nell'impianto di coltivazione i topi, che rappresentano il 60% del legno prodotto, vengono preparati per il trasporto. All'arrivo in azienda sono scaricati e selezionati in base alla grandezza e alla qualità.

Prima dell'ingresso nel capannone produttivo vengono ancora scortecciati e lo scarto di corteccia viene raccolto per essere inviato alla centrale termica.

All'ingresso in azienda tramite rulli trasportatori i topi entrano nella sfogliatrice che tramite laser lo sistema in maniera ottimale: prima di ottenere lo sfogliato la lama opera un arrotondamento in modo da ottenere difetti nulli sullo spessore.

L'arrotondamento produce scarti che vengono macinati e portati in centrale termica: la sfogliatura lascia come residuo i tondelli, parte interna del toppo, che vengono stoccati e inviati a un'industria produttrice di imballaggi.

Lo sfogliato, tramite rulli, raggiunge gli essiccatori, dove viene abbassata l'umidità portandola al 3-10%.

Selezionate le facce in base alla qualità gli sfogliati vengono suddivisi per la composizione dei pannelli: gli sfogliati interni vengono inviati all'incollaggio, dove viene posto uno strato di adesivo UF (Urea-Formaldeide) e gli sfogliati non idonei vengono mandati a giuntare per poi ritornare all'interno del ciclo produttivo.

I sandwich prodotti vengono trasportati alla fase di sbiancatura per la sistemazione delle facce esterne e successivamente pressati a caldo per fare in modo che gli adesivi possano polimerizzare e far presa su entrambe le facce a con-

tatto.

Il pannello finito viene stuccato da un operatore per diminuire i difetti e inviato a calibratura e levigatura: gli scarti prodotti dal calibro, che sono i tagli derivati dalle imperfezioni dimensionali degli sfogliati composti, non sono recuperabili in quanto contengono l'adesivo, mentre le polveri prodotte dalla levigatura vengono raccolte ed inviate alla centrale termica.

VIGOLUNGO - PRODUZIONE PANNELLO VigoPlyL

Lavorazioni per 1 m³ di pannello 252x125 18 mm (9 strati)

Fase produttiva	Descrizione materiali	Quantità	Macchinari per la lavorazione			Altro
			Tipo	Tempo h	Energia kW/ MWh	
Deposito e divisione dei tronchi		t/kg				
		l				
		m ³				
Collaudo	Toppi basali di pioppo	1,882 t	Pala	0,006		0,002
			Caricatore	0,004		0,002
Scortecciatura	Toppi basali di pioppo	1,882 t	Pala	0,024		0,008
			Scortecciatrice	0,075	16 kW	
			Macinatore	0,075	120 kW	
Sfogliatura	Tronco scortecciato	1,732 t	Sfogliatrice +			Arrotondamento 26% Tondelli 11%
			Cippatrice	0,075	154 kW	
			Affilatrice	0,14	10 kW	
Essiccazione + selezione sfogliati	Sfolgiato	1,092 t	Essiccatore	0,075	320 kW	Perdite di peso per l'essiccazione Perdite da ritiro 5% Scarto 2% Scarti 30%
	Acqua osmotizzata	10 m ³				
	Vapore	1,427 t	Caldaia	0,075	1,31 MWh	
Giuntatura	Sfolgiato	0,014 t	Giuntatrice	0,26	10 kW	
	Adesivo UF	0,016 kg				
Incollaggio	Sfolgiato	0,42 t				
	Sfolgiato giuntato	0,014 t				
	Adesivo UF	90 kg /m ³				
Sbiancatura	Pannello composto	0,52 t	Sistema di pre-satura/incollaggio	0,5	50 kW	
	Acqua ossigenata	0,75 l				
Pressatura	Pannello composto	0,52 t	Caldaia	0,5	0,35 MWh	
	Vapore	0,38 t				
Stuccatura	Pannelli pressati	0,52 t				
	Stucco	0,56 kg				
Squadratura	Pannelli stuccati	0,521 t	Squadratrice	0,095	27 kW	Scarti 6%
Calibratura e levigatura	Pannelli squadrati	0,49 t	Levigatrice	0,113	10 kW	Pannelli scarto 1% Polveri 3%
	Carta vetro	0,014 fogli				
Imballaggio	Reggette metalliche	1,96 kg				
	Angolari plastici	0,03 kg				
	Travetti	1,26 kg				
	Cartone	0,45 kg				
	Pannello finiti	0,47 t*				

*Conversione a 1 m³

0,47 t di pannello finiti:

· 0,39 t di legno = 0,93 m³

· 0,09 t di colla = 0,07 m³

CONFINI DEL SISTEMA

Le lavorazioni considerate riguardano tutto il ciclo produttivo del pannello, partendo dall'arrivo dei tronchi in azienda, fino alla preparazione e l'imballaggio dei pannelli per essere inviato al destinatario.

In accordo con l'azienda delle due linee di lavorazione ne viene considerata una sola per facilitare bilancio energetico e produttivo.

Questo perché il pannello scelto per l'analisi, essendo un pannello "gigante", viene prodotto in quantità inferiori rispetto a dei pannelli standard e principalmente da una sola linea.

Per alcuni materiali, a causa di mancanza di dati, non è stato possibile specificare la composizione o l'azienda da cui viene distribuito. Verranno tenuti fuori dal confine del sistema, nonostante, come nel caso della carta vetro, l'impatto potrebbe essere rilevante.

Vengono tenuti in conto i sottoprodotti e gli "scarti"; non ne viene approfondito lo stoccaggio, l'imballaggio, la spedizione ai clienti interessati alla lavorazione o lo

smaltimento.

ANALISI DI INVENTARIO

L'analisi di inventario è la parte più importante di una LCA: lo scopo è quello di costituire un modello contenente dati oggettivi che esemplificano il più fedelmente possibile la produzione studiata. I dati e le informazioni devono essere raccolti in base al grado di dettaglio che si vuole raggiungere, devono essere accertati e affidabili: l'analisi di inventario risulta così essere importante per l'affidabilità dell'intera analisi LCA e permette di ottimizzare i tempi in tutte le fasi successive (Baldo *et al.*, 2008).

I dati possono essere suddivisi in due famiglie:

- Dati diretti: raccolti direttamente sul campo.
- Dati indiretti: dati derivati, ricavabili dalla letteratura e da banche dati. Nel caso cui venga effettuata la scelta dell'utilizzo di dati secondari è importante citare le fonti.

La fase successiva sarà quella di ordinare e distribuire i dati all'interno del mo-



Figura 7.1 - Confini del sistema

dello da noi creato, sviluppando così dei sotto-processi che permettano di schematizzare in modo più semplice gli input e gli output.

Per l'analisi di inventario e la raccolta dei dati in questa tesi, sia per la coltivazione che per la produzione del pannello di compensato, sono state predisposte delle schede: esse seguono in generale lo stesso schema, a cui vengono apportate delle modifiche in base ai dati reperiti.

Le schede sono state suddivise in due parti:

- Parte I - dati generali.
Vengono raccolti tutti i dati relativi a macchinari e sostanze utilizzati in tutto il ciclo di vita. Le informazioni sono specifiche, segnalando così tutti gli interventi di manutenzione, i consumi, le marche, le durate in azienda e le provenienze.
- Parte II - dati specifici dei sotto-processi.
In questa seconda parte vengono raccolte tutte le schede specifiche per ogni sotto-processo analizzato. Qui vi è la descrizione dell'intervento in cui vengono inseriti i dati specifici riguardanti questa fase di coltivazione/produzione: si crea così per ogni sotto-processo un processo a se stante in cui vengono specificati i dati di input, le lavorazioni e i conseguenti dati di output.

Le specifiche schede si possono trovare negli allegati (Allegato 2 - schede raccolta dati pannello in compensato di pioppo).

Una volta create le schede la fase successiva è stata quella di trasporre tutti i dati nel programma utilizzato: Sima Pro.

te di gestire e creare un modello con un gran numero di dati per poterne studiare e analizzare gli impatti sull'ambiente.

Al suo interno si trovano moltissime banche dati che permettono una modellazione accurata tramite codici già esistenti, che comprendono sia gli input che gli output di ogni processo.

In questa fase, con i dati diretti sotto mano, si sono creati dei codici corrispondenti alle lavorazioni necessarie per i modelli del pioppo in base ai dati già presenti su SimaPro.

Tipologia di dato	Descrizione, origine e scelte	Quantità
Mezzi per la movimentazione e la manutenzione	Comprende i muletti, le pale ed i caricatori utilizzati a supporto di tutte le lavorazioni dell'azienda. Dato diretto.	Muletti 1,13 h 28,53 kWh
	Il dato inputato riguarda i l di combustibile per pala e caricatore e le ore di lavoro per i muletti elettrici, per cui verranno calcolati i kWh necessari. Tutti i mezzi sono ricavati da un codice di SimaPro.	Pala e caricatore 0,033 h 0,011 l
Macchinari per le lavorazioni	Per ogni macchinario da lavorazione, quale scortecciatrice, sfogliatrice, levigatrice, essiccatore, vengono inputati i kWh utilizzati in base alle ore di lavorazione. Non vi sono dati su interventi di manutenzione. Dati diretti. L'energia elettrica è ricavata da un codice SimaPro, normalizzato per l'Italia.	1,28 h 77,48 kWh
Generatore di vapore saturo - Caldaia a biomassa	I dati per la caldaia a biomassa sono inerenti solo alla parte degli input: quantità di vapore prodotta e i MJ di energia primaria utili alla produzione. La biomassa non viene conteggiata nel ciclo produttivo generale in quanto sottoprodotto della stessa. È stata proporzionata l'acqua in ingresso per la produzione specifica. Per la composizione della caldaia è stato considerato un codice generico di SimaPro adattato alla situazione con i dati diretti forniti da Vigolungo. Per tanto l'elettricità necessaria e le emissioni sono dati indiretti.	24 h/gg 19 t/h di vapore 7 127 kg cippato 17,39 MJ
Legno in ingresso	I dati relativi al legno in ingresso in azienda vengono inputati direttamente dalla precedente analisi degli impatti ambientali svolta per questa tesi sulla coltivazione di 1 t di legno di pioppo. Viene considerato il trasporto dal CREA - Foreste e legno fino allo stabilimento di Vigolungo.	1,882 t 72,7 km
Adesivo	L'adesivo utilizzato è una ricetta composta per il 18% da acqua, 18% da farina e 64% da resina Urea-Formaldeide. Viene considerato il trasporto dall'azienda produttrice fino allo stabilimento di Vigolungo. Dato diretto. Per ogni materiale sono stati ricavati codici da SimaPro.	83,016 kg 240 km
Stucco	Lo stucco è una miscela in percentuale formata da 7% da Polimero, 35% carbonato di calcio, 15% cellulosa, 40% pigmenti, 2% acqua. Viene considerato il trasporto dall'azienda produttrice fino allo stabilimento di Vigolungo. Dato diretto. Per ogni materiale sono stati individuati codici da SimaPro.	0,56 kg 240 km
Acqua ossigenata	L'acqua ossigenata viene usata nel ciclo produttivo per lo sbiancamento delle superfici dei pannelli di compensato. Viene considerato il trasporto dall'azienda produttrice fino allo stabilimento di Vigolungo. Dato generico. Il materiale è ricavato da un codice di SimaPro.	0,75 l 184 km
Acqua osmotizzata	Informazioni mancanti.	10 m³
Carta Vetro	La carta vetro da produttore è composta da tela poliestere/cotone e corindone (abrasivo). Per mancanza di informazioni relative al peso verrà considerato il peso diretto di un rotolo di carta vetro generico. I dati relativi alla composizione sono dati diretti, viene creato un codice apposito su SimaPro.	0,1 m²
Lame per la sfogliatrice	Non viene considerato il trasporto dall'azienda produttiva allo stabilimento Vigolungo per mancanza di informazioni in merito. Dato diretto. Materiale composto da acciaio, ricavato da un codice di SimaPro.	0,0016 kg
Reggette metalliche	Materiale per l'imballaggio in acciaio. Dato diretto. Viene considerato il trasporto dall'azienda produttrice allo stabilimento Vigolungo. Il materiale è ricavato da un codice SimaPro.	1,96 kg 61 km
Angolari plastici	Materiale per l'imballaggio in plastica. Dato diretto. Viene considerato il trasporto dall'azienda produttrice allo stabilimento Vigolungo. Il materiale è ricavato da un codice SimaPro.	0,03 kg 123 km
Travetti	Nonostante i travetti siano uno scarto della stessa Vigolungo, per mancanza di dati, vengono considerati travetti in legno generici. Viene considerato il trasporto dall'azienda produttrice allo stabilimento Vigolungo. Il materiale è ricavato da un codice SimaPro.	1,26 kg 7 km
Cartone	Materiale per l'imballaggio. Dato diretto. Non viene considerato il trasporto dal produttore allo stabilimento Vigolungo per mancanza di dati. Il materiale è ricavato da un codice SimaPro.	0,45 kg -
Acqua	L'acqua per l'intera produzione è acqua da rubinetto. Viene considerato un codice generico di SimaPro normalizzato per l'Italia.	178 l

7.2 RISULTATI E DISCUSSIONE

Dall'analisi di sensibilità effettuata sulla coltivazione di pioppo, come illustrato nel capitolo precedente, sono state effettuate delle scelte attraverso un'allocazione economica del legno.

Dopo aver analizzato i valori di mercato massimi e minimi in rapporto a due diametri tra i più ricorrenti, sono state suddivise le percentuali di sfogliato effettivo in uscita da 1 ettaro totale di coltivazione.

Riassumendo brevemente i risultati, l'allocazione tenuta in considerazione per la creazione del codice "Pioppo" in ingresso nell'azienda produttrice del pannello di compensato, è ricavata da una media aritmetica tra i due diametri più comuni e il valore di mercato più alto e più basso dello sfogliato.

Vengono comunque confrontati i dati relativi ai casi migliori e peggiori ricavati dall'allocazione economica.

Le percentuali ottenute ed utilizzate per il legno in ingresso in azienda sono le seguenti:

Dati riassuntivi e scelta dell'allocazione per lo sfogliato I-214

	%	t/ha	€/t	€/ha	Impatti
Migliore	50	90	100	9 000	72,4%
Media	67	120,6	115	13 869	84,7%
Peggior	75	135	130	17 550	90,6%

Dati riassuntivi e scelta dell'allocazione per lo sfogliato MSA

	%	t/ha	€/t	€/ha	Impatti
Migliore	50	114,5	100	11 450	72,4%
Media	67	153,4	115	17 641	84,7%
Peggior	75	171,75	130	22 327,5	90,6%

Sequestro di carbonio per 1 m3 di compensato di pioppo.

Con il supporto della norma prEN 1644 è stata la quantità di CO₂ incorporata nel nostro pannello di compensato di pioppo.

Il valore si aggira intorno ai 743 kg/m³: questo valore potrà essere sottratto alle emissioni dovute al processo produttivo, bilanciando così gli indicatori di Global Warming Potential.

Di seguito sono riportati i risultati e gli eco-profilo relativi alla produzione di 1 m³ di compensato di pioppo partendo da un pioppeto con clone I-214 derivante da modello di coltivazione intensiva, clone MSA derivante da modello di coltivazione intensiva e clone MSA derivante da modello di coltivazione certificata PEFC.

ECOPROFILO - VigoPlyL con legno di pioppo I-214 da modello intensivo

Input

Energia e combustibile in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Elettricità	kWh	-	x	105,24
Gasolio	l	-	x	0,011
Biomassa	kg	x		679,8

Materiali in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Legno di pioppo	t	x		1,882
Adesivo UF	kg	-	x	83,016
Stucco	kg	-	x	0,56
Acqua ossigenata	l	-	x	0,75
Acqua osmotizzata	m ³	-	x	10
Lame per la sfogliatrice	kg	-	x	0,0016
Reggette metalliche	kg	-	x	1,96
Angolari plastici	kg	-	x	0,03
Travetti	kg	x	-	1,26
Cartone	kg	-	x	0,45
Acqua	kg	-	x	178 l

Output

	Unità	Totale
EPD (2013)		
Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	3,23
Eutrophication	kg PO4--- eq	0,61
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	382,56
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0,23
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	4,56E-05
Abiotic depletion (optional)	kg Sb eq	0,00055
CED		
Non renewable, fossil	MJ	5 796,49
Non-renewable, nuclear	MJ	516,59
Non-renewable, biomass	MJ	0,16
Renewable, biomass	MJ	90,4
Renewable, wind, solar, geother	MJ	114,18
Renewable, water	MJ	137,87

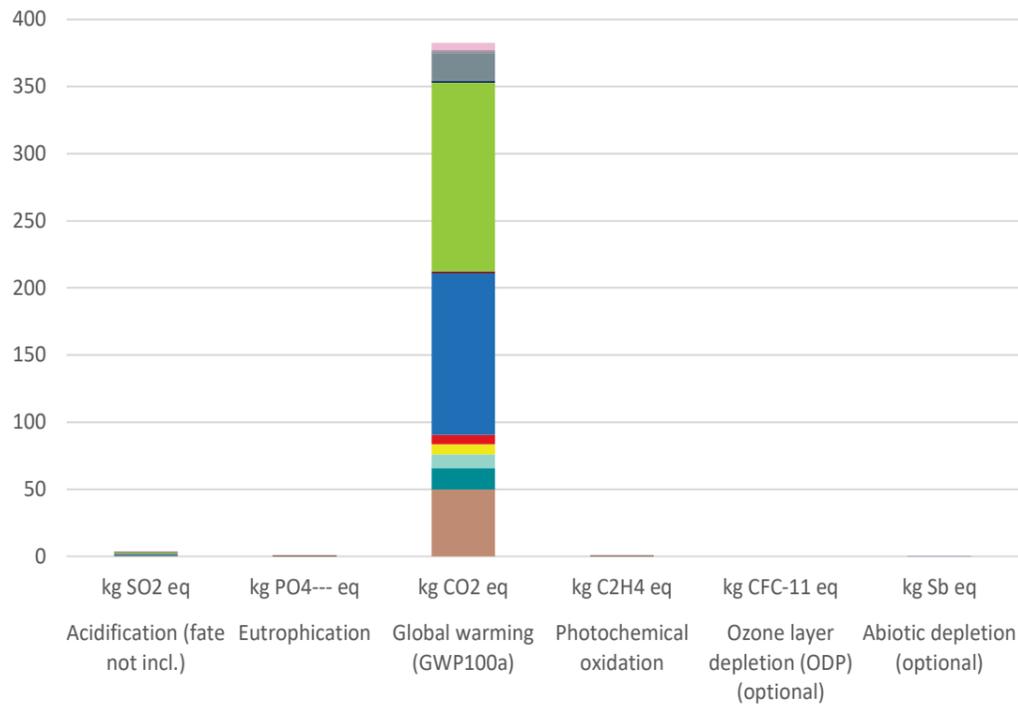


Grafico 7.1 - EPD (2013)
Valori per 1 m³ di compensaro VigoPly L

- Fasi di lavorazione
- Movimentazione
 - Legno di pioppo I-214
 - Deposito e divisione tronchi
 - Collaudo
 - Scortecciatura
 - Sfogliatura
 - Essiccazione e selezione
 - Giuntatura
 - Incollaggio e composizione
 - Sbiancatura
 - Pressatura
 - Stuccatura
 - Squadratura
 - Calibratura e levigatura
 - Imballaggio

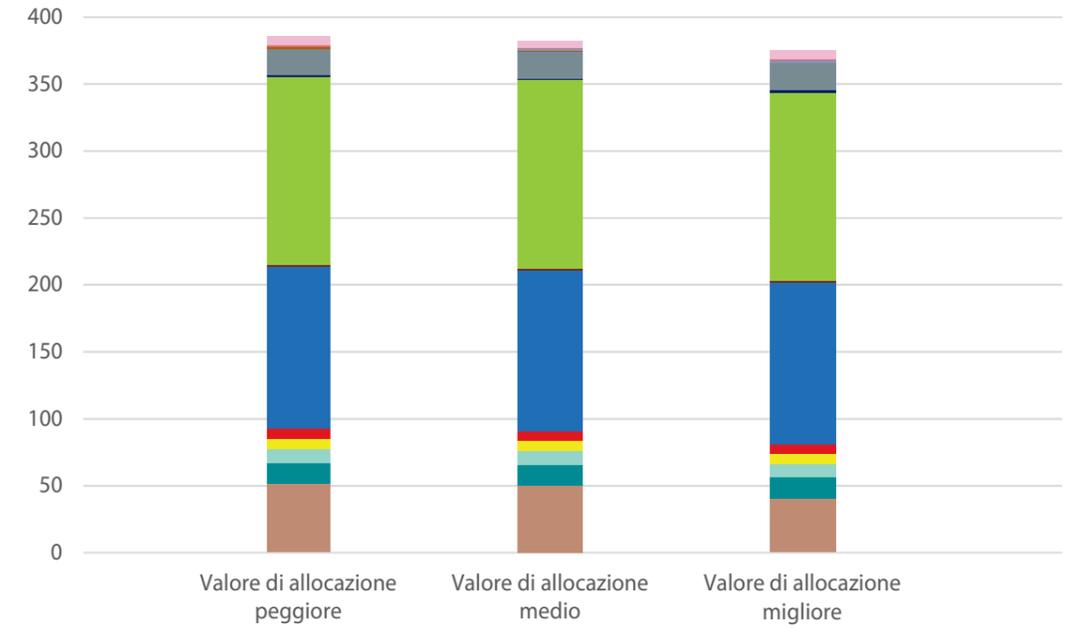


Grafico 7.2 - EDP Approfondimento GWP per categorie kg CO₂ eq
Valori per 1 m³ di compensaro VigoPly L su valori di allocazione

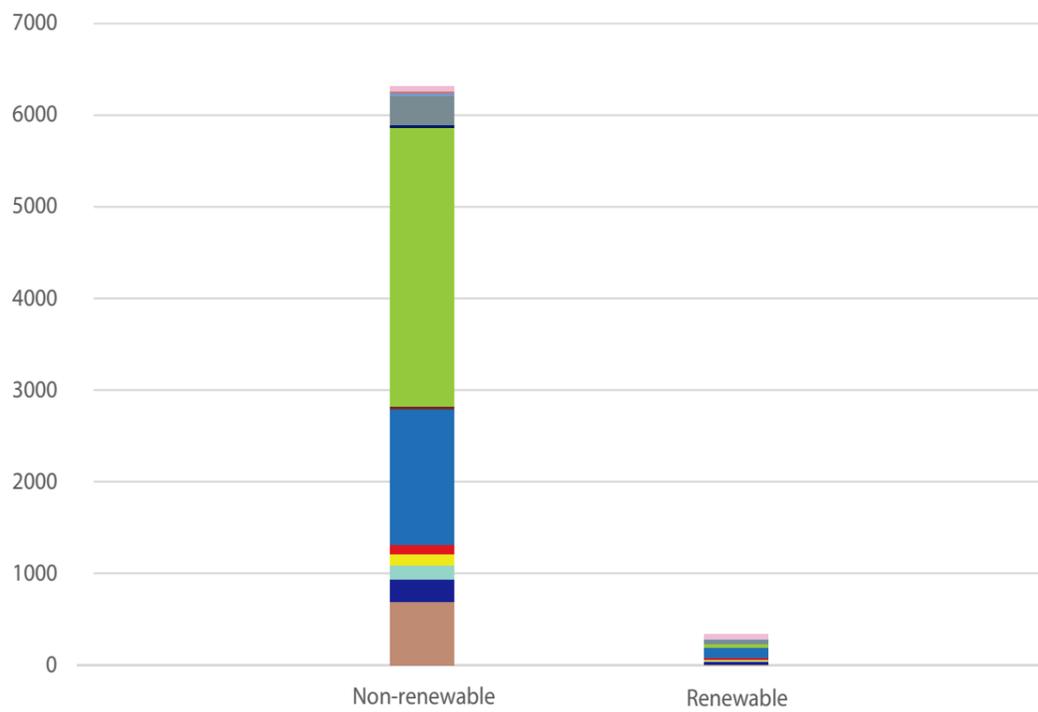


Grafico 7.3 - CED, MJ
Valori per 1 m³ di compensaro VigoPly L

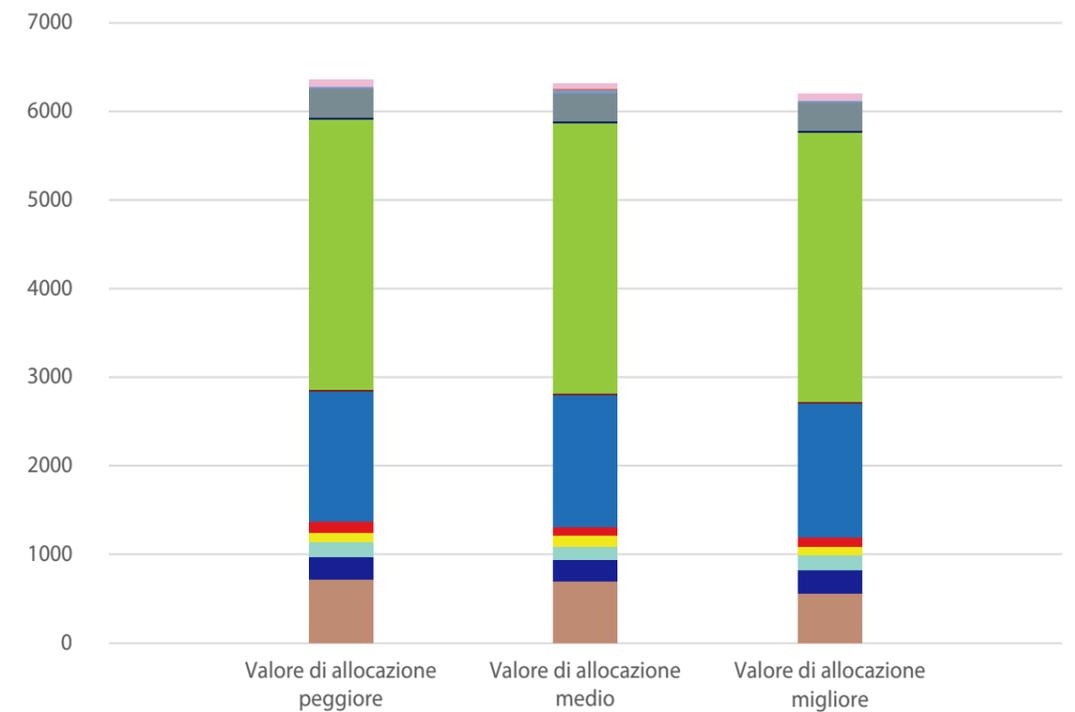


Grafico 7.4 - CED Approfondimento Non reewable per categorie, MJ
Valori per 1 m³ di compensaro VigoPly L su valori di allocazione

Con l'analisi degli impatti ambientali sono stati così rilevate le fasi produttive che più incidono sugli indicatori analizzati. In questo caso come materia prima abbiamo 1,882 t di pioppo I-214 proveniente da coltivazione intensiva.

- EPD 2013: l'indicatore che risulta essere più rilevante in questo studio tra tutti quelli analizzati dal metodo di analisi degli impatti ambientali è il GWP (Global Warming Potential). Spicca subito all'occhio che i processi produttivi in cui abbiamo maggiori emissioni di anidride carbonica in atmosfera sono la fase di Essiccazione e la fase di Incollaggio. Quest'ultima, la maggiore delle due, copre il 37% delle emissioni totali, con 140,5 kg CO₂ eq. Nel processo di incollaggio ricade proprio l'adesivo a base Urea-Formaldeide: infatti la sola colla raggiunge valori molto alti, arrivando a 137,8 kg CO₂ eq, coprendo quasi per intero le emissioni legate alla fase di incollaggio. L'Essiccazione copre il 31,5% delle emissioni totali di tutto il processo con 120,5 kg CO₂ eq. Il macchinario per la lavorazione specifica risulta quello che richiede più energia elettrica dell'intera catena produttiva, sommata al calore richiesto dalla caldaia per la produzione di vapore saturo da far entrare nell'essiccatore in modo da abbassare l'umidità degli sfogliati. Inoltre vi è l'utilizzo di acqua de-ionizzata, che risulta avere un grosso impatto, registrando l'emissione di 85 kg CO₂ eq. Anche se con valori di gan lunga inferiori ai sopracitati, importante risulta essere la fase di coltivazione che copre la terza parte maggiore degli impatti, con il 13% (49,87 kg CO₂ eq).

- CED: dalla comparazione tra l'energia incorporata non rinnovabile e rinnovabile si nota che l'utilizzo della biomassa nella caldaia alza i livelli dell'indicatore CED Renewable, dove la fase di Essiccazione e Pressatura (in cui principale elemento in ingresso risulta essere il vapore) rappresentano poco meno del 100% del totale (342,5 MJ). Per quanto riguarda l'utilizzo di risorse non rinnovabili l'Incollaggio e l'Essiccazione risultano comunque essere le protagoniste coprendo rispettivamente il 48% (3035,22 MJ) ed il 23% (1482,5 MJ) degli impatti totali. Il contenuto di energia primaria della colla copre il 100% circa degli impatti nella fase di incollaggio, che da sola raggiunge circa i 2993,26 MJ. Sempre meno importante ma comunque più rilevante risulta essere l'utilizzo della materia prima legno, che si porta dalla coltivazione impatti che incidono per l'11% (717 MJ) sul totale del consumo di energia primaria non rinnovabile).

Per entrambi gli indicatori le differenze riscontrate nei diversi tipi di allocazione sono minime e di stesso valore:

- Allocazione peggiore alza gli impatti dell'1%
- Allocazione migliore abbassa gli impatti del 2%

ECOPROFILO - VigoPlyL con legno di pioppo MSA da modello intensivo

Input

Energia e combustibile in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Elettricità	kWh	-	x	105,24
Gasolio	l	-	x	0,011
Biomassa	kg	x		679,8

Materiali in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Legno di pioppo	t	x		1,882
Adesivo UF	kg	-	x	83,016
Stucco	kg	-	x	0,56
Acqua ossigenata	l	-	x	0,75
Acqua osmotizzata	m ³	-	x	10
Lame per la sfogliatrice	kg	-	x	0,0016
Reggette metalliche	kg	-	x	1,96
Angolari plastici	kg	-	x	0,03
Travetti	kg	x	-	1,26
Cartone	kg	-	x	0,45
Acqua	kg	-	x	178 l

Output

	Unità	Totale
EPD (2013)		
Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	3,12
Eutrophication	kg PO4--- eq	0,59
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	367,85
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0,23
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	4,38E-05
Abiotic depletion (optional)	kg Sb eq	0,00031
CED		
Non renewable, fossil	MJ	5 587,99
Non-renewable, nuclear	MJ	514,63
Non-renewable, biomass	MJ	0,15
Renewable, biomass	MJ	90,19
Renewable, wind, solar, geother	MJ	113,95
Renewable, water	MJ	137,22

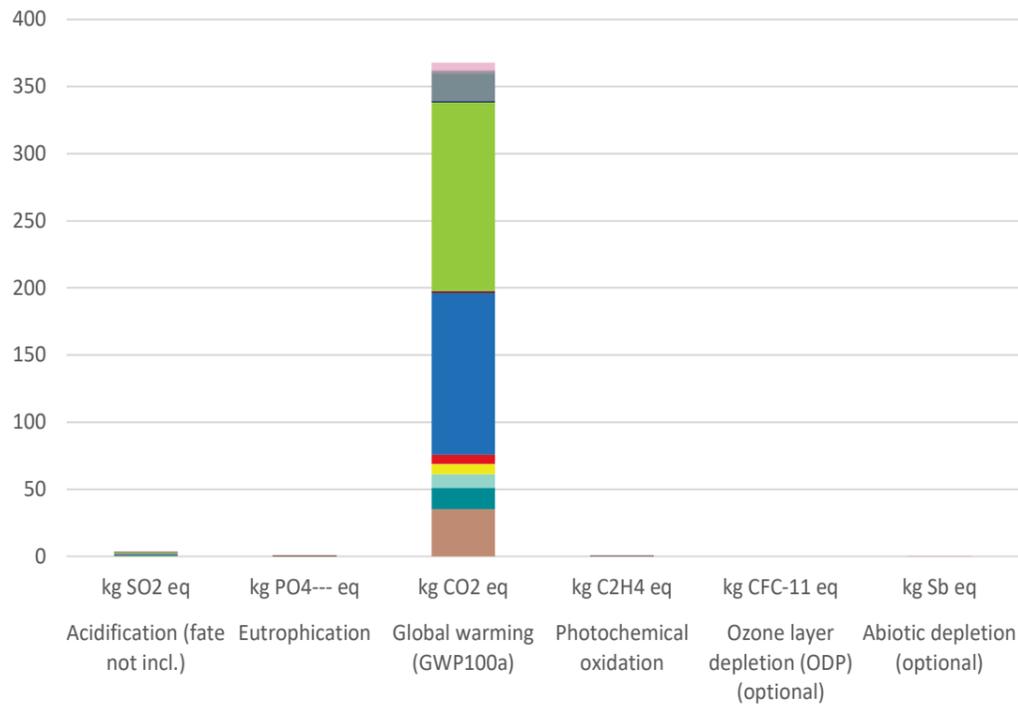


Grafico 7.5 - EPD (2013)
Valori per 1 m³ di compensaro VigoPly L

- Fasi di lavorazione
- Movimentazione
 - Legno di pioppo MSA
 - Deposito e divisione tronchi
 - Collaudo
 - Scortecciatura
 - Sfogliatura
 - Essiccazione e selezione
 - Giuntatura
 - Incollaggio e composizione
 - Sbiancatura
 - Pressatura
 - Stuccatura
 - Squadratura
 - Calibratura e levigatura
 - Imballaggio

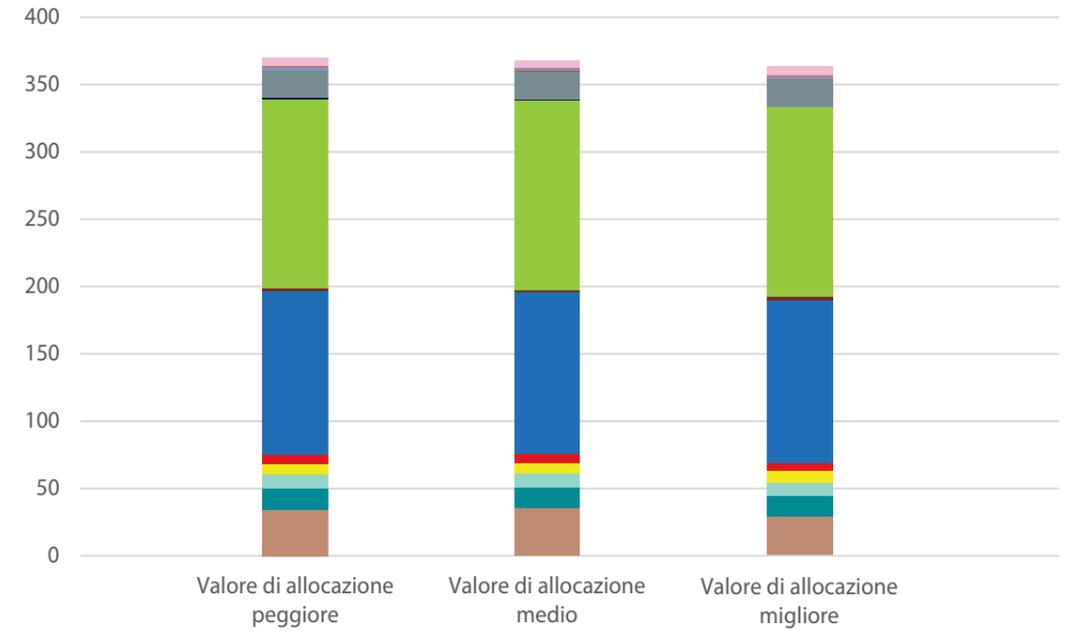


Grafico 7.6 - EDP Approfondimento GWP per categorie kg CO₂ eq
Valori per 1 m³ di compensaro VigoPly L su valori di allocazione

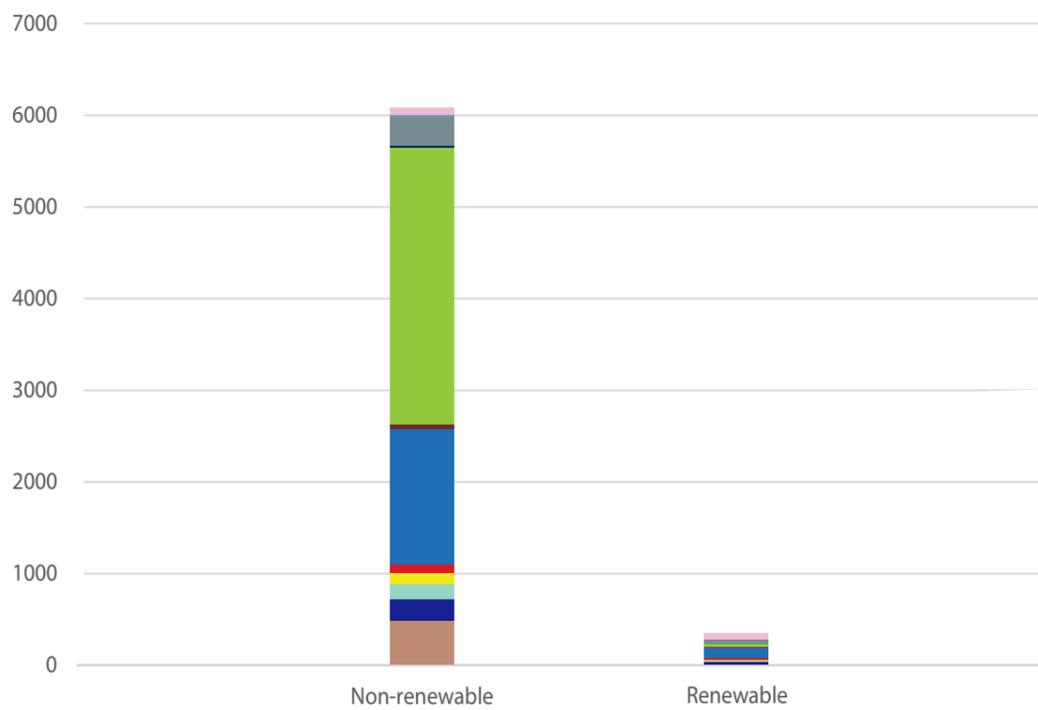


Grafico 7.7 - CED, MJ
Valori per 1 m³ di compensaro VigoPly L

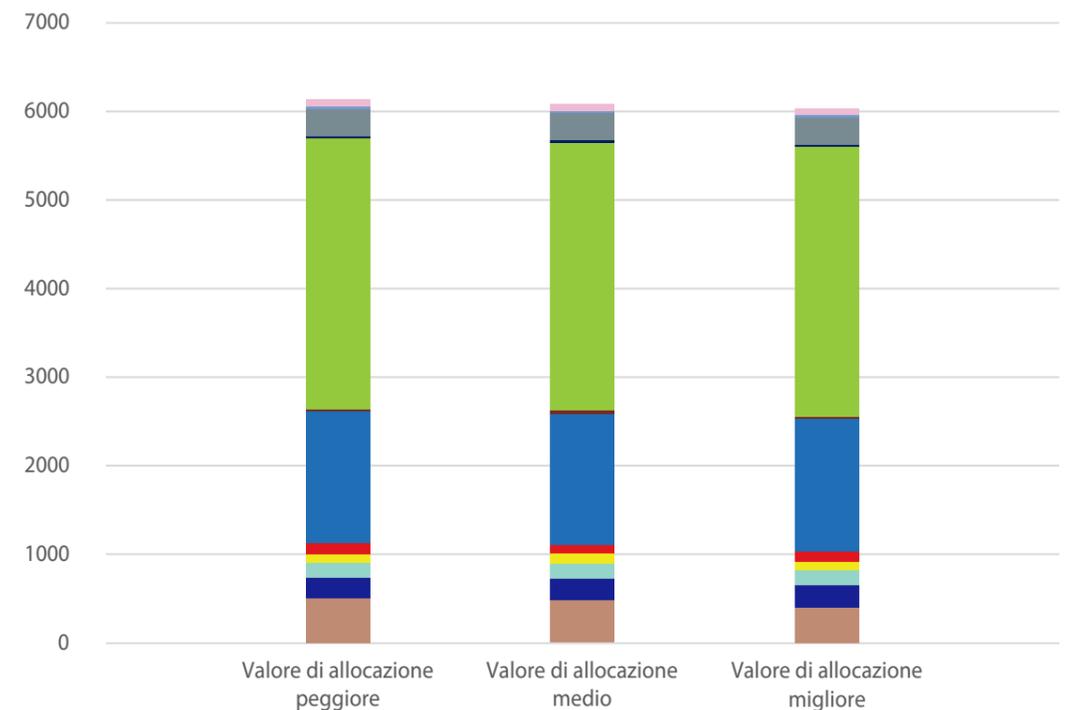


Grafico 7.8 - CED Approfondimento Non reewable per categorie, MJ
Valori per 1 m³ di compensaro VigoPly L su valori di allocazione

Con l'analisi degli impatti ambientali sono stati così rilevate le fasi produttive che più incidono sugli indicatori analizzati. In questo caso come materia prima abbiamo 1,882 t di pioppo I-214 proveniente da coltivazione intensiva.

• EPD 2013: l'indicatore che risulta essere più rilevante tra tutti quelli analizzati dal metodo di analisi degli impatti ambientali è il GWP (Global Warming Potential).

Spicca subito all'occhio che i processi produttivi in cui abbiamo maggiori emissioni di anidride carbonica in atmosfera sono la fase di Essiccazione e la fase di Incollaggio.

Quest'ultima, la maggiore delle due, copre il 38% delle emissioni totali, con 140,5 kg CO₂ eq.

Nel processo di incollaggio ricade proprio l'adesivo a base Urea-Formaldeide: infatti la sola colla raggiunge valori molto alti, arrivando a 137,8 kg CO₂ eq, coprendo quasi per intero le emissioni legate alla fase di incollaggio.

L'Essiccazione copre il 33% delle emissioni totali di tutto il processo con 120,5 kg CO₂ eq. Il macchinario per la lavorazione specifica risulta quello che richiede più energia elettrica dell'intera catena produttiva, sommata al calore richiesto dalla caldaia per la produzione di vapore saturo da far entrare nell'essiccatore in modo da abbassare l'umidità degli sfogliati. Inoltre vi è l'utilizzo di acqua de-ionizzata, che risulta avere un grosso impatto, che risulta avere un grosso impatto, registrando l'emissione di 85 kg CO₂ eq. Anche se con valori di gran lunga inferiori ai sopracitati, importante risulta essere la fase di coltivazione che copre la terza parte maggiore degli impatti, con il 9,5% (35,15 kg CO₂ eq).

• CED: dalla comparazione tra l'energia incorporata non rinnovabile e rinnovabile si nota che l'utilizzo della biomassa nella caldaia alza i livelli dell'indicatore CED Renewable, dove la fase di Essiccazione e Pressatura (in cui principale elemento in ingresso risulta essere il vapore) rappresentano poco meno del 100% del totale (341,37 MJ).

Per quanto riguarda l'utilizzo di risorse non rinnovabili l'Incollaggio e l'Essiccazione risultano comunque essere le protagoniste coprendo rispettivamente il 50% (3035,22 MJ) ed il 24% (1482,5 MJ) degli impatti totali.

Il contenuto di energia primaria della colla copre il 100% circa degli impatti nella fase di incollaggio, che da sola raggiunge circa i 2993,26 MJ.

Sempre meno importante ma comunque più rilevante risulta essere l'utilizzo della materia prima legno, che si porta dalla coltivazione impatti che incidono per l'8% (506,62 MJ) sul totale del consumo di energia primaria non rinnovabile).

Per entrambi gli indicatori le differenze riscontrate nei diversi tipi di allocazione sono minime e di stesso valore:

- Allocazione peggiore alza gli impatti dell'1%
- Allocazione migliore abbassa gli impatti del 1%

ECOPROFILO - VigoPlyL con legno di pioppo MSA da modello certificato PEFC

Input

Energia e combustibile in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Elettricità	kWh	-	x	105,24
Gasolio	l	-	x	0,011
Biomassa	kg	x		679,8

Materiali in ingresso

	Unità	Rinnovabile	Non-Rinnovabile	Totale
Legno di pioppo	t	x		1,882
Adesivo UF	kg	-	x	83,016
Stucco	kg	-	x	0,56
Acqua ossigenata	l	-	x	0,75
Acqua osmotizzata	m ³	-	x	10
Lame per la sfogliatrice	kg	-	x	0,0016
Reggette metalliche	kg	-	x	1,96
Angolari plastici	kg	-	x	0,03
Travetti	kg	x	-	1,26
Cartone	kg	-	x	0,45
Acqua	kg	-	x	178 l

Output

	Unità	Totale
EPD (2013)		
Acidification (fate not incl.)	kg SO2 eq	3,07
Eutrophication	kg PO4--- eq	0,57
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	359,39
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0,23
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	4,4E-05
Abiotic depletion (optional)	kg Sb eq	0,0011
CED		
Non renewable, fossil	MJ	5 470,95
Non-renewable, nuclear	MJ	513,43
Non-renewable, biomass	MJ	0,15
Renewable, biomass	MJ	90,13
Renewable, wind, solar, geother	MJ	113,87
Renewable, water	MJ	137,01

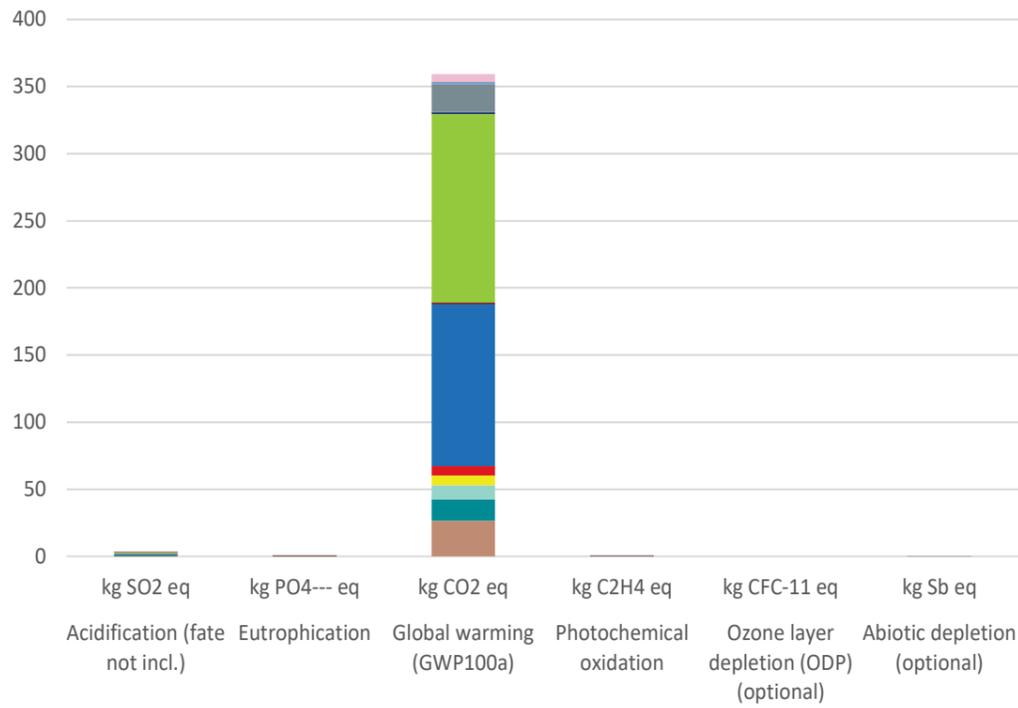


Grafico 7.9 - EPD (2013)
Valori per 1 m³ di compensaro VigoPly L

- Fasi di lavorazione
- Movimentazione
 - Legno di pioppo MSA
 - Deposito e divisione tronchi
 - Collaudo
 - Scortecciatura
 - Sfogliatura
 - Essiccazione e selezione
 - Giuntatura
 - Incollaggio e composizione
 - Sbiancatura
 - Pressatura
 - Stuccatura
 - Squadratura
 - Calibratura e levigatura
 - Imballaggio

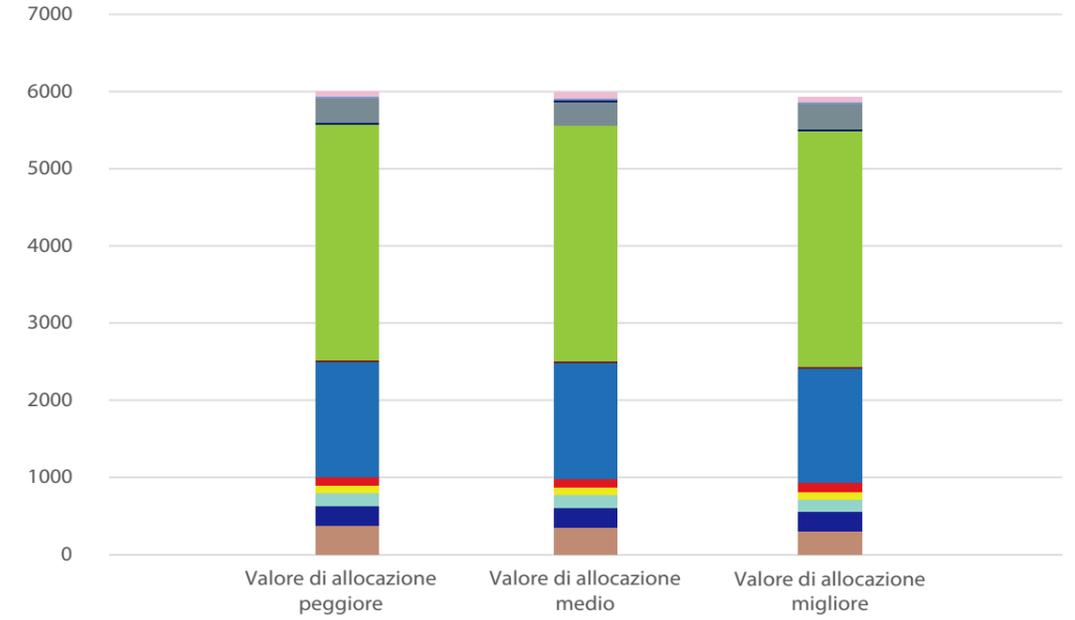


Grafico 7.10 - EDP Approfondimento GWP per categorie kg CO₂ eq
Valori per 1 m³ di compensaro VigoPly L su valori di allocazione

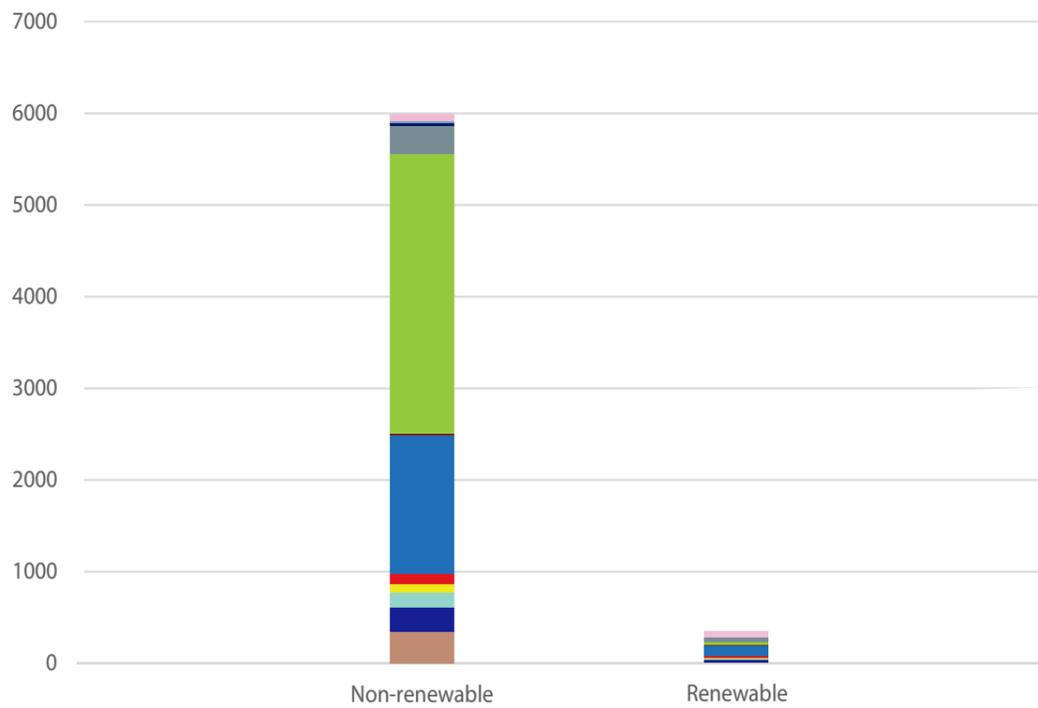


Grafico 7.11 - CED, MJ
Valori per 1 m³ di compensaro VigoPly L

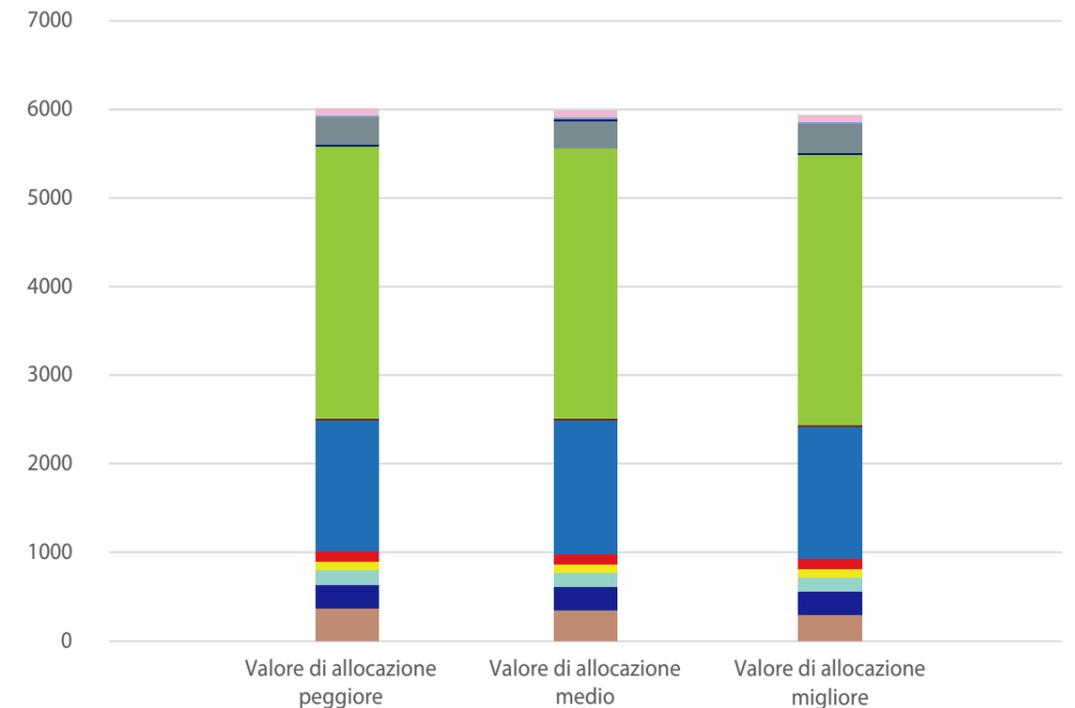


Grafico 7.12 - CED Approfondimento Non reewable per categorie, MJ
Valori per 1 m³ di compensaro VigoPly L su valori di allocazione

Con l'analisi degli impatti ambientali sono stati così rilevate le fasi produttive che più incidono sugli indicatori analizzati. In questo caso come materia prima abbiamo 1,882 t di pioppo I-214 proveniente da coltivazione intensiva.

• EPD 2013: l'indicatore che risulta essere più rilevante tra tutti quelli analizzati dal metodo di analisi degli impatti ambientali è il GWP (Global Warming Potential).

Spicca subito all'occhio che i processi produttivi in cui abbiamo maggiori emissioni di anidride carbonica in atmosfera sono la fase di Essiccazione e la fase di Incollaggio.

Quest'ultima, la maggiore delle due, copre il 39% delle emissioni totali, con 140,5 kg CO₂ eq.

Nel processo di incollaggio ricade proprio l'adesivo a base Urea-Formaldeide: infatti la sola colla raggiunge valori molto alti, arrivando a 137,8 kg CO₂ eq, coprendo quasi per intero le emissioni legate alla fase di incollaggio.

L'Essiccazione copre il 33,5% delle emissioni totali di tutto il processo con 120,5 kg CO₂ eq. Il macchinario per la lavorazione specifica risulta quello che richiede più energia elettrica dell'intera catena produttiva, sommata al calore richiesto dalla caldaia per la produzione di vapore saturo da far entrare nell'essiccatore in modo da abbassare l'umidità degli sfogliati. Inoltre vi è l'utilizzo di acqua de-ionizzata che risulta avere un grosso impatto, registrando l'emissione di 85 kg CO₂ eq. Anche se con valori di gan lunga inferiori ai sopracitati, importante risulta essere la fase di coltivazione che copre la terza parte maggiore degli impatti, con il 7,5% (26,7 kg CO₂ eq).

• CED: dalla comparazione tra l'e-

nergia incorporata non rinnovabile e rinnovabile si nota che l'utilizzo della biomassa nella caldaia alza i livelli dell'indicatore CED Renewable, dove la fase di Essiccazione e Pressatura (in cui principale elemento in ingresso risulta essere il vapore) rappresentano poco meno del 100% del totale (341,02 MJ).

Per quanto riguarda l'utilizzo di risorse non rinnovabili l'Incollaggio e l'Essiccazione risultano comunque essere le protagoniste coprendo rispettivamente il 51% (3035,21 MJ) ed il 25% (1482,5 MJ) degli impatti totali.

Il contenuto di energia primaria della colla copre il 100% circa degli impatti nella fase di incollaggio, che da sola raggiunge circa i 2993,26 MJ.

Sempre meno importante ma comunque più rilevante risulta essere l'utilizzo della materia prima legno, che si porta dalla coltivazione impatti che incidono per l'6% (388,37 MJ) sul totale del consumo di energia primaria non rinnovabile).

Per entrambi gli indicatori le differenze riscontrate nei diversi tipi di allocazione sono minime e di stesso valore:

- Allocazione peggiore alza gli impatti dell'1%
- Allocazione migliore abbassa gli impatti del 1%

Sequestro di carbonio del pannello.
In accordo con la prEN 16449:2012, è stato effettuato il calcolo della CO₂ incorporata in 1 m³ di pannello di compensato di pioppo VigoPly L: si aggira intorno a 743 kg/m³ di CO₂ incorporata.

L'anidride carbonica sequestrata da 1 m³ di pannello annulla le emissioni date dalla sua produzione, portando ad un bilancio negativo per quanto riguarda l'indicatore Global Warming Potential calcolato con il metodo EPD 2013.

Considerando la comparazione tra le produzioni in cui abbiamo la variazione di materia prima in base al modello colturale abbiamo tre casi [Grafico 7.13]:

- Produzione con clone I-214:
GWP kg CO₂ eq 382,5
CO₂ sequestrata 743 kg/m³
TOT bilancio CO₂ -362 kg CO₂ eq
- Produzione con clone MSA:
GWP kg CO₂ eq 366,27
CO₂ sequestrata 743 kg/m³
TOT bilancio CO₂ -376,3 kg CO₂ eq

- Produzione con clone MSA certificato PEFC:
GWP kg CO₂ eq 359,34
CO₂ sequestrata 743 kg/m³
TOT bilancio CO₂ -383,66 kg CO₂ eq

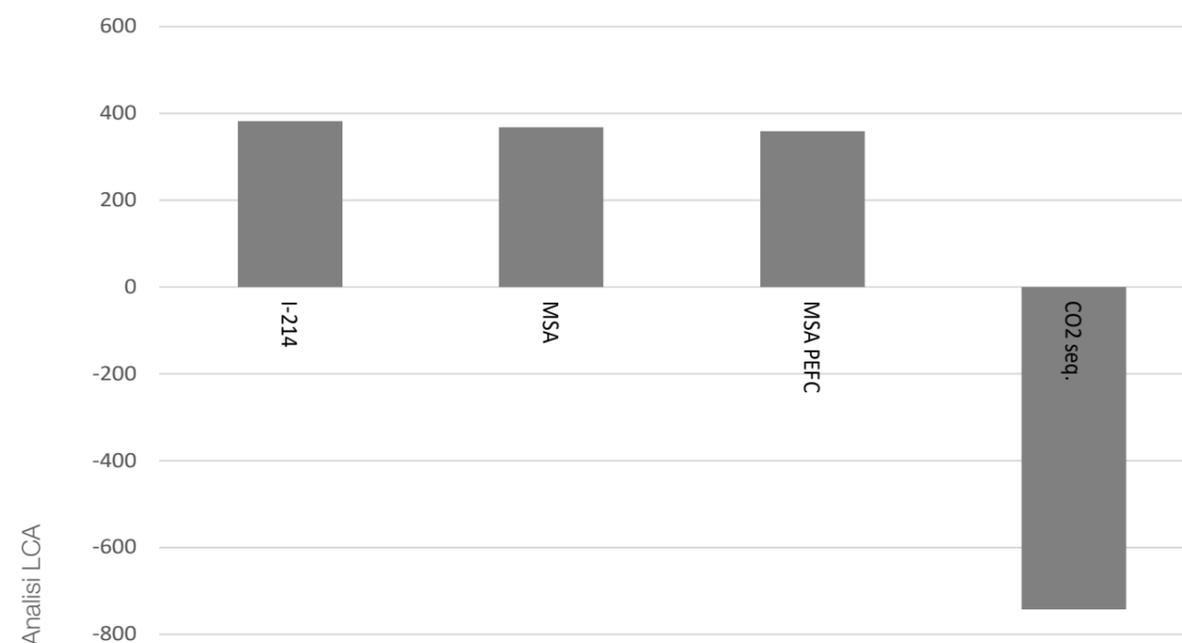


Grafico 7.13 - Sequestro di CO₂ in kg per 1 m³ di pannelli VigoPly L

7.3 ANALISI DI SENSIBILITÀ

Analisi sugli adesivi

Come appurato dai risultati conseguiti l'adesivo utilizzato a base Urea Formaldeide risulta essere il tra i materiali e l'energia l'elemento più impattante per i due metodi di calcolo EPD e CED per la frazione non rinnovabile.

Per questo è stata ipotizzata un'analisi di sensibilità.

Lo scopo è quello di analizzare l'adesivo da due punti di vista: sia ipotizzando una variazione delle quantità in base ad una ricerca su altre aziende produttive, sia di ipotizzare una variazione nei componenti, ipotizzando l'utilizzo di diversi tipi di resine.

Diminuzione dei kg di adesivo.

Comparazione utilizzo di adesivi in diverse aziende produttive per 1 m ³				
	Tipo di adesivo	Spessore mm	Strati n	Adesivo kg
Vigolungo	UF	18	9	83
American Wood Council	PF	9,5	-	11,7
Wood Solution Plywood	PF	15	-	53,3
Panguaneta	UF	15,5	9	102,5

Come possiamo notare la quantità di colla utilizzata da diversi produttori non sempre raggiunge i valori dell'azienda Vigolungo.

Vigolungo e Panguaneti utilizzano per la produzione di 1 m³ da spessore più o meno simile, in legno di pioppo, intonro agli 80-83 kg di colla.

Mentre nello studio dell'American Wood Council per 1 m³ di pannelli con spessore ridotto di quello in questo studio analizzato utilizza 10 kg di colla circa: l'88% in meno di quella utilizzata da Vigolungo. L'associazione australiana per 1 m³ da 17 mm, più o meno spessore del Vigo-Ply L, utilizza 44 kg.

I dati Americani e Australiani sono relativi a due resine differenti dall'Urea-Formaldeide: viene infatti utilizzata una resina a base di Fenolo e Formaldeide.

Ipotizzando una media che possa essere il più veritiera possibile, come ad esempio di abbassare la quantità di adesivo totale del 20%, quindi arrivando ad inserire per 1 m³ di pannelli finiti 66,4 kg, otterremmo i seguenti risultati:

EPD 2013 - variazione del 20% adesivo UF

	Unità	Totale Impatti UF	Totale Impatti -20% UF
Acidification (fate not incl.)	kg SO ₂ eq	3,23	3,02
Eutrophication	kg PO ₄ - -- eq	0,61	0,58
Global warming (GWP100a)	kg CO ₂ eq	382,51	354,95
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	0,23	0,21
Ozone layer depletion (ODP) (optional)	kg CFC- 11 eq	4,6E-05	4,22E-05
Abiotic depletion (optional)	kg Sb eq	0,0005	0,0005

CED - variazione del 20% adesivo UF

	Unità	Totale Impatti UF	Totale Impatti -20% UF
Non renewable, fossil	MJ	5796,49	5209,101
Non-renewable, nuclear	MJ	516,59	505,33
Non-renewable, biomass	MJ	0,15	0,15
Renewable, biomass	MJ	90,4	87,46
Renewable, wind, solar, geother	MJ	114,17	113,41
Renewable, water	MJ	137,89	134,47

Come possiamo notare, tenendo in considerazione la produzione di 1 m³ di compensato VigoPly L con materia prima proveniente da pioppeto modello intensivo I-214, le differenze non sono alte. Con la diminuzione dell'adesivo del 20% gli impatti ambientali, in generale sia per il metodo EPD che CED, si abbassano .143

rispettivamente del 7% e del 10%.
 Con la diminuzione del 20% si potrebbe ipotizzare una filiera talmente efficiente da riuscire a ridurre gli sprechi. Ma riducendo gli sprechi si possono abbassare in effetti gli impatti ambientali? Solo agendo sul controllo di questi potrei avere una diminuzione degli impatti dell'8%. Per riuscire a ridurre drasticamente gli impatti ambientali relativi all'uso dell'adesivo bisognerebbe abbassare di più le quantità presenti nel pannello, a discapito però di proprietà fisiche e meccaniche. L'alternativa migliore sarebbe quella di testare nuove tipologie di resine.

Sostituzione della resina.

Da alcune prove con SimaPro e da analisi bibliografiche è emerso che l'Urea Formaldeide risulta essere, per quanto riguarda gli impatti ambientali, soprattutto per l'indicatore GWP, tra le peggiori in commercio.

GWP per diversi tipi di colle

	Unità per 100% solida	kg CO ₂ eq	Reperimento dati
UF	1 kg	2,48	SimaPro
UF	1 kg	2,47	Wilson J.B.
MUF	1 kg	1,61	SimaPro
MUF	1 kg	2,96	Wilson J.B.
PF	1 kg	2,78	Wilson J.B.
PRF	1 kg	2,32	Wilson J.B.
PUR	1 kg	4,26	SimaPro

I dati che vengono analizzati nell'articolo di Wilson J.B. "Life-Cycle Inventory Of Formaldehyde-Based resins used in wood composites in terms of resources, emissions, energy and carbon", del 2009, sono dati molto accurati per quanto riguarda le varie tipologie di resine. Analizza le emissioni date da 1 kg di resina 100% solida: i dati provenienti principalmente dalla banca dati Ecoinvent v3 di SimaPro relativi ad altre resine, spesso non dichiarano lo stato della resina o l'utilizzo.

Possiamo vedere che le emissioni per quanto riguarda UF sono abbastanza in linea con le analisi condotte da Wilson, mentre per altre resine presenti in entrambi gli studi, come la MUF, i valori sono completamente diversi tra loro, dove secondo le banche dati SimaPro, una resina Melammmina-Urea-Formaldeide riduce gli impatti del 50% circa.

Le migliori in termini di emissioni di CO₂ in atmosfera calcolando il GWP risultano essere l'Urea-Formaldeide (UF) e la Fenorlo-Resorcinolo-Formaldeide (PRF) che registra i valori più bassi per 1 kg di adesivo utilizzato, abbassando gli impatti del 7% circa.

Sicuramente le emissioni che riguardano le colle per pannelli e prodotti a base legno sono date dalla produzione delle sostanze chimiche, che, più o meno, si aggirano intorno agli stessi valori, in quanto i processi sono altamente onerosi in termini di energia e sostanze utilizzate.

Potrebbe essere una buona alternativa l'utilizzo di bio-adesivi.

Gli adesivi teorici analizzati da James E. McDevitt e Warren J. Grigsby, sono composti da proteina di mais, lignina, soda caustica, acido acetico, tannino (estratto vegetale), proteine di soia e acqua: tutti o quasi tutti i componenti sono di derivazione vegetale.

In questa analisi vengono comparati con il metodo Ecoindicator99 gli impatti derivati dalla produzione, in Nuova Zelanda, di 1 m³ di pannelli in fibra di legno a media densità prodotti con bio-adesivi e adesivi petrolchimici. I risultati sono molto positivi: l'utilizzo di combustibile fossile diminuisce del 39% in quanto viene utilizzata una piccola quantità di petrolio per la sua produzione, l'indicatore per il cambiamento climatico riduce del 9% gli impatti in quanto vi è minore trasporto

di materiale, abbiamo un calo del 40% sul consumo delle risorse con l'utilizzo di bio-adesivi ma un aumento del 59% per quanto riguarda l'impatto sulla qualità dell'ecosistema (ovviamente dato dai materiali vegetali e dalle lavorazioni per ottenerlo).

In totale il bio-adesivo registra una diminuzione degli impatti del 22% (McDevitt *et al.*, 2014).

Purtroppo a causa di mancanza di dati certi e di codici creati ad hoc sul software di calcolo non si è potuta sviluppare un'analisi di sensibilità veritiera e precisa: ma basandoci su questi dati potremmo ipotizzare che il nostro indicatore sul GWP diminuisca del 10% circa e che CED per la frazione Non-Renewable fossil diminuisca del 39%, ottenendo i seguenti risultati su un pannello di VigoPly L con materia prima da pioppeto modello intensivo con clone I-214:

EPD 2013 - variazione del 20% adesivo UF

	Unità	Totale Impatti UF	Totale Impatti -20% UF
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	382,51	343,51

CED - variazione del 20% adesivo UF

	Unità	Totale Impatti UF	Totale Impatti -20% UF
Non renewable, fossil	MJ	5796,49	3535,89

Analisi sul fabbisogno elettrico.

L'energia richiesta per tutto il ciclo di produzione, per il completo funzionamento di macchinari e mezzi di movimentazione (quali i muletti) è principalmente l'elettricità. Oggi l'azienda si attacca alla linea comunale.

Pensando però di fornire tutta l'elettricità tramite fotovoltaico, posto ad esempio sulla copertura del capannone industriale, si potrebbero abbassare gli impatto ambientali.

Con il supporto della banca dati Ecoinvent v3 è stato sostituito il codice dell'elettricità con uno esistente relativo a produzione di elettricità da fotovoltaico in Italia.

	IPCC - elettricità da fotovoltaico per 1 m ³
	kg CO ₂ eq
Attacco alla rete comunale	61,8
Fotovoltaico	0,0002
	CED, Non Renewable - elettricità da fotovoltaico per 1 m ³
	MJ
Attacco alla rete comunale	875,7
Fotovoltaico	0,003
	CED, Renewable - elettricità da fotovoltaico per 1 m ³
	MJ
Attacco alla rete comunale	69,8
Fotovoltaico	400,3

Come verificato l'utilizzo di un impianto fotovoltaico abbasserebbe sotto lo zero le emissioni di CO₂ in atmosfera, annullando gli impatti relativi all'utilizzo di energia da parte dei macchinari aziendali per la produzione di 1 m³ di compensato VigoPly L.

Abbasserebbe di conseguenza l'indicatore CED per quanto riguarda le risorse non rinnovabili alzando l'utilizzo delle risorse rinnovabili.

7.4 NOTE CONCLUSIVE

Con la pubblicazione delle IPP (Politiche Ambientali del Prodotto) in Italia, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha elaborato il "Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della pubblica amministrazione" (PAN GPP), che "definisce obiettivi nazionali, identifica le categorie di beni, servizi e lavori di intervento prioritarie per gli impatti ambientali e i volumi di spesa". Sono stati definiti dei 'Criteri Ambientali Minimi' (CAM) (COM, 2003) per le varie fasi del processo di acquisto, volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore dal punto di vista dell'eco-sostenibilità. Nella sezione "Edilizia" sono raccolti i "Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori di nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici". Questo documento ha lo scopo di regolamentare la fornitura di materiali e componenti per l'edilizia che siano il più possibile eco-compatibili (Green Public Procurement), richiedendo per quasi tutti i prodotti, materiali e componenti una certificazione ambientale di prodotto.

Esistono tre tipi di certificazione di prodotti regolate dalla ISO:

le certificazioni di Tipo I (ISO 14024) Environmental Labels, uno strumento volontario, che deriva dai sistemi multicriterio, che richiede l'intervento di un organismo indipendente di certificazione e che consente al consumatore di riconoscere il rispetto dell'ambiente da parte del prodotto (come ad esempio l'Ecolabel);

le certificazioni di Tipo II (ISO 14021), è un'auto-dichiarazione ambientale volontaria da parte di produttori, importatori o distributori di prodotti, che non richiede l'intervento di un organismo indipendente di certificazione (ad esempi i marchi:

riciclabile o biodegradabile);
le certificazioni di Tipo III (ISO 14025) Environmental Product Declaration (EPD): la dichiarazione ambientale di prodotto è basata sulla quantificazione degli impatti ambientali associati al ciclo di vita del prodotto secondo un'analisi LCA. Fornisce un documento tecnico-informativo che garantisce la trasparenza, la coerenza e la solidità scientifica della metodologia, ma non fornisce una valutazione e non impone soglie da superare. Prevede il rispetto di un formato nella comunicazione dei dati che faciliti il confronto fra diversi prodotti della stessa categoria, come ad esempio il cemento, il calcestruzzo, l'asfalto, ecc. L'EPD è soggetta alla verifica di un organismo indipendente.

Le PCR (Core Product Category Rules) sono regole che aiutano a preparare una dichiarazione EPD per ciascuna categoria di prodotti e che consentono il confronto fra prodotti della stessa categoria. Per i prodotti utilizzati nel settore delle costruzioni esse sono normate dallo standard EN 15804: "Sustainability of construction works – Environmental Product Declarations – core rules for the product category of construction products" che definisce le condizioni grazie alle quali i prodotti da costruzione possono essere confrontati sulla base delle informazioni fornite dall'EPD.

La dichiarazione ambientale di prodotto EPD non è ancora di uso corrente per la categoria di prodotti ingegnerizzati base legno, in particolare modo per il compensato, e quindi non sono state definite le PCR relative. In questo ambito vengono soprattutto utilizzate certificazioni di filiera, quali le certificazioni equivalenti PEFC (Programme for Endorsement of Forest Certification schemes) e FSC (Forest Stewardship Council), a garanzia che la materia prima legnosa derivi da boschi e/o foreste gestite in maniera

sostenibile. E' possibile certificare PEFC sia il bosco/foresta/piantagione, che il prodotto finito.

Per quanto riguarda i consumi della pubblica amministrazione, i CAM relativi ai prodotti base legno richiedono, nello specifico, unicamente questo tipo di certificazioni. Solo alcune aziende europee produttrici di compensato hanno volontariamente corredato i loro prodotti di una Dichiarazione Ambientale di Prodotto, ma l'analisi della fase di coltivazione delle specie legnose non è stata affrontata nel dettaglio e i dati di input e output utilizzati sono stati ricavati da database.

L'obiettivo principale di questa ricerca era l'analisi del ciclo di vita di un pannello di compensato di pioppo, partendo dalla "culla", l'impianto di arboricoltura, fino al "cancello", il pannello di compensato finito, imballato e pronto per la spedizione. Nella prima parte della tesi è stata analizzata la pioppicoltura costituita dalle fasi di barbatellaio, vivaio e pioppeto. Si è potuto verificare che gli impatti per la produzione del legno di pioppo subiscono una riduzione significativa nel caso in cui venga adottato il modello colturale certificato PEFC con clone MSA: il GWP si riduce del 23% e il CED del 17%.

Lo scopo principale della seconda parte della tesi, relativa alla produzione del pannello di compensato, è stato quello di verificare se e quanto la certificazione PEFC e l'utilizzo di cloni MSA possa ridurre gli impatti ambientali (GWP e CED) derivanti dal processo produttivo del pannello di compensato. Un secondo obiettivo è stato quello di valutare e confrontare i quantitativi di anidride carbonica bio-sequestrata dal legno di pioppo derivato da coltivazioni intensive con cloni tradizionali (I-214) e da coltivazioni certificate PEFC con cloni MSA. Infine, l'ultimo obiettivo è stato quello

di individuare i fattori che determinano il maggior impatto nel ciclo produttivo del pannello di compensato e sui quali è possibile intervenire per migliorare l'ecosostenibilità del prodotto.

Partendo dalla coltivazione del pioppo, si sono svolte le analisi LCA relative a tre modelli colturali:

Modello intensivo con cloni I-214

Modello intensivo con cloni a maggiore sostenibilità ambientale MSA

Modello certificato PEFC con cloni MSA.

Analizzando la produzione per 1 m³ di pannello di compensato di pioppo 252x125 18 mm (9 strati) si sono inseriti i dati per quanto riguarda le singole fasi produttive, cercando di individuare quale di queste fosse la più impattante.

Per quanto riguarda l'inserimento della materia prima, il legno di pioppo, si è principalmente tenuto in considerazione un'allocazione economica media, comparata con il caso migliore e peggiore, in modo da ottenere un range di incertezza, che cerca di rispecchiare l'andamento del mercato del legno.

I risultati ottenuti possono essere riassunti come segue:

GWP

Secondo il metodo EPD 2013 la scelta del clone I-214 o MSA incide considerevolmente sul GWP in fase di pioppicoltura, mentre risulta quasi irrilevante sull'intero ciclo produttivo del pannello di compensato. Ciò è imputabile sia al quantitativo di adesivo UF (formaldeide-urea) utilizzato per la produzione del pannello che al GWP molto elevato dello stesso adesivo. Il grafico di figura 77 riporta i valori di GWP, espressi in kg di CO₂ eq. per metro cubo di pannello di compensato, relativi alle categorie: fonti energetiche e materiali. Nel caso del

modello colturale intensivo con cloni I-214 la produzione del legno di pioppo incide sul GWP totale per il 13%, nel caso del modello intensivo con cloni MSA incide per il 10% e nel caso del modello certificato PEFC con cloni MSA incide per il 7%. La certificazione ha quindi un'incidenza ridotta sul GWP del ciclo produttivo di 1 m³ di compensato (3%) così come l'impiego del clone MSA (3%).

La frazione di GWP più importante è quella dovuta all'impiego di adesivo UF (137,7 kg CO₂ eq), corrispondente a circa il 40% del totale. Valori di GWP elevati derivano anche dall'impiego di materiale ausiliario quale, ad esempio, materiali per la manutenzione dei macchinari, imballaggi, flessibili abrasivi, acqua ossigenata e acqua deionizzata. Quest'ultima da sola incide sul GWP totale per circa il 20% (80 kg CO₂ eq/m³ compensato). L'elettricità e il calore impattano sul GWP totale rispettivamente per il 15% e il 6%.

La variazione dei GWP relativi alla fase di coltivazione del pioppo secondo i tre modelli colturali e considerando l'allocatione economica peggiore e migliore è molto contenuta (1-2%) e risulta poco rilevante.

Capacità di bio-sequestro di CO₂ atmosferica

Il pannello di compensato è costituito per oltre il 95% di sfogliato di legno di pioppo. Tramite i processi di fotosintesi clorofilliana della pianta il materiale legnoso è in grado di bio-sequestrare dall'atmosfera un'ingente quantità di CO₂.

La differenza tra la CO₂ emessa durante il ciclo produttivo di 1 m³ di pannello e quella bio-sequestrata dal legno di pioppo necessario per produrre 1 m³ di pannello è negativa: -362 kg CO₂ eq. per clone I-214, -376,3 kg CO₂ eq. per clone MSA non certificato e -383,66 kg CO₂ eq. per clone MSA con certificazione PEFC.

Questo significa che la materia prima legno immagazzina nel pannello di compensato molta più CO₂ atmosferica della CO₂ eq che viene emessa in atmosfera durante la produzione del pannello.

CED

La frazione di energia incorporata, o embodied energy, proveniente da fonti rinnovabili è ridotta rispetto alla frazione derivante da fonti non rinnovabili. Dal grafico di Fig. 78 è possibile vedere che anche in questo caso, la materia prima legno non ha un forte impatto sulla CED totale e, dunque, i miglioramenti portati dall'utilizzo

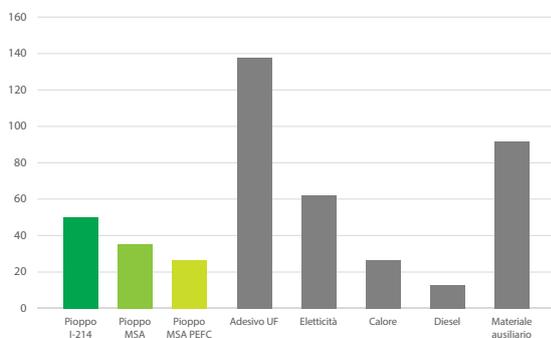


Grafico 7.14 - EPD GWP kg CO₂ eq
Suddivisione per materiali ed energia utilizzati in 1 m³ di compensato

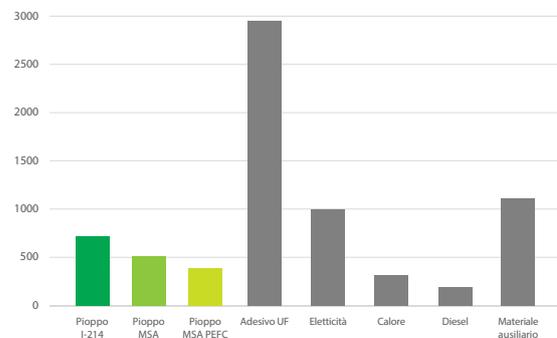


Grafico 7.15 - CED Non renewable, MJ
Suddivisione per materiali ed energia utilizzati in 1 m³ di compensato

della certificazione PEFC risultano essere quasi impercettibili. Il modello intensivo con clone I-214 incide circa del 12% sul CED del ciclo produttivo del pannello. Il modello intensivo con clone MSA riduce il CED del 4%. Il modello certificato PEFC riduce l'incidenza sul CED di un ulteriore 2%.

I materiali ausiliari incidono sul CED totale in modo rilevante (32%). L'elettricità e il calore incidono rispettivamente del 15% e del 5%.

Le variazioni di CED ottenute analizzando la produzione con le variabili date dall'allocazione economica si attestano, per tutti i modelli colturali, intorno all'1-2% del totale della coltivazione, risultando quindi poco rilevanti

In conclusione si può affermare che:

- se si utilizza legname certificato PEFC, la riduzione del GWP e del CED relativa al processo produttivo complessivo del pannello di compensato è molto contenuta (2%); quindi, dal punto di vista ambientale, l'utilizzo di legname certificato non porta nessun beneficio al ciclo produttivo del pannello di compensato
- il principale responsabile di impatto del ciclo produttivo del pannello di compensato è l'adesivo UF che incide per più del 40% sia sul GWP che sul CED, nonostante la percentuale di colla nel pannello sia solo il 4% (colla UF: 83 kg/m³ di pannello; legno di pioppo: 1882 kg/m³ di pannello)
- l'eco-sostenibilità del pannello di compensato Vigolungo potrebbe essere migliorata riducendo l'utilizzo o gli sprechi in linea di adesivo, sostituendo l'adesivo UF con una resina meno impattante (ad esempio gli adesivi) e riducendo l'utilizzo o gli sprechi in linea di materiale ausiliario (imballaggi, materiali per la manutenzione dei macchinari, acqua os-

sigenata e deionizzata, abrasivi flessibili, ecc.). Ad esempio, riducendo del 20% il quantitativo di adesivo si avrebbe una riduzione del GWP del pannello pari all'8% e del CED pari al 6%. Variando invece la resina utilizzata, in base ai dati reperibili in bibliografia sul bio-adesivo analizzato da James E. McDevitt e Warren J. Grigsby, si potrebbe ridurre il GWP del 9% e il CED del 39%.

- l'impiego di una materia prima legnosa certificata PEFC derivante da cloni MSA non riduce sensibilmente gli impatti del processo produttivo di 1 m³ di pannello di compensato, ma registra una diminuzione tra il bilancio di CO₂ sequestrata e quella emessa dal processo del 6% confronto ad legno di clone I-214.

Confronto dei risultati dell'analisi LCA con i dati di letteratura

Come sottolineato precedentemente, il confronto delle informazioni fornite dalle schede EPD di prodotti diversi della stessa categoria richiede conformità alle PCR. Nel caso del compensato queste regole non sono ancora state definite, pertanto il confronto con i dati di letteratura non è semplice. Spesso le unità funzionali adottate sono diverse e mancano informazioni sulla qualità e quantità di adesivo, sul tipo di sfogliato e sul numero di strati impiegati nella composizione del pannello.

Si è tuttavia ritenuto interessante confrontare i dati di GWP ottenuti dall'analisi LCA del pannello di compensato 18 mm prodotto da Vigolungo (382 kg CO₂ eq/m³ di pannello) con alcuni valori medi di GWP reperiti in letteratura.

Nel grafico in figura 7.16 i valori di GWP sono espressi in kg di CO₂ eq/m³ di pannello. Il database Inventory of Carbon & Energy (ICE), fornisce un dato medio relativo alla produzione mondiale di pannelli di compensato (380 kg di CO₂ eq/

m³ di pannello), senza tuttavia specificare lo spessore dei pannelli, l'American Wood Council fornisce un dato medio relativo alla produzione nord americana del pannello di spessore 9,5 mm (135 kg CO₂ eq./m³ di pannello), Panguaneta, azienda di spicco nel settore italiano, fornisce un valore di GWP relativo alla produzione del proprio compensato di pioppo dello spessore di 15,5 mm (350 kg CO₂ eq./m³ di pannello) e il Wood Solution Australia fornisce un dato medio relativo alla produzione australiana di pannelli di compensato dello spessore di 15 mm (660 kg CO₂ eq./m³ pannello). Il compensato Vigolungo, che utilizza come materia prima legno proveniente da un pioppeto a modello intensivo con clone I-214, presenta un valore di GWP nella media: perfettamente confrontabile con quello riportato da ICE, leggermente superiore (9%) di quello fornito da Panagueta, probabilmente a causa di uno strato di sfogliato in più nella com-

posizione del pannello, e poco più del doppio di quello dell'American Wood Council, avendo il pannello Vigolungo uno spessore (18 mm) circa il doppio di quello dell'American Wood Council (9,5 mm). Il valore riportato dal Wood Solution Australia per un pannello di spessore 15 mm supera nettamente tutti gli altri, probabilmente perché la produzione in Australia tiene conto di fonti energetiche differenti e più impattanti delle nostre e di conseguenza potrebbe esserci un aumento degli impatti dati dall'adesivo, prodotto petrolchimico.

Le difficoltà riscontrate nel reperimento di alcuni dati potrebbero aver influito sull'incertezza dei valori calcolati per la produzione del pannello Vigolungo. Infatti non è stato possibile reperire i dati di emissioni della centrale termica e quelli relativi ad alcuni materiali utilizzati nel processo come, ad esempio, l'acqua deionizzata. Per questo motivo sono

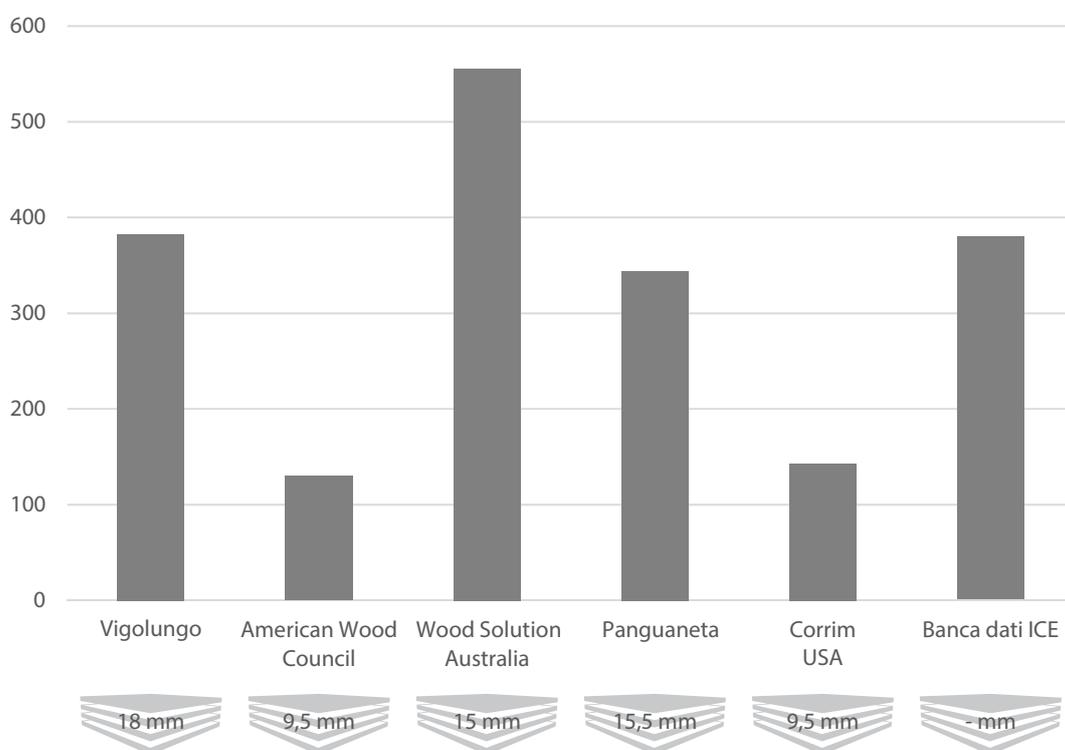


Grafico 7.16 - EPD Global Warming Potential kg CO₂ eq/m³
 Comparazione tra produttori di pannelli di compensato a livello mondiale.

stati utilizzati codici derivanti dal database Ecoinvent, poco rappresentativi del caso studio in esame, che potrebbero aver causato una sovrastima degli impatti reali.

Il confronto delle informazioni EPD di prodotti appartenenti a categorie diverse è ancora più arduo. Si è tuttavia ritenuto interessante riportare in nel grafico in figura 7.17 i valori di GWP, espressi in kg CO₂ eq, relativi alla produzione di 1 kg di OSB, GLT, cemento, calcestruzzo, mattone forato, cartongesso, acciaio, isolante in EPS ed isolante in lana di roccia per consentire il confronto con i valori di GWP ottenuti dall'analisi del ciclo produttivo del pannello di compensato Vigolungo. Quasi tutte le EPD di questi materiali sono regolate da PCR specifiche. Molte aziende, come ad esempio la Buzzi Unicem, stanno facendo passi enormi sul fronte delle certificazioni per diventare più competitive sul mercato. Tra i prodotti da costruzione a mino-

re impatto troviamo i mattoni forati e il cartongesso, seguono il compensato in pioppo, l'OSB, il GLT ed il calcestruzzo. Il maggiore impatto è dovuto alla produzione di elementi in acciaio e dell'isolante in EPS ed in lana di roccia.

In conclusione si può affermare che:

- il compensato di Vigolungo, che utilizza come materia prima legno proveniente da un pioppeto a modello intensivo con clone I-214, presenta un valore di GWP nella media e confrontabile con quello riportato da ICE e Panagueta
- il ciclo produttivo del pannello di compensato ha un impatto ambientale confrontabile a quello del cemento
- per quanto riguarda i prodotti ingegnerizzati base legno le banche dati sono incomplete e necessitano dati affidabili e PCR specifiche per una buona riuscita dell'analisi del ciclo di vita.

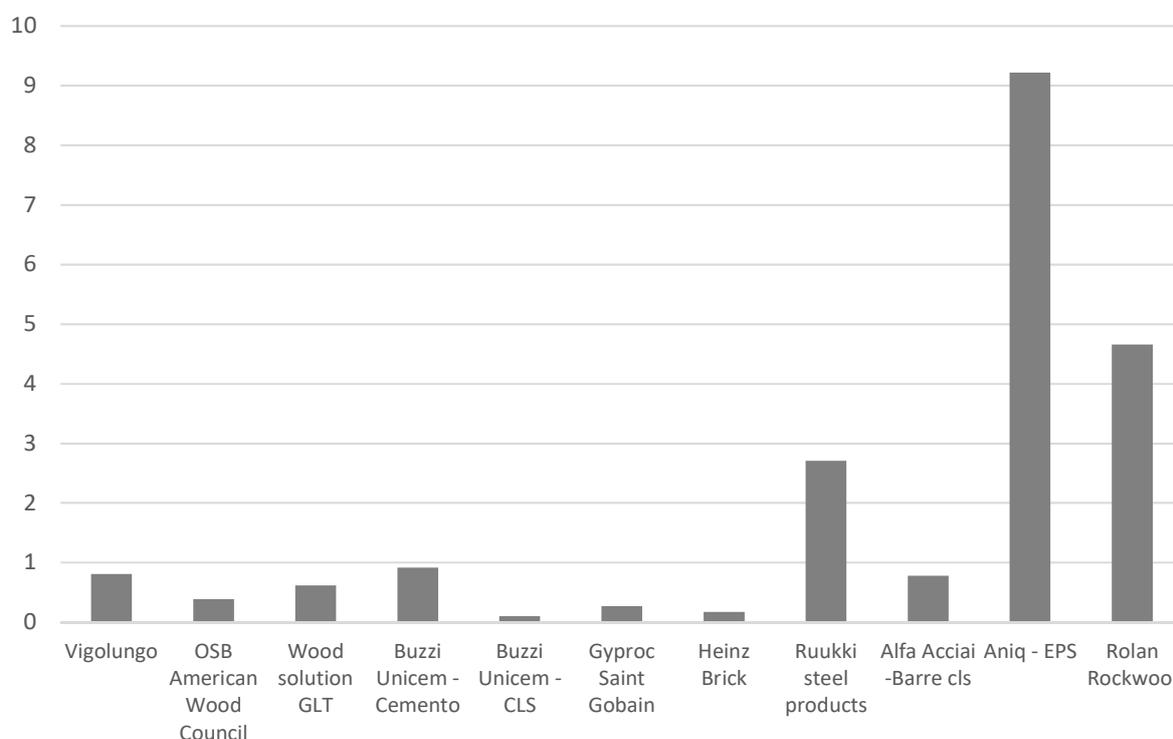


Grafico 7.17 - EPD Global Warming Potential kg CO₂ eq/kg
 Comparazione risultati di altri materiali da costruzione, per 1 kg di prodotto

8. CONCLUSIONI

Nel settore delle costruzioni è cresciuta l'esigenza di certificare l'eco-sostenibilità degli edifici.

A tal scopo sono stati sviluppati protocolli di valutazione che classificano il progetto/l'edificio in base a categorie di merito, tramite un sistema di valutazione a punteggio. Questi protocolli danno molta importanza alla sostenibilità dei materiali e dei componenti edilizi.

Anche le pubbliche amministrazioni hanno sviluppato piani d'azione per il Green Public Procurement. In Italia sono stati definiti i Criteri Ambientali Minimi (CAM) per le fasi di acquisto e l'affidamento di servizi di progettazione, costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici, che regolamentano anche la fornitura di materiali e componenti per l'edilizia. Per quasi tutti i materiali e componenti viene richiesta una certificazione ambientale di prodotto.

Le norme della serie UNI EN ISO 14020, Environmental labels and declarations, hanno delineato i principi guida per lo sviluppo e l'utilizzo di etichette e dichiarazioni ambientali di prodotto. In Europa l'etichetta di Tipo III, Environmental Product Declaration (EPD), definita dalla ISO 14025, è stata riconosciuta come lo strumento più efficace per la qualificazione ambientale di un prodotto. L'EPD permette infatti di quantificare tramite l'analisi LCA gli impatti ambientali associati al ciclo di vita di un prodotto, principalmente Global Warming Potential (GWP) ed Energia incorporata, secondo Product Core Rules (PCR) che consentono il confronto fra prodotti della stessa

categoria.

Recentemente l'impiego del legno ingegnerizzato in architettura è aumentato enormemente, date le qualità ambientali della materia prima legno e le ottime prestazioni fisiche e meccaniche dei componenti.

Sono stati sviluppati prodotti ingegnerizzati innovativi, come LVL, l'OSB, l'X-Lam, ma viene ancora ampiamente utilizzato il compensato, nonostante sia un prodotto tradizionale, grazie alle sue caratteristiche di resistenza e leggerezza.

I CAM relativi ai materiali base-legno richiedono la certificazione PEFC o FSC della materia prima legnosa, che garantisca la provenienza da boschi/foreste gestiti in maniera sostenibile, ma non l'EPD del componente. Diversi produttori e associazioni hanno quantificato gli impatti ambientali della produzione di pannelli di compensato tramite analisi LCA e dichiarazioni EPD; nessuna di esse tuttavia ha analizzato nel dettaglio il ciclo di vita della coltivazione delle piante da sfogliato.

Gli obiettivi principali di questa tesi erano:

- l'analisi del ciclo di vita di un pannello di compensato di pioppo, partendo dalla "culla", l'impianto di arboricoltura, fino al "cancello", il pannello di compensato finito, imballato e pronto per la spedizione
- l'analisi del ciclo di vita dello stesso pannello a partire da legno coltivato secondo certificazione PEFC e/o utilizzando cloni a maggior sostenibilità.

ambientale (MSA)

- valutare e confrontare i quantitativi di anidride carbonica bio-sequestrata dal legno di pioppo derivato da coltivazioni intensive con cloni tradizionali (I-214) e da coltivazioni certificate PEFC con cloni MSA
- individuare i fattori che determinano il maggior impatto nel ciclo produttivo del pannello di compensato sui quali è possibile intervenire per migliorare l'eco-sostenibilità del prodotto.

L'analisi LCA è stata svolta secondo la normativa ISO 14040 con il supporto del software di calcolo SimaPro 8.2.3.0. Il CREA - Foreste e Legno, Centro di Ricerca di Casale Monferrato (AL), ha fornito i dati primari relativi a 15 anni di impianto arboricolo di pioppo. L'azienda di compensato E. Vigolungo di Canale (CN) ha fornito i dati primari relativi alla produzione di un metro cubo di pannelli di compensato di pioppo. Sono stati confrontati i modelli colturali non certificato e certificato PEFC e l'utilizzo di cloni I-214 e MSA, per la produzione di 1 t di legno di pioppo. L'impatto dovuto al surriscaldamento globale ad opera dei gas serra è stato valutato come GWP tramite il metodo IPCC 2013 e l'energia incorporata tramite il metodo CED (Cumulative Energy Demand). Sono stati valutati anche altri indicatori di impatto come l'eco-tossicità dell'acqua e la Water Scarcity. Attraverso un'allocazione economica svolta tenendo in considerazione due range di accrescimento del pioppo e due valori di mercato, si sono ricavati dati medi tramite i quali è stato possibile valutare la quantità di sfogliato effettiva in ingresso nell'azienda di compensato.

L'analisi LCA sulla pioppicoltura ha messo in evidenza che:

- la variazione del clone da I-214 a MSA comporta una riduzione del GWP e del CED rispettivamente del

30% e del 28% e la certificazione PEFC con cloni MSA riduce ulteriormente del 23% il GWP e del 24% il CED

- la variazione del clone da I-214 a MSA riduce l'eco-tossicità dell'acqua dolce del 43% e la certificazione di un ulteriore 19%
- la variazione del clone da I-214 a MSA riduce la Water Scarcity, correlata all'irrigazione degli impianti, del 27% e la certificazione PEFC di un ulteriore 62%.

L'analisi LCA sul pannello di compensato Vigolungo è stata condotta utilizzando i risultati ottenuti nell'analisi LCA della coltivazione del pioppo e tramite allocazione economica media sulla materia prima in ingresso nell'azienda di Vigolungo. I risultati ottenuti possono essere riassunti come segue:

- la certificazione ha un peso non rilevante sia sul GWP che sul CED del pannello (riduzione rispettivamente del 3% e del 2% rispetto al modello colturale intensivo)
- anche considerando il migliore ed il peggior caso di allocazione economica del legno di pioppo non si riscontrano sostanziali differenze: l'incidenza sui diversi indicatori di impatto ambientale è dell'1-2% circa
- la materia prima legno immagazzina nel pannello di compensato molta più CO₂ atmosferica della CO₂ equivalente che viene immessa in atmosfera durante la produzione del pannello. L'impiego di una materia prima legnosa certificata PEFC registra una diminuzione tra il bilancio di CO₂ sequestrata e quella emessa dal processo del 6% confronto al legno da clone I-214.
- l'utilizzo di adesivo UF incide per il 40% sia sul GWP che sul CED. Riducendo del 20% la resina impiegata si avrebbe una riduzione del GWP

dell'8% e del CED del 6%. Variando invece la resina utilizzata, si potrebbe ridurre il GWP del 9% e il CED del 39%.

Dai risultati ottenuti è possibile affermare che per il materiale legno, usato senza l'impiego di adesivi e colle, come ad esempio legno da biomassa, legno massiccio per travi, legno destinato all'industria dell'imballaggio, la certificazione PEFC porta sicuramente a notevoli benefici, riducendo gli impatti ambientali. Nel caso del legno ingegnerizzato, invece, la certificazione PEFC è irrilevante e i Criteri Ambientali Minimi per il Green Public Procurement dovrebbero essere rivisti o, quantomeno, integrati con la richiesta di EPD. Va tuttavia considerato che le coltivazioni analizzate, certificate PEFC o intensive, sono comunque controllate e seguono criteri ben precisi. Mettendo a confronto materia prima proveniente da deforestazione illegale e proveniente da un impianto certificato i risultati sarebbero decisamente più positivi.

La grande sfida per riuscire ad abbassare gli impatti relativi ai prodotti ingegnerizzati base-legno è dunque quella di utilizzare adesivi più eco-compatibili, a base vegetale, che impieghino materia prima parzialmente rinnovabile e che abbiano minor impronta di carbonio ed energia incorporata.

RIFERIMENTI

TESTI E ARTICOLI

- [01.] Adelizzi D., novembre 1999, *Manuale dei semilavorati. Semilavorati di legno naturale e pannelli a base di legno*. Reggio Emilia, Consorzio Legno-Legno.
- [02.] Allegro G., Bergante S., Castro G., Chiarabaglio P.M., Coaloa D., Facciotto G., Giorcelli A., Nervo G., Prendin S., Rossi A.E., Rossino R., Savi L., Sebastiani L., Vietto L., giugno 2014, *Qualità e sostenibilità ambientale della pioppicoltura in filiere legno-energia*, Quaderni della Ricerca n. 160, Regione Lombardia.
- [03.] Bacenetti J., Bergante S., Facciotto G., Fiala M., 2016, *Woody biofuel production from short rotation coppice in Italy: Environmental-impact assessment of different species and crop management*. Biomass and Bioenergy, pag. 209-219.
- [04.] Baldo G.L., Marino M., Rossi S., 2008, *Analisi del ciclo di vita LCA. Gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi*. Cerbera, Edizione Ambiente.
- [05.] Barbati A., Ferrari B., Ali vernini A., Quatrini A., Merlini P., Puletti N., Corona P., 2014, *Sistemi forestali e sequestro del carbonio in Italia*. L'Italia Forestale e Montana, 69 (4), pag. 205-212.
- [06.] Bernasconi A., 2010, *Il materiale X-Lam, caratteristiche e prestazioni*. Corso di approfondimento - Edifici di Legno, Promo-Legno, www.promolegno.com
- [07.] Bernasconi A., 2010, *L'altro massiccio. Costruire in X-Lam*. La sostenibile leggerezza del legno, Materiale legno 02. Allegato di Domus 934/10.
- [08.] Bernasconi A., Schickhofer G., Traetta G., 2005, *I prodotti di legno per la costruzione, Corso base - l'uso del legno nelle costruzioni*, Promo-Legno, www.promolegno.com
- [09.] Bowyer J., Briggs D., Lippke B., Perez-Garcia J., Wilson J., 2005, *Life Cycle Environmental Performance of Renewable Building Materials in the Context of Residential Construction*. CORRIM Phase I: Research Report on the Research Plan to Develop Environmental Performance Measures for Renewable Building Materials with Alternatives for Improved Performance, USA.
- [10.] Briggs D., 2010, *Research Guideline for Life Cycle Inventories*. CORRIM: Phase I Final Report, USA.
- [11.] Cappellaro F., Scalbi S., 2011, *La rete italiana lca: prospettive e sviluppi del life cycle assessment in italia*. ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), Roma.

- [12.] Cappellaro F., Masoni P., Buonomici R., 2011, *Applicazione della metodologia life cycle assessment per la valutazione energetico ambientale batterie per autotrazione*. ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), Roma.
- [13.] Casto G., Fragnelli G., Zanuttini R., 2014, *La Pioppicoltura e il compensato di Pioppo dell'industria italiana*. Lampi di Stampa, Vignate.
- [14.] Castro G., Reni N., Zanuttini R., 2006, *Compensato e nuovi possibili sviluppi del legno di pioppo*. Ambiente e territorio, pensare e agire come gli alberi, Milano, N.1/2, pag. 36-39.
- [15.] Castro G., Zanuttini R., 1991, *Aspetti tecnologici del legno di pioppo coltivato in Italia*, Linea ecologica, N. 6.
- [16.] Ceccotti A., 2003, *Il manuale del legno strutturale, Vol. II - Materiali, componenti e principi della progettazione*. Mancuso Editore, Roma.
- [17.] Chiarabaglio P.M., Allegro G., Rossi A.E., Savi L., 2014, *Valutazione delle sostenibilità della pioppicoltura*. Quaderni della ricerca N. 160, Progetto QualiAmbiPio, Regione Lombardia, pag. 61-79.
- [18.] Coaloa D., 2007, *La coltivazione del pioppo nel Mondo e nei Paesi Europei*. Il libro bianco della pioppicoltura, Commissione Nazionale per il Pioppo, pag. 29-33.
- [19.] Commissione della Comunità Europea (COM), 2003, *Politica Integrata dei Prodotti: sviluppare il concetto di "ciclo di vita ambientale"*, Bruxelles.
- [20.] Cope B.C., 2005, *Adhesive classification in Handbook of Adhesion Second Edition*, D. E. Packham, John Wiley & Sons Ltd, England. pag. 25-28
- [21.] De Feo G., 2014, *Corso di Life Cycle Assessment*, Ordine degli Ingegneri di Avellino.
- [22.] Dispense del corso di: *"Sostenibilità di processi e prodotti nei materiali per l'architettura"* (Corso di Laurea Magistrale In Architettura per il Progetto Sostenibile - Torino), a cura di S.L. Paggiolico.
- [23.] DG Environment, 2014, *Resource efficiency in the building sector*. Ecoris, Rotterdam.
- [24.] Ente Nazionale per la Cellulosa e per la Carta, 1994, *Pioppi*. - , Roma.
- [25.] Eshaghi S., Hosseinkhani H., Barazandeh M.M., Habibi M.R., 2013, *The Study of formaldehyde emission from particleboard made of saxaul wood (Haloxylon persicum)*. 4th International Scientific Conference on Hardwood Processing, Compagnia delle Foreste S.r.l., Arezzo, pag. 342-346.
- [26.] Facciotto G., 2007, *Cloni coltivati*. Cap. 2.5, pp. 47-52, Il Libro Bianco della Pioppicoltura, Commissione Nazionale per il Pioppo.
- [27.] Ferrante T., 2008, *Legno e innovazione*. Alinea editrice, Città di Castello, Perugia.
- [28.] Firrone T., 2010, *Il legno: tradizione e innovazione*. ARACNE editrice S.r.l, Roma.
- [29.] Frison G., 2014, *Dal Populus Nigra L. al Populus x canadensis Moench*, Materiale autoprodotta, Ricercatore in pensione Istituto di sperimentazione

per la pioppicoltura, Casale Monferrato.

[30.] Frison G., 1992-1994, *Origine e caratteristiche dei principali cloni di pioppo*, Materiale autoprodotta, Ricercatore in pensione Istituto di sperimentazione per la pioppicoltura, Casale Monferrato.

[31.] Istituto Nazionale di Economia Agraria, 2009, *Gli accordi volontari per la compensazione di CO₂. Indagine conoscitiva per la sezione forestale in Italia*. Quaderno 2, Osservatorio Foreste INEA, Roma.

[32.] Lavisca P., Imre P., Zanuttini R., 1997, *Guida all'uso del compensato in conformità alla normativa UNI EN*. Assopannelli, Stampa lalitotipo.

[33.] Marchetti M., Bertani R., Corona P., Valentini R., 2012, *Cambiamenti di copertura forestale e dell'uso del suolo nell'inventario dell'uso delle terre in Italia*. Forest@9, pag. 170-184.

[34.] McDevitt J.E., Grigsby W.J., 2014, *Life Cycle Assessment of Bio-an Petro-Chemical adhesives used in fiberboard production*. Springer Science, New York.

[35.] Norme tecniche PEFC per la Gestione Sostenibile dei Pioppeti, 2006, Allegato 1, PEFC Italia.

[36.] Parere del Comitato economico e sociale sul tema «Strategia forestale dell'Unione europea», Gazzetta ufficiale n. C 051 del 23/02/2000 pag. 97-104.

[37.] Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione ovvero Piano d'Azione Nazionale sul Green Public Procurement (PANGPP), 2017, *Criteri Ambientali Minimi Per L'affidamento Di*

Servizi Di Progettazione E Lavori Per La Nuova Costruzione, Ristrutturazione E Manutenzione Di Edifici Pubblici, Allegato 2, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana.

[38.] Picco F., Giorcelli A., Castro G., dicembre 2007, *Chiave dicotomica per il riconoscimento in vivaio dei principali cloni di pioppo coltivati nell'Unione Europea - Volume I*. Litograf Editor S.r.l. di Città di Castello, Perugia.

[39.] Puettmann M., Kaestner D., Taylor A., 2006, *Life Cycle Assessment of Softwood Plywood Production in the US Southeast*, CORRIM Report - Module D2, USA.

[40.] prEN 16449 Draft, 2012, *Wood and wood-based products - Calculation of sequestration of atmospheric carbon dioxide*.

[41.] Sancaktar E., 2011, *Classification of Adhesive and Sealant Materials*. Handbook of Adhesion Technology, Lucas F. M. da Silva, Andreas Ochsner, Robert D. Adams, Springer Heidelberg, Berlino.

[42.] Sathre R., González-García S., 2014, *Life cycle assessment (LCA) of wood-based building materials*, in Eco-efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), eco-labelling and case studies. Woodhead Publishing Limited, pag. 311-337.

[43.] Secco L., 2007, *Le prospettive della certificazione forestale per la pioppicoltura italiana*. Cap. 3.5, pp. 84-87, Il Libro Bianco della Pioppicoltura, Commissione Nazionale per il Pioppo.

[44.] Shea J.G., 1963, *Playwood working for everybody*. Dvan Nostrand Company Inc., Princenton, New Jersey.

[45.] UNI EN ISO 14040, 2007, *Gestione ambientale. Valutazione del ciclo di vita: principi e quadro di riferimento*. UNI ed Il Sole 24 Ore, Codice di Ambiente e sicurezza.

[46.] Wilson J.B., 2010, *Life-Cycle Inventory of Formaldehyde-based resins used in wood composites in terms of resources, emissions, energy and carbon*. Wood and Fiber Science, 42(CORRIM Special Issue), USA, pag. 125-143.

[47.] Yang M., Rosentrater K.A., 2015, *Environmental effects and economic analysis of adhesives: a review of life cycle assessment (LCA) and techno-economic analysis (TEA)*. ASABE Annual International Meeting, New Orleans, Louisiana.

SITOGRAFIA

[01]. www.cosmob.it

[02]. <http://www.environdec.com/>

[03]. <http://eur-lex.europa.eu>

[04]. <http://www.federlegnoarredo.it/it/associazioni/assopannelli/compensato/il-compensato-di-pioppo>

[05]. <http://www.populus.it/>

[06]. <http://www.regione.piemonte.it/foreste/it/filiere/arboreicoltura.html2007>

[07]. <https://wikihouse.cc/>

[08]. <http://www.xylevo.com>

RIFERIMENTI IMMAGINI

1. Introduzione:

• Figura 1.1 - <http://environdec.com>

• Figura 1.2 - <https://it.fsc.org/it-it>

• Figura 1.3 - <https://www.pefc.it/>

2. Legno ed edilizia:

• Figura 2.1 - DG Environment, 2014, Resource efficiency in the building sector. Ecoris, Rotterdam.

• Figura 2.2 - <http://www.norlander.se/>

• Figura 2.3 - <https://www.thecoolrepublic.com/marque-massow-design>

• Figura 2.4 - <http://nordic.ca/en/products/nordic-x-lam-cross-laminated-timber-clt>

• Figura 2.5 - <https://warrenandmahoney.com/>

• Figura 2.6 - <https://www.woodsolutions.com.au/case-studies-search/Paul%20Haar%20Architect>

• Figura 2.7 - <https://www.decoi-architects.org/>

• Figura 2.8 - <http://www.archi7.ch/>

• Figura 2.9 - <http://www.zecc.nl/en/>

• Figura 2.10 - <http://www.structuremag.org/>

• Figura 2.11 - <https://www.houzz.com/parallam-stair>

• Figura 2.12/2.13 - <https://www.constantinilegno.it/chi-siamo/tecnologie-costruttive-legno-x-lam/>

• Figura 2.14 - <http://www.kadenun->

- dlager.de/
- Figura 2.15/2.16/2.17/2.18 - <http://www.xylevo.com/>
 - Figura 2.19/2.20/2.21/2.22 - <https://wikihouse.cc/>
 - Figura 2.23/2.24/2.25 - <http://www.be-eco.it/suteki-wood-system/>
 - Figura 2.26 - <http://kkaa.co.jp/>
3. Il pioppo:
- Figura 3.1 - <http://www.populus.it/>
 - Figura 3.2 - <http://www.populus.it/>
 - Figura 3.3 - <http://www.mazzucchivivai.it/Viticultura/Gallerie/GalleriaVivai>
 - Figura 3.4 - <http://www.vivaiguagno.com/alberi-piante-coltivate/populus-tremula/>
 - Figura 3.5 - <https://www.welfarenetwork.it/costituito-l-osservatorio-nazionale-per-il-pioppo-20150321/>
4. Il compensato:
- Figura 4.1 - Bernasconi A., Schickhofer G., Traetta G., 2005, I prodotti di legno per la costruzione, Corso base - l'uso del legno nelle costruzioni, Promo-Legno, www.promolegno.com
 - Figura 4.2 - <http://www.ibl.it/it/aspectti-tecnici/normative/>
 - Figura 4.6 - <http://www.salomone-compensati.it/>
 - Figura 4.7 - <http://www.saiscompensati.com>
 - Figura 4.8 - <http://www.archiproducts.com>
 - Figura 4.9 - http://www.edilportale.com/prodotti/bellotti/compensato-resinato-in-faggio/compensato-in-faggio-resinato_87897.html
 - Figura 4.10 - <http://www.trestintas.com/en/product/panneau-marin>
 - Figura 4.11 - <http://www.ibl.it/it/prodotti/compensati/compensato-flessibile/>
 - Figura 4.12/4.13/4.14/4.15 - <https://www.sepasrl.it/prodotti/speciali>
 - Figura 4.16/4.17/4.18/4.19 - <https://nordcompensati.com/>
 - Figura 4.36 - Transparency market research. 2014. *Wood Adhesives and Binders (UF, MUF, PF, PU, Soy-based and Others) Global Industry Analysis, Trends and Forecast, 2014-2020*.
 - Figura 4.37 - Dispense del corso di: "Sostenibilità di processi e prodotti nei materiali per l'architettura" (Corso di Laurea Magistrale In Architettura per il Progetto Sostenibile - Torino), a cura di S.L. Pagliolico.
5. Metodologia e software:
- Figura 5.1 - <http://www.maiano.it/settore-edilizia/sostenibilit%C3%A0>
6. Analisi del ciclo di vita della pioppicoltura:
- Figura 6.1/6.2 - Diapositive CREA - Foresta e legno.