

POLITECNICO DI TORINO

FACOLTÀ DI ARCHITETTURA

Corso di Laurea Magistrale in Design Sistemico



TESI DI LAUREA

SOLUZIONI INNOVATIVE PER MIGLIORARE GLI IMPATTI

AMBIENTALI DI UNA POLTRONA

Relatore: Prof. Elena Comino

Candidato: Alice Ghietti

Correlatore: Isabella Bianco

Marzo 2018

“La nostra sfida più grande in
questo nuovo secolo è di adottare
un'idea che sembra astratta”

Kofi Annan

Indice

Introduzione	
1. Storia del compensato	2
2. Storia dei mobili in compensato	13
2.1 Alvar Aalto	21
3. Il compensato: lavorazione, classificazioni e tipologie dei legni	29
4. Le colle	43
5. Metodologia	55
6. Il Progetto	64
6.1 La poltrona attuale	65
6.2 La poltrona nuova	73
6.3 LCA delle poltrone a confronto	89
Allegati	114
Conclusioni	
Bibliografia	

Introduzione

L'obiettivo di questa tesi è identificare una possibile soluzione innovativa in grado di minimizzare gli impatti sull'ambiente e sull'uomo di un prodotto già esistente: una poltrona di design ideata e prodotta dall'Architetto Andrea Veglia di PAT design. A tal fine, è stata svolta una Valutazione del Ciclo di Vita (Life Cycle Assessment, LCA) della poltrona con l'attuale design per identificare i materiali e i processi che contribuiscono maggiormente agli impatti ambientali. È stata dunque ipotizzata la sostituzione di quest'ultimi con materiali ritenuti più sostenibili e l'entità dei benefici è stata verificata con una seconda LCA. L'interpretazione dei risultati ottenuti ha permesso di identificare alcune linee guida, la cui validità può essere estesa non solo al caso studio, ma più in generale a mobili e oggetti di design.

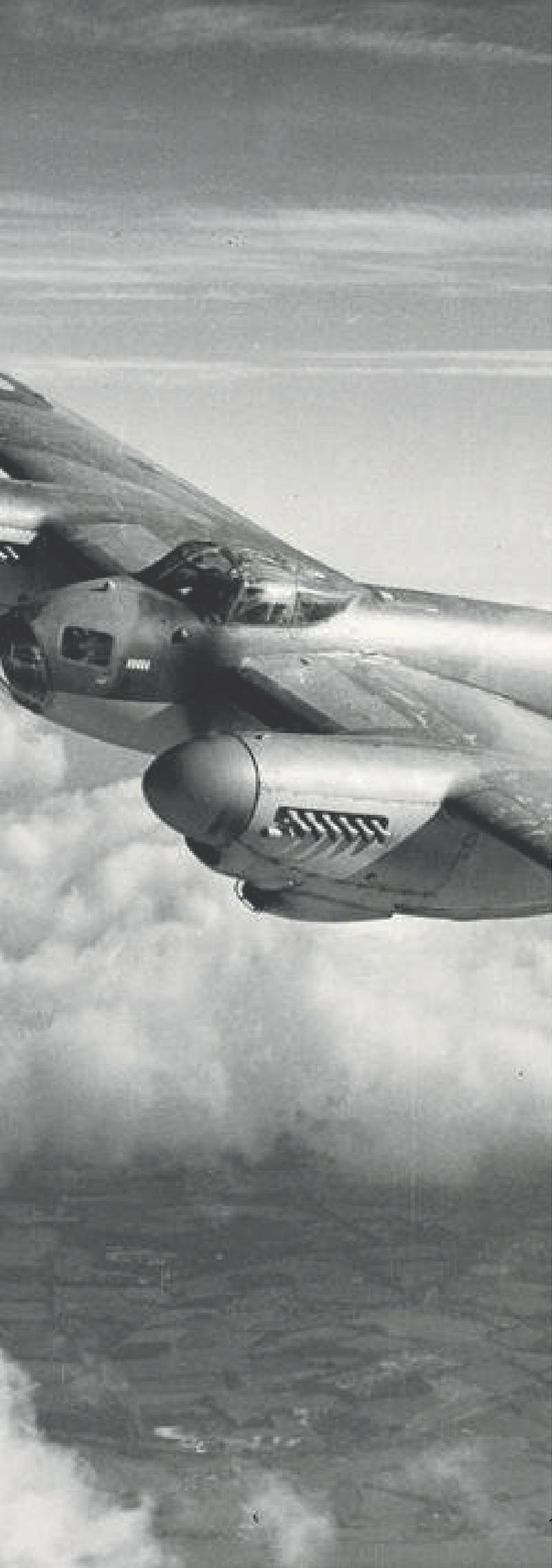
La scelta di lavorare a questa proposta progettuale nasce dal fatto che il prodotto è attualmente realizzato con materie prime non locali, alcune delle quali ritenute particolarmente dannose per l'ambiente e per la salute dell'uomo. La sfida è stata rendere il prodotto interamente italiano, realizzato con materie prime locali e più sostenibili al fine di ridurre i trasporti e le emissioni nocive e di valorizzare e promuovere il lavoro del territorio italiano.

Questo lavoro di tesi si suddivide in una parte di ricerca e una di progetto. La parte di ricerca è frutto della consultazione di libri specializzati nel settore e articoli scientifici e analizza nel dettaglio tutti i componenti dell'oggetto in esame dal punto di vista storico, culturale e fisico. La parte progettuale invece è basata su analisi LCA al fine di individuare possibili alternative che possano effettivamente migliorare la sostenibilità del prodotto.

Il primo capitolo descrive la storia del compensato, dalle origini antiche, ai primi brevetti e fino alla sua

diffusione nel settore industriale; segue il secondo capitolo, in cui è descritta la storia dei mobili in compensato e dei più grandi Maestri che lo hanno utilizzato nei loro progetti, dalla fine dell'800 ad oggi. Il terzo capitolo descrive in modo tecnico la principale materia prima presa in esame: il compensato, la sua lavorazione e le diverse tipologie dei legni. Nel quarto capitolo vengono analizzati i tipi di colla disponibili sul mercato e viene posta particolare attenzione agli effetti della loro produzione e utilizzo sulla salute umana.

Il quinto capitolo illustra la metodologia adottata e gli strumenti utilizzati. Il sesto capitolo è quello di progetto e si divide in tre sottocapitoli. Nel primo sottocapitolo vengono descritte le caratteristiche della poltrona secondo l'attuale design, nel secondo invece vengono presentate delle nuove soluzioni innovative di progetto. Nell'ultimo sottocapitolo è descritta l'analisi LCA degli oggetti in esame, da cui è possibile trarre alcune conclusioni riferite al particolare caso studio, ma estendibili anche ad altri oggetti realizzati con materie prime e processi produttivi analoghi.



Capitolo 1

Storia del
compensato

1. Storia del Compensato

Origini antiche del compensato

Il compensato è considerato un moderno materiale da costruzione, ma la sua origine può essere ricondotta ai tempi antichi, gli archeologi infatti scoprirono dei rivestimenti in compensato nelle tombe dei faraoni egiziani. In Egitto vi era una carenza di legno pregiato e al fine di salvare il legno di alta qualità per l'esterno dei mobili e di altri prodotti decorativi, gli egiziani incollavano fogli sottili di legno pregiato al legno di più bassa qualità. Nei primi anni del novecento, durante i lavori di scavo in Egitto sotto la guida del defunto archeologo britannico Howard Carter, furono scoperti molti articoli di arredo di interesse storico: per quanto riguarda il compensato, fu trovata la rete del letto nella tomba di Yuya e Tuia, i nonni della moglie di Tutankhamen. La testata, era chiaramente costruita secondo il principio del compensato, era impiallacciata con il legno di Laburno e intarsiata con oro e gioielli. Il metodo con cui fu tagliato o segato il legno e come fu lavorata la colla per tenere insieme l'impiallacciatura alla parte solida centrale, lascia tutt'ora di grande stupore chi lavora il legno.

Un'altro interessante esemplare, proveniente da una tomba reale della Terza Dinastia (Fig.1), fu un sarcofago di cui i lati erano fatti di sei strati di legno incollati saldamente insieme.

Fig. 1 Sarcofago reale della Terza Dinastia. Wood A.D., Plywoods, their development, manufacture and application, Edinburgh, W. & A.K. Johnston, 1950.



In un supplemento de "The Times", pubblicato nel Gennaio 1937, l'operazione commerciale con il defunto Quibell¹ durante gli scavi alle Piramidi di Djoser a Saqqara, fu dichiarato che: "sono state scoperte tracce di un impiego piuttosto moderno di compensato e anche di pannelli di legno".

Anche i cinesi antichi, mille anni fa adottarono una tecnica simile a quella degli egizi: sfogliavano il legno e lo incollavano insieme per il rivestimento dei mobili. I francesi e gli inglesi tra il 1600 e il 1700 iniziarono a lavorare il legno e a sperimentare i diversi tipi di compensato. Per quanto riguarda la Russia zarista, gli storici hanno danno credito per aver lavorato forme di compensato prima del XX secolo.

Si potrebbero citare innumerevoli mobili realizzati da artigiani inglesi e continentali di interesse storico, in particolare da Thomas Chippendale², Thomas Sheraton e Jean Henry Riesener, i quali diedero un'ampia prova delle durevoli proprietà dei mobili costruiti con il compensato.

Uno studio di questi pezzi antichi dimostrò che i difetti naturali del legname venivano totalmente riconosciuti e si pensa che la proprietà duratura dei mobili antichi sia un risultato, almeno in parte, dell'applicazione del principio di costruzione a incrocio.

Gli artigiani del diciottesimo e inizio diciannovesimo secolo usarono tutte le loro capacità e la loro creatività nell'esecuzione di ogni pezzo individuale. Nella costruzione della struttura principale dei loro pannelli, ogni singolo pezzo di legno, veniva attentamente selezionato prima di essere segato e unito agli altri pezzi. Solo quando il nucleo principale soddisfaceva l'occhio critico del designer, cominciava il compito ancora più complicato di assemblare le impiallaccature del legno scelto. In questo modo i vecchi maestri costruirono i loro pezzi di grande valore e conservarono così il principio di costruzione a incrocio.

¹ James Edward Quibell (Newport, 11 novembre 1867 – Hertford, 5 giugno 1935) è stato un egittologo britannico.

² Thomas Chippendale è stato un ebanista e designer inglese, conosciuto per lo stile artistico dei mobili da lui ideati, basati su una particolare morbidezza delle linee.

E' interessante capire come mai gli artigiani antichi preferirono lavorare con l'impiallacciatura del legno piuttosto che con il legno massello per decorare i loro mobili.

Plinio il Giovane, ad esempio, testimoniò che i ricchi romani erano soliti andare in Grecia e pagavano prezzi molto alti per tavole rivestite con impiallaccature di legni rari tropicali e orientali. Come mai queste tavole erano rivestite di impiallaccature? Innanzitutto il carattere prezioso di molti dei legni più belli deve aver avuto un'influenza restrittiva su coloro che li avrebbero usati in tavole solide. Per sfruttare al meglio questo materiale prezioso, veniva tagliato in fette sottili e le si dava forza incollandole al legno massiccio.

Era anche evidente a questi antichi artigiani che si potevano ottenere effetti molto belli accostando legni di colore diverso con le loro venature disposte ad angolature diverse per creare disegni geometrici o simmetrici (Fig.2). Queste disposizioni erano possibili solo in virtù del fatto che le tavole di legno fossero tagliate sottili, altrimenti l'unione di tavole spesse avrebbe presentato difficoltà insormontabili.

Negli anni successivi scoprirono che molti effetti decorativi potevano essere ottenuti tagliando attraverso le venature irregolari di una diramazione e di una radice. Alcuni legni, se tagliati in tavole, venivano distorti e rotti in modo tale da renderli privi di valore come materiale decorativo e possono essere utilizzati solo sotto forma di impiallacciato se supportati da una struttura solida. Il compensato in epoca moderna era tipicamente realizzato con legni duri decorativi e più comunemente utilizzati nella fabbricazione di oggetti per la casa, come armadi, cassetti, scrivanie e porte. Il compensato utilizzato per la costruzione e realizzato con legni morbidi, non apparve fino al XX secolo.

Fig. 2 Mobile di artigianato francese nel periodo di Luigi XV. Wood A.D., Plywoods, their development, manufacture and application, Edinburgh, W. & A.K. Johnston, 1950.



Il primo brevetto
del compensato

Il primo brevetto per il compensato è stato rilasciato a John K. Mayo il 26 dicembre 1865 a Witkowski, Londra. Egli ha anche ricevuto il brevetto RE3092, che è stato una rilettura del brevetto il 18 agosto 1868. Il rilascio descrive il suo compensato come "L'invenzione consiste nel cementare o altrimenti fissare insieme una serie di queste scale di fogli, con il granello dei pezzi successivi, o alcuni di essi, in direzione trasversale o diversa da quella degli altri..". Anche se Mayo ha inventato un nuovo tipo di legno, non ebbe uno spirito imprenditoriale, in quanto la storia non registra che abbia mai capitalizzato sui suoi brevetti.

Nel 1797 Samuel Bentham³, ingegnere navale britannico, chiese brevetti per diverse macchine per la produzione di impiallacciate. Nelle sue domande di brevetto, descrisse il concetto di laminazione: diversi strati di impiallacciatore incollati tra loro per formare un pezzo più spesso; la prima descrizione di ciò che ora chiamiamo compensato. I rivestimenti al tempo di Bentham erano piatti e sagomati o tagliati in frantumi, cioè tagliati manualmente in modo diverso o lungo il tronco in diversi angoli delle venature e quindi limitati in larghezza e lunghezza.

Circa cinquant'anni dopo, Immanuel Nobel⁴, padre di Alfred Nobel, si rese conto che diversi strati più sottili di legno legati insieme sarebbero stati più forti di un solo strato di legno; fu il primo a sviluppare il moderno compensato tagliato con un tornio a rotazione.

I soli produttori di mobili sfruttarono il principio della forza, data dall'incollaggio di tre strati di legno insieme, questo fino al 1870 in America dove ritroviamo la stessa teoria applicata alla costruzione di sedie.

Con lo sviluppo del tornio rotativo, diventa possibile realizzare l'impiallacciatore in fogli di grandi dimensioni, grazie anche all'applicazione del principio di costruzione a incrocio.

³ Samuel Bentham (Londra, 11 gennaio 1757 – Londra, 31 maggio 1831) è stato un ingegnere inglese. È noto per le innumerevoli innovazioni, particolarmente riguardanti l'ingegneria navale, inclusi gli armamenti.

⁴ Immanuel Nobel il giovane (Gävle, 24 marzo 1801 – Heleneborg, 3 settembre 1872) è stato un ingegnere, architetto, inventore e imprenditore svedese

Portland 1905: un nuovo settore nell'industria

Nel 1905, la città di Portland in Oregon si stava preparando ad ospitare l'Esposizione Universale come parte della celebrazione del centesimo anniversario della "Spedizione Lewis e Clark"⁵ .

Diverse aziende locali furono invitate a preparare una mostra per l'evento, tra cui una piccola fabbrica di porte di legno, la Portland Manufacturing (Fig.3) situata a St. Johns, un quartiere della città di Portland. Il proprietario e direttore della fabbrica Gustav Carlson, decise di laminare i pannelli di legno da una varietà di legni morbidi del Pacifico nord-occidentale. Utilizzò spazzole per cospargere la colla sui laminati e delle presse per comprimere il legno, per l'esposizione alla fiera vennero posati diversi pannelli. In occasione dell'esposizione il prodotto venne chiamato "Opera a tre strati di impiallacciatura", generò un notevole interesse tra i produttori di porte e armadi che decisero poi commissionare degli ordini. Dal 1907, la produzione di Portland aveva installato un distributore automatico della colla e una pressa a sezione. La produzione registrava un numero di 420 pannelli al giorno. E così nacque un nuovo settore.

I primi mercati del compensato

Nel 1896, Reval, il compensato si è evoluto principalmente nel mercato dei contenitori per il tè, e poco dopo si è evoluto il commercio del compensato a tre strati. In seguito numerose industrie cominciarono a operare in diverse parti d'Europa, alcune per soddisfare la crescente domanda del compensato a tre strati per scatoloni e per contenitori del tè, altri per costruire tavole speciali per gli ebanisti.

Durante i primi 15 anni l'industria del "softwood" si basava principalmente su un unico mercato: i pannelli per le porte. Ma nel 1920, il "super-venditore" Gus Bartells di Elliott Bay Plywood a Seattle iniziò a generare clienti nell'industria automobilistica. Bartells aveva già stabilito le prime concessionarie in legno compen-

⁵ La spedizione di Lewis e Clark (1804-1806), condotta da Meriwether Lewis e William Clark, fu la prima spedizione statunitense a raggiungere la costa pacifica via terra.

già stabilito le prime concessionarie in legno compensato in tutto il paese ed era altrettanto riuscito a far sì che i produttori di auto usassero il compensato per la scocca. Il mercato è scattato e l'industria ha goduto di una crescita costante durante l'età del Jazz. Nel 1929 c'erano 17 laminati di compensato nel Pacifico nord-ovest e la produzione raggiunse un record di 33 milioni di metri quadrati.

James Nevin: adesivo impermeabile

La mancanza di un adesivo impermeabile che rendeva il compensato adatto all'esposizione esterna, portò i produttori di automobili a passare dal compensato alle più durevoli tavole di metallo. Una svolta è avvenuta nel 1934 quando il dottor James Nevin (Fig.4), un chimico della Harbor Plywood Corporation di Aberdeen a Washington, finalmente sviluppò un adesivo completamente impermeabile. Questo progresso tecnologico ebbe il potenziale di aprire nuovi mercati significativi. Ma l'industria è rimasta frammentata. I sistemi di qualità e di classificazione dei prodotti variarono ampiamente. Le singole aziende non avevano le tecniche o nella maggior parte dei casi risorse di marketing per la ricerca, lo sviluppo e la promozione di nuovi usi per il compensato. L'industria cercò aiuto dalla sua associazione di categoria, la Douglas Fir Plywood Association.

Fig. 3 Portland Manufacturing. <https://www.apawood.org/apas-history>

Fig. 4 Dottor James Nevin in laboratorio. <https://www.apawood.org/apas-history>



Fondazione dell'associazione Douglas Fir Abatement

Furono numerosi i tentativi falliti per stabilire un'associazione di compensato nei primi anni del settore. Infine, il 17 maggio 1933, alcuni produttori di legno di abete si incontrarono presso l'antico Portland Hotel per discutere l'opportunità di adottare alcune pratiche commerciali prima che l'industria fosse costretta a farlo nell'ambito della legge nazionale di ripresa dell'epoca della Depressione. L'atto è stato successivamente dichiarato incostituzionale ma per un certo tempo ha fatto pressione sull'industria del compensato. Il 13 giugno 1933, la Douglas Fir Plywood Association ha tenuto la sua prima riunione regolare presso l'hotel Winthrop a Tacoma, Washington. La nuova associazione ha lottato fino a quando, nel 1938, assunse un leggendario guru di sviluppo commerciale, W. E. "Diff" Difford.

La standardizzazione e il miglioramento della qualità dei test aumentarono le vendite.

La Douglas Fir Plywood Association è stata tra i primi a trarre vantaggio da una legge del 1938 che consentiva la registrazione di marchi industriali che consentivano di promuovere il compensato come merce standardizzata, piuttosto che da nomi di marchi individuali. Nello stesso anno, FHA⁶ ha accettato il compensato esterno, basato in parte su un nuovo Standard Commerciale che includeva test di prestazione per il compensato interno ed esterno. Questi sviluppi hanno contribuito a chiarire la strada per una promozione più efficace dei vantaggi del compensato per l'industria delle costruzioni. "Dri-Bilt With Plywood" è diventato un famoso slogan pubblicitario. Più di un milione di case a basso costo di Dri-Bilt sono state costruite con sottofondi e rivestimenti PlyScord con marchio DFPA, soffitti e pareti PlyWall, supporti PlyPanel e PlyShield. Nel 1940, l'associazione sponsorizza "The House in the Sun", la prima di molte case dimostrative di compensato.

⁶ La Federal Housing Administration (FHA) è un'agenzia governativa degli Stati Uniti creata in parte dal National Housing Act del 1934. Imposta norme per la costruzione e la sottoscrizione e assicura prestiti fatti da banche e altri finanziatori privati per la casa. Gli obiettivi di questa organizzazione sono migliorare le norme e le condizioni di alloggio, fornire un adeguato sistema di finanziamento di casa attraverso l'assicurazione di mutui ipotecari e per stabilizzare il mercato dei mutui. Il Commissario in carica dell'FHA è Biniam Gebre.

Il compensato va in guerra

La Prima Guerra Mondiale è stata sicuramente responsabile del forte e veloce sviluppo nel campo aeronautico e ingegneristico. Il compensato è stato dichiarato un materiale essenziale per la produzione di navi e aeroplani da guerra, per questo, la produzione e la distribuzione furono sottoposti a rigidi controlli. L'industria del settore, che al momento contava 30 impianti, produsse annualmente tra 1,2 e 1,8 miliardi di metri quadrati di compensato. Le industrie di compensato sorsero ovunque. La marina pattugliò il Pacifico con imbarcazioni realizzate in compensato, l'Air Force compì missioni di ricognizione con alianti di compensato e l'esercito attraversò il fiume Reno in barche da combattimento in compensato. C'erano migliaia di accessori per la guerra di legno compensato: dalle casse per contenere parti di macchine, a rifugi per i famosi Seabees⁷ nel Pacifico del Sud, alle imbarcazioni di salvataggio su centinaia di navi che avevano mantenuto linee di approvvigionamento nell'Atlantico e nel Pacifico.

Con la fine della guerra, l'industria si è orientata a soddisfare la crescente domanda della crescente economia postbellica. Nel 1944, i 30 impianti dell'industria produssero 1,4 miliardi di metri quadrati di compensato. Nel 1954, l'industria era cresciuta a 101 impianti e la produzione si avvicinava a 4 miliardi di metri quadrati. Nello stesso anno, l'Istituto di Ricerca di Stanford predisse che la domanda di compensato sarebbe aumentata a 7 miliardi di metri ai prossimi 20 anni in futuro. Anche se alcuni erano scettici, la produzione raggiunse i 7,8 miliardi di metri in soli cinque anni e solo nel 1975 la produzione statunitense superava i 16 miliardi di metri quadrati, più che raddoppiando le previsioni.

Fig. 5 Prima Guerra Mondiale.
<https://www.apawood.org/apas-history>



⁷ I Seabees sono ingegneri militari della United States Navy. I soldati di queste unità sono inquadrati in construction battalions (letteralmente battaglioni da costruzione) e si occupano di edificare e mantenere le opere infrastrutturali della marina in tempo di pace e di guerra.

Il compensato va verso
nord

Con le sue ricche risorse forestali, era naturale che il Canada si unisse a ciò che sarebbe diventato un vero e proprio settore del legno compensato nordamericano. Il primo compensato canadese è stato prodotto nel 1913 a Fraser Mills, nel New Westminster, nella British Columbia, ma solo nel 1935 è stato aperto un secondo impianto, dalla società H.R. MacMillan. Nel 1950, cinque società canadesi fondarono l'Associazione dei Produttori di Compensati della Columbia Britannica (PMBC), che finalmente si è evoluta nell'attuale Associazione Canadese di Compensato (CAN-PLY). La Canadian Standards Association pubblicò il primo standard di compensazione canadese nel 1953 sulla base delle specifiche sviluppate da PMBC.

Per più di mezzo secolo l'industria del compensato del softwood era situato esclusivamente nel nord del Pacifico e nella Columbia Britannica usando la vasta offerta di abete Douglas della regione. Fino alla metà del secolo, non era noto come coltivare efficacemente l'impiallacciatura delle specie di legno di quercia prodotta in altre regioni. Nel 1964 la Georgia Pacific Corporation grazie a un ampio lavoro di ricerca e sviluppo, aprì il primo impianto di legno di pino a sud, a Fordyce, in Arkansas. La Douglas Fir Plywood Association cambiò il suo nome nello stesso anno per riflettere il fatto che l'industria del compensato era ormai nazionale. Oggi, circa due terzi di tutti i compensati U.S. vengono prodotti nel Sud.

Il progresso tecnologico

Il compensato è stato uno dei primi materiali ad essere realizzato unendo insieme pezzi di legno tagliati per formare una unità composita più spessa, più forte e più rigida della somma delle sue parti. Gli strati trasversali di impiallacciatura effettivamente migliorano sui vantaggi strutturali del legno distribuendo la solidità strutturale in entrambe le direzioni. Questa idea di "ricosti-

tuire" la fibra di legno per produrre materiali da costruzione ha portato in tempi più recenti ad una rivoluzione tecnologica e all'aumento di un'intera industria dei prodotti in legno. Alla fine degli anni '70 e all'inizio degli anni '80, il principio del compensato ha dato origine all'industria OSB (Oriented Strand Board), invece di lastre di impiallacciatura solide, l'OSB è fatta di piccoli fili di legno incollati in strati laminati. Altri prodotti di legno ingegneristici oggi comprendono i travetti in legno laminato incollato e legname di filo orientato. Questi prodotti non solo offrono prestazioni superiori, ma ottimizzano preziose risorse forestali.

Capitolo 2

Storia dei mobili in
compensato



2. Storia dei mobili in compensato

È sempre stato ipotizzato che la storia del compensato fosse principalmente quella della produzione di lastre piane, ma non è stato così. Tra il 1850 e il 1890 il compensato stampato era la forma più comune del design del prodotto e del mobile, il motore dell'innovazione nel suo utilizzo.

Fig. 6 Belted Chair, 1860.

<https://www.lozidesigns.com/new-blog/2017/10/2/plywood-material-of-the-future>

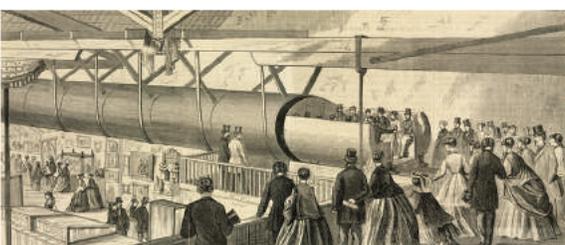


Belted chair, 1860

La parte posteriore di questa sedia (Fig.6), realizzata intorno al 1860, è stata realizzata con il compensato stampato. È stato lavorato secondo una tecnica per la modellazione di mobili brevettati a New York nel 1858 da John Henry Belter. La sua tecnica ha aumentato notevolmente la velocità di produzione e ha ridotto i costi di produzione, poiché gli schienali possono essere prodotti in lotti di otto usando un singolo stampo.

Fig. 7 Ferrovia sopraelevata, 1867.

<http://www.find.net/art-and-design/2017/Jul/12/-beneath-the-ve-neer-our-unbending-fascination-with-plywoodg/2017/10/2/plywood-material-of-the-future>



Ferrovia sopraelevata, 1867

Durante il 1800 i progettisti e gli ingegneri stavano esplorando nuovi metodi per occuparsi delle strade sempre più affollate e caotiche. Nel 1863 Londra apre la prima ferrovia sotterranea al mondo (Fig.7), un'impresa incredibile di ingegneria ma con diversi difetti fondamentali: era molto costoso costruire la metropolitana e la qualità dell'aria nelle gallerie era scarsa. Tuttavia, ha avuto molto successo per ridurre la congestio-

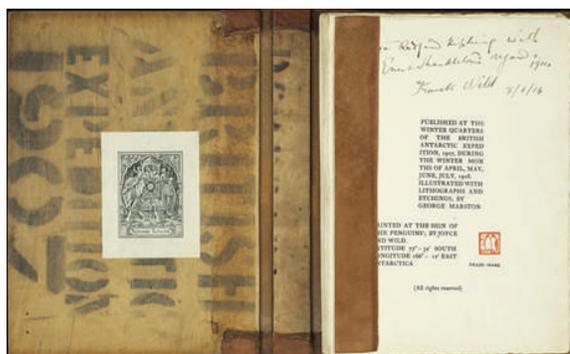
ne e presto anche le altre città cominciarono a sperimentare con le ferrovie che spinsero il traffico fuori dalle strade. Nel 1867 un prototipo di ferrovia sopraelevata lunga 107 metri, realizzata interamente con un tubo in compensato stampato, è stato esposto presso la American Institute Fair di New York¹. Su questo treno vennero trasportate settantacinquemila persone. Il progettista, Alfred E. Beach, prevedeva che la ferrovia fosse installata in tutta la città, sollevata sopra le strade su supporti colonnari o attaccati ai lati degli edifici. La resistenza e la leggerezza del compensato lo hanno reso un'alternativa buona e conveniente a una ferrovia sotterranea di ghisa.

Copertina e rilegatura per Aurora Australis, 1908

A partire dal 1880 le lastre di compensato cominciarono ad essere fatte su larga scala. In particolare una compagnia russa di nome "A. M. Luther" si stava espandendo e cominciò a fabbricare quantità enormi di compensato, e la loro produzione riguardava principalmente cassettiere e imballaggi.

Queste scatole di imballaggio in compensato guadagnarono una particolare notorietà grazie al loro impiego per la Spedizione Antartica Ernest Shackleton, 1907-09. La spedizione richiedeva oltre 2500 scatole per trasportare provviste e attrezzature. Il compensato è stato scelto per la sua leggerezza e la sua resistenza. I box erano in grado di sopportare condizioni estreme antartiche, tra cui essere sepolti sotto il ghiaccio durante le bufere di neve. Sono poi stati riutilizzati in diversi modi dall'equipaggio: per realizzare i mobili destinati alle loro residenze e per la copertina e rilegatura di Aurora Australis (Fig.8), il primo libro ad essere scritto, illustrato, stampato, pubblicato e rilegato in Antartide.

Fig. 8 Copertina per Aurora Australis, 1908.
<https://www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-plywood>



¹ L' American Institute Fair si tenne ogni anno dal 1829 fino ad almeno il 1897 a New York dall'istituto americano .L'American Institute fu fondato nel 1829 "per l'incoraggiamento dell'agricoltura, del commercio, dei manufatti e delle arti".La fiera è a volte considerata la prima fiera mondiale negli Stati Uniti , anche se era abbastanza piccola per gli standard successivi, attirando circa 30.000 partecipanti all'anno. Si è tenuto al Niblo's Garden di New York prima di essere trasferito al Crystal Palace di New York

Canoa di Haskell, 1917

Le canoe come questa sono state prodotte dalla ditta americana Haskell (Fig.9) dal 1917 e vendute in grande quantità. Sono state realizzate stampando un singolo pezzo di compensato utilizzando una colla resistente all'acqua che è stata sviluppata dalla società. Le canoe risultavano incredibilmente leggere, con un peso inferiore ai 27 kg e molto resistenti.

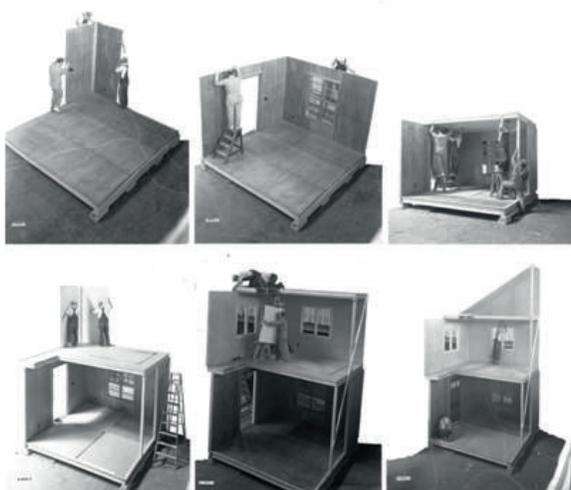
La campagna pubblicitaria della società si è concentrata sulla resistenza e sulla durabilità della canoa. Gli annunci mostravano la canoa che sosteneva "sette uomini adulti e uno scafo pieno di sabbia umida per un totale di 1551 kg".

La società Haskell successivamente utilizzò la propria esperienza nella tecnica degli stampaggi stampati e resistenti all'acqua nella produzione di aeromobili e veicoli in compensato.

Fig. 9 Canoa Haskell, 1917.
<https://www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-plywood>



Fig. 10 Forest Product Laboratory, 1937.
<https://www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-plywood>



Forest Product Laboratory (FPL), 1937

Negli Stati Uniti i progetti per la creazione di case prefabbricate a buon mercato fiorirono nel corso degli anni '30, a causa di un'elevata disoccupazione e da una scarsità di alloggi a basso costo durante la Grande Depressione. I progetti per le case prefabbricate si focalizzavano sulla rapida costruzione e facile smontaggio. Il compensato è stato perfettamente adatto per sistemi di pannelli standardizzati e leggeri che potevano essere prodotti in fabbrica e assemblati in loco. L'invenzione di colle sintetiche alla metà degli anni '30 ha agevolato i produttori di compensato che avrebbero potuto produrre nuovi compensati impermeabili, ideali per l'uso esterno.

Durante la depressione, il FPL ha pubblicato i disegni per una casa sperimentale di "tutto legno" (Fig.10) che

poteva essere prodotta in fabbrica utilizzando pannelli in compensato standard e rapidamente eretto sul sito. Nel 1936 costruirono una casa dimostrativa presso il Madison Home Show. Dodici mila visitatori si meravigliarono del fatto che le parti furono prefabbricate e che la casa potesse essere costruita da sette uomini in sole 21 ore.

DKW Auto, 1938

Nel corso del XX secolo i progettisti e gli ingegneri hanno sperimentato il compensato come materiale per la costruzione del veicolo. Spesso più forte, più leggero e più elastico del metallo, il compensato è stato usato piatto e anche modellato per i corpi delle automobili, dei sidecars e dei furgoni. L'uso del compensato nelle automobili è stato spesso influenzato dalle applicazioni sull'aeroplano e dai disegni delle barche, proprio perché diverse aziende lavoravano in molti di questi campi. L'imprenditore francese Georges Lévy, per esempio, ha progettato i sidecars in compensato e gli idrovolanti, i galleggianti sugli idrovolanti essenzialmente riutilizzano la forma arrotondata del corpo del sidecar.

Dal 1928, l'azienda tedesca DKW² ha utilizzato il compensato stampato per il corpo delle auto (Fig.11) a prezzi accessibili. Combattendo il pregiudizio che il compensato fosse meno affidabile del metallo, DKW ha sottolineato le sue proprietà uniche: forte e di alta resistenza meccanica, facile da riparare e più tranquillo sulla strada. Le pubblicità di DKW hanno dimostrato la forza del compensato e le moderne credenziali industriali mostrando le fotografie di lavoratori di fabbrica che si posizionavano in piedi su un pannello di compensato, equilibrato sul tetto di una delle loro auto.

Fig. 11 DKW Auto (Model 7), 1938.
<https://www.vam.ac.uk>



² La DKW è stata una fabbrica tedesca di automobili e motocicli fondata a Chemnitz in Sassonia nel 1916. Il fondatore fu l'ingegnere danese Jørgen Skafte Rasmussen che la costituì per produrre automobili con motore a vapore (la sigla stava per Dampf-Kraft-Wagen, cioè vettura spinta dal vapore).

Aeroplano Mosquito, 1941

L'uso più tecnologicamente significativo del compensato dal 1910 al 1945 è stato l'applicazione per il design dell'aeroplano. La sua forza e leggerezza consentivano la costruzione di nuovi aerei radicali che rivoluzionarono la natura del volo. All'inizio degli anni '10, gli esperimenti innovativi con il compensato stampato consentivano la realizzazione delle prime fusoliere dell'aeroplano chiuse e aerodinamiche. Queste conchiglie in multistrato stampato, note come 'monoscocca', erano abbastanza forti da essere autoportanti. La fusoliera "monoscocca" rivoluzionaria divenne un elemento standard nel futuro disegno aereo.

Il mosquito britannico de Havilland (DH-98) (Fig.12) è stato l'aereo più veloce e quello che ha volato più in alto della seconda guerra mondiale. La sua fusoliera monoscocca in compensato stampato l'ha reso abbastanza veloce per volare senza armi difensive. Il Ministro dell'Aeronautica inizialmente voleva commissionare un aereo di metallo. De Havilland li ha convinti a sperimentare Mosquito come un progetto a basso costo, che poteva essere realizzato utilizzando i lavoratori di mobili e altre fabbriche di lavorazione del legno in Gran Bretagna, Australia e Canada.

Fig. 12 British Mosquito De Havilland, 1941.
© de Havilland Aircraft Museum



Fig. 13 Protesi disegnata da Charles and Ray Eames, 1942. Museum no. W.31-2016. © Eames Office, LLC (eamesoffice.com); DCM chair, disegnata da Charles and Ray Eames, 1945.



Charles e Ray Eames

I progettisti americani Charles e Ray Eames hanno sperimentato il compensato durante la seconda guerra mondiale, sviluppando un metodo per modellare forme curve complesse. Nel 1942 hanno progettato un tutore (Fig.13), caratterizzato da una struttura leggera in compensato stampato per la US Navy. Più tardi nella guerra continuavano a realizzare parti di compensato per aerei.

Nel 1940, il concorso "Organic Design in Home Furnishing" bandito dal Museo d'arte moderna di New York, fu vinto da Eames e Eero Saarinen, che presentarono diversi progetti per sedie e soluzioni per mobili componibili. Il modello principale ideato da Eames fu la sedia DCM (Fig.13), avente lo schienale e il sedile in elementi di compensato curvato e il supporto realizzato con due tondi di acciaio curvati a formare le quattro gambe, collegati da un terzo tondo che connette sedile e schienale. La parte di legno risulta di sottile spessore ed è resa elastica da tondi di gomma disposti nei punti di connessione.

È stato uno dei modelli più influenti della seconda metà del XX° secolo ed è stato imitato e adattato dai designer di tutto il mondo.

Un altro esempio di modello realizzato col compensato di Eames fu la "Upholstered lounge chair and ottoman" del 1957, che apre la serie delle poltrone con poggiatesta.

Barca a vela Specchio, anni '60

Gli anni '50 e '60 hanno visto un'esplosione del fai-da-te. Il compensato era particolarmente adatto per lavorare a casa. Facile da modellare, non richiedeva utensili complicati, era facile per la lavorazione di un dilettante e si integrava facilmente alla cultura del tempo libero dopo la guerra.

La barca a vela Specchio (Fig.14), era fatta prevalentemente di compensato marino, era e rimane una delle barche più popolari del XX e XXI secolo. Venduto come un kit di parti per l'assemblaggio a casa, era destinato ad essere accessibile e destinato ad un ampio mercato di marinai principianti. La barca usava un metodo di costruzione pubblicizzato come "Punto e colla" in cui i

Fig. 14 Barca a vela Specchio, 1960.
<http://myboatplanspdf.com/tag/mirror-dinghy-plans>



pannelli di compensato venivano uniti dal filo di rame filettato attraverso dei fori. Questo ha permesso una costruzione molto semplice anche da parte dei principianti privi di esperienza nella lavorazione del legno.

Opendesk, 2013

Il compensato è uno dei materiali più comuni dell'era digitale. I creatori e i progettisti condividono progetti di compensato in tutto il mondo, distribuendo sequenze di taglio digitale per macchine CNC (Computer Numerical Control) o con video e immagini pubblicate online. La società Opendesk non detiene titoli e opera interamente online. Sotto un sistema di produzione distribuita i loro disegni possono essere scaricati ovunque nel mondo per il taglio su un router CNC, una macchina controllata da computer che taglia con un bit rotante chiamato terminale. Gli utenti possono realizzare loro stessi i mobili (Fig.15) oppure essere messi in contatto con un produttore locale. Praticamente tutti i disegni Opendesk sono in compensato. Il materiale è stato scelto dopo il bilanciamento del costo, della disponibilità e della standardizzazione globale per garantire una costruzione uniforme.



Fig. 15 Opendesk, 2013.
© Opendesk. Photograph Victoria and Albert Museum, London



Capitolo 2.1

Alvar Aalto

2.1 Alvar Aalto

Alvar Aalto, architetto e designer del movimento moderno nasce a Kuortane in Finlandia nel 1898 e muore a Helsinki nel 1976.

È stato un grande autore finlandese, che ha vissuto in un ambiente culturale e sociale particolare, nel 1917 la Finlandia ha ricevuto l'indipendenza e come tutti i Paesi di recente formazione, voleva trovare una propria identità, anche architettonica, cosa che viene fatta da Aalto. Lo stile di Alvar Aalto è caratterizzato da due matrici: la prima di tendenza romantica tipica del nord e con una ripresa dei temi nazionalistici, quindi ripresa di costruzioni di tipo nazionale, come tetti di paglia, uso del legno e granito rosso; la seconda è di impostazione classica, che prende soprattutto da Asplund che propone un classicismo di taglio romantico con maggiore inserimento nell'ambiente naturale, unita ad una ripresa classica estremamente essenziale.

Il tema principale di Aalto è il confort dell'uomo ed è il principale esponente della corrente organica, più libera e spontanea, che rompe gli schemi della classicità, si confonde nel paesaggio e usa certi tipi di materiali; anche se nella prima parte della sua vita risente del clima razionalista e funzionalista.

Quadro culturale finlandese

Per comprendere a fondo il pensiero e le teorie di Alvar Aalto è necessario analizzare prima l'ambiente culturale nel quale egli è nato e vissuto.

La Finlandia, Paese di origine dell'architetto, per molto tempo non fu riconosciuta come una nazione ma come un territorio appartenente ai diversi Stati confinanti quali la Svezia e la Russia. Nell'Ottocento, si inizia a sentire l'esigenza di recuperare il patrimonio culturale della tradizione popolare e dei costumi antichi. Da qui ebbe inizio una forte spinta nazionalista di recupero della propria identità che diede origine ad una rinascita culturale molto forte che caratterizza lo spirito finlandese dei primi del Novecento. Molti intellettuali ed artisti appoggiarono e condivisero questi ideali: pittori, musicisti, architetti e designer, tra cui Alvar Aalto.

L'impiego del legno

Alvar Aalto, negli anni Venti del Novecento entra in contatto con l'idea di standardizzazione sviluppata al Bauhaus e inizia a criticarle. Aalto ritiene che la standardizzazione industriale abbia interrotto la linea evolutiva dello sviluppo del progetto per creare una linea di prodotti simili per tutti ed adattabili ad ogni luogo, pensa che abbia interrotto il forte legame tra il progetto e l'ambiente nel quale ha avuto sviluppo e quindi tra l'uomo e l'ambiente in cui vive e infine sostiene che l'industrializzazione abbia creato una noiosa uniformità della forma che ha distrutto il significato mitico, psicologico ed affettivo che ogni oggetto assume per chi ne fa uso.

Secondo Alvar Aalto la standardizzazione tecnologica che porta all'uniformità delle forme e crea problemi di disagio emotivo, non è l'unica standardizzazione possibile; anche la natura può offrire una standardizzazione, producendo però una continua variabilità nelle

forme. Da queste riflessioni Alvar Aalto prende spunto per elaborare una sua teoria, alla quale arriva attraverso diverse analisi, tra cui quella della storia culturale finnica. Egli inizia così a studiare la cultura pratica progettuale dei popoli del nord e i materiali di cui da sempre essi si sono serviti per costruire gli utensili; pone molta attenzione sul rapporto tra uomo e natura e studia con attenzione le forme naturali, in particolare la conformazione territoriale della sua nazione, giungendo a sostenere che la natura ovunque applica una struttura di contorno affiancandola poi, ad un tamponamento. Un'importante spunto per le sue idee è stata anche la filosofia vitalistica sviluppata da Yrjö Hirn³ che sostiene che in ogni campo non possa essere attuata un'analisi solamente quantitativa, perché in ogni cosa vi è qualcosa che va oltre la quantità, ovvero qualcosa di qualitativo. Ed anche "Von material zu architektur" ("Dal materiale all'architettura"), uno scritto di Lazlo Moholy-Nagy, indirizza in questo senso i pensieri di Aalto: in questo libro la parola "biologico" è da intendere, generalmente, come la legge della vita che garantisce un organico sviluppo.

Il passaggio da questo momento di teorizzazione alla sua messa in pratica avviene in seguito alle riflessioni fatte analizzando la qualità della produzione dei mobili in legno fatta da Henry Van de Velde, che "sognò di fondere il legno", e studiando le sedie in tubolare metallico piegato di Marcel Breuer. Aalto ritiene che il metallo non sia un materiale adeguato alla produzione di mobili che entrano in contatto con il corpo umano, questo perché l'uomo deve soddisfare dei bisogni fisici ed emozionali, e poiché il metallo è un materiale con conducibilità termica e non offre buone sensazioni al tatto, non soddisfa questi bisogni. L'oggetto d'uso non

³ Yrjö Hirn (7 dicembre 1870, Lappeenranta - 23 febbraio 1952 Helsinki) era un professore finlandese, diplomatico e saggista che era il più famoso scienziato finlandese del mondo.

può essere frutto solo di un'analisi razionale, l'oggetto d'uso deve offrire anche emozionalità a chi ne usufruisce.

Aalto dopo aver capito che uno dei fattori fondamentali della progettazione è emozionare l'utente, giunge alla conclusione che il materiale più opportuno da impiegare sia il legno. Il legno, infatti, ha affinità con l'uomo grazie alla sua limitata conducibilità termica e alla buona sensazione tattile che offre. E' chiaro come Alvar Aalto non abbia fatto ritorno all'impiego del legno per semplice nostalgia delle tradizioni ma in seguito a determinate riflessioni. Inizia quindi la sua vasta produzione di sedie, sgabelli e poltrone in legno. Tale produzione si afferma anche grazie alla fondazione, nel 1931, a Turku, dell'Artek, azienda che si occuperà della produzione di tutti gli oggetti progettati da Aalto. La caratteristica principale di tutti questi oggetti è la particolare forma della struttura lignea. Infatti, con l'aiuto dell'ebanista Otto Korhonen⁴, Alvar Aalto inizia a fare degli esperimenti sulla lavorazione del legno, cercando di capire quale sia la struttura che lo compone e come possa essere smontata per ottenere nuove forme. Aalto fa ricorso all'impiego del legno di betulla caratterizzato da una struttura interna in lunghe fibre affiancate, come se fossero tanti tondini affiancati e raggruppati insieme; questo tipo di legno offre la possibilità di essere smontato nelle singole fibre lungo le venature. Dopo aver effettuato quest'operazione, Aalto riorienta le fibre a seconda delle forme che vuole ottenere per le strutture dei suoi mobili e le fissa con dei collanti in modo definitivo, ottenendo delle forme che seguono gli assi x, y e z e quella che egli chiama "piegatura a ginocchio" avente forma di ventaglio. E' interessante sottolineare il fatto che la teorizzazione di

⁴ La fabbrica di mobili Korhonen fu fondata nel 1910 come fabbrica di mobili a Kaarina Littoinen, conosciuta soprattutto come la fabbrica di mobili Artek progettata da Alvar Aalto.

Il compensato nelle opere di Aalto

Alvar Aalto trova le prime applicazioni nel design e solo successivamente nell'architettura. Indubbiamente va tenuto in conto come tutti gli arredi da lui progettati siano pensati in relazione alle architetture e il contesto per il quale sono progettati.

Dagli anni Venti, gli architetti e i designer modernisti cominciarono a sfruttare la capacità del compensato di essere modellato facilmente in forme curve. Il compensato è stato particolarmente interessante in quanto considerato un materiale industriale: è stato adatto alla produzione di massa e la sua produzione industriale ha simboleggiato la nuova età della macchina.

Questo materiale fu impiegato per la realizzazione dei mobili sin dal XVIII° secolo in vari Paesi, fu usato da Adam, dagli artigiani dello stile Biedermeier, da Thonet e altri, sia in forma di lastre che di verghe, il precedente più significativo dei mobili moderni è costituito dalla sedia in legno compensato e curvato brevettata a New York da Isaac Cole nel 1874 (Fig.15), ma questi precedenti erano poco noti ad Aalto negli anni Trenta. Prima di approdare alla tecnica del compensato, Aalto si ispira a Thonet, poi studia il procedimento per la fabbricazione degli sci da neve, impiegato già da decenni nei Paesi nordici e infine la tecnica della piegatura del legno, non solo col vapore come faceva Thonet, ma sfruttando l'umidità naturale del legno di betulla finlandese.

Il modello più famoso realizzato con questa tecnica è la poltrona del 1935, in cui sedile e schienale sono ricavati da un'unica lastra di compensato curvato, collegata a due strisce più spesse di legno laminato a forma di U.

Fig. 15 Sedia in compensato di Isaac Cole, 1874.
<http://www.scalarchives.it>



Un altro modello simile è la sedia progettata per il Sanatorio pubblico di Paimio in Finlandia (Fig.17). Il sedile in compensato sottile, leggero e curvo è sospeso tra due telai stretti.

La tecnica produttiva sperimentata da Aalto per il compensato, si evolve con la progettazione dei suoi sgabelli (Fig.16). Quelli disegnati negli anni Trenta hanno i sostegni nelle solide gambe di compensato curvato e il sedile circolare è sovrapposto ad esse; gli sgabelli disegnati negli anni Cinquanta, hanno i sostegni di elementi compensati, ma sono composti in modo da aprirsi a ventaglio andando a formare il piano del

Fig. 16 Sgabelli X600 di Alvar Aalto per Artek, 1950.
<https://www.pamono.it>



Fig. 17 Poltrona Paimio di Alvar Aalto, 1932.
© Alvar Aalto Museum. Photograph Victoria and Albert Museum, London



Arne Jacobsen

Fig. 18 Grand Prix Chair di Arne Jacobsen, 1957.
<https://fritzhanzen.com>



Fig. 18 Ant Chair di Arne Jacobsen, 1952.
<https://fritzhanzen.com>



Arne Jacobsen è stato un architetto e designer danese, nato a Copenaghen nel 1902.

È stato influenzato principalmente dai movimenti d'avanguardia degli anni Venti, quali il De Stijl e Bauhaus e dalla tradizione costruttivista dell'architettura danese, caratterizzati da un equilibrio tra una purezza dei volumi e delle superfici.

Arne Jacobsen tra gli anni Cinquanta e Sessanta produsse diversi modelli di sedie sfruttando le proprietà del compensato piegato e sagomato. La più celebre, la Ant Chair, 1952, (Fig.18) così chiamata perché riprende le forme del corpo di una formica, venne progettata per la mensa della casa farmaceutica Novo Nordisk. È costituita dal sedile schienale composto da un unico pezzo di compensato curvato e da un telaio con gambe in tubolare metallico. La flessibilità e la sottigliezza del compensato conferivano alla sedia più comfort ed elasticità. Un problema da risolvere fu il fissaggio tra il sedile e il telaio metallico, Jacobsen infatti non voleva un fissaggio diretto tra il sedile e il telaio tramite viti e bulloni, così pensò di incollare un disco di compensato nella parte inferiore del sedile così da poter fissare le gambe con le viti e non averle in vista, sia per una questione estetica che di comfort. La sedia Grand Prix, 1957, (Fig.19) è stata realizzata con la stessa tecnica e lavorazione a differenza del telaio che non era in metallo ma in legno curvato caratterizzato da una sezione triangolare.



Capitolo 3

Il compensato:
lavorazione, classificazione
e tipologie di legni

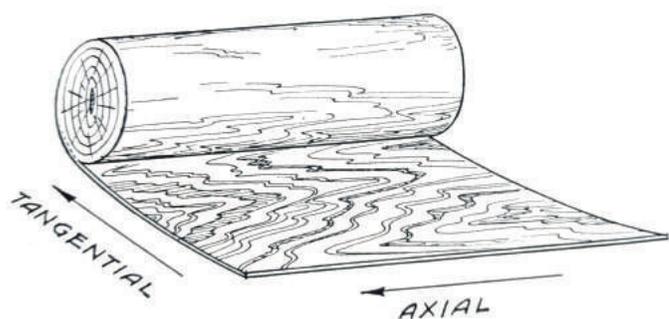
3. Il compensato: lavorazione, classificazione e tipologie di legni

La lavorazione del compensato

Il compensato è un pannello composto da strati di materiale legnoso ottenuti dalla lavorazione di sfogliatura del tronco che, dal taglio tangenziale (Fig.19), permette di ottenere un sottile foglio di legno continuo. Quest'ultimo viene tagliato in altri fogli che abbiano le dimensioni adeguate a stare insieme con il pannello finale, successivamente vengono essiccati per diminuire l'umidità del pannello e renderla idonea al processo di incollaggio e all'ambiente di impiego.

Questi fogli vengono quindi selezionati in base alle classi di qualità e sovrapposti in strati con la fibratura incrociata e a disposizione simmetrica rispetto allo strato centrale. L'applicazione del collante su entrambi i lati dei fogli che formano gli strati del pannello in composizione, insieme alla successiva pressatura, consentono di ottenere il tutto solido e con lo spessore finale richiesto. Il pannello che ne deriva viene infine squadrato, calibrato, levigato e collaudato. La disposizione incrociata, con strati a fibratura del legno longitudinale che si alternano a quelli adiacenti con fibratura trasversale, consente di compensare le variazioni dimensionali del pannello conseguenti a quelle della sua umidità, limitando così il comportamento anisotropo tipico del legno. Questo consente di ottenere un materiale con elevata uniformità di prestazioni meccaniche nel piano del pannello.

Fig. 19 Taglio del tronco. Wood A.D., Plywoods, their development, manufacture and application, Edinburgh, W. & A.K. Johnston, 1950.



L'utilizzo di fogli sottili ma di ampia estensione superficiale elimina quasi totalmente il rigonfiamento dovuto all'assorbimento di umidità che spesso si verifica in altri pannelli a base di legno. Nei riguardi della tenuta di chiodi e viti, il compensato si comporta in maniera simile al legno massiccio e decisamente meglio di altri pannelli.

I legni più utilizzati per la realizzazione di pannelli stratificati sono i legni dolci come il legno di pioppo e il legno di betulla, le conifere e in particolare l'abete. Esistono compensati prodotti con legni duri più pregiati come il faggio, il teak, l'okumè che vengono utilizzati solo per la parte esterna del pannello in fogli sottili, come anche il noce, il rovere e il palissandro mentre la struttura interna viene sempre realizzata con i legni dolci.

Classificazione del pannello

La norma di prodotto per il compensato è la **UNI EN 636**¹. Il compensato viene classificato in base alla tipologia di legno utilizzata per comporre il pannello, all'aspetto superficiale delle facce, alla composizione omogenea o mista, al tipo di adesivo, alla durabilità naturale del legno intesa come resistenza agli agenti del biodegradamento e infine dal tipo di impiego strutturale o meno. L'insieme di queste variabili è in grado di determinare le caratteristiche estetiche e prestazionali del prodotto e le sue destinazioni d'uso. **La classe di qualità** del compensato è determinata sulla base di un esame visivo dell'aspetto superficiale delle facce del pannello facendo riferimento alle norme **UNI EN 635-1 e 635-2**², le diverse classi E, I, II, III e IV corrispondono ad una presenza crescente di difetti.

Classi di utilizzo, di incollaggio e durabilità biologica.

L'idoneità di un pannello all'impiego in un determinato ambiente si basa sulla valutazione delle condizioni di umidificazione dell'ambiente di posa e sul rischio di

¹ La norma specifica i requisiti per i pannelli di legno compensato per un utilizzo generale (applicazione non strutturale) e per un utilizzo strutturale in condizioni secche, umide o all'esterno.

² La norma specifica i metodi per la misurazione e l'espressione delle caratteristiche e dei difetti utilizzati per la classificazione dei pannelli di legno compensato in base all'aspetto delle facce.

attacco agli agenti di degrado biologico che sono considerati nelle classi di utilizzo definite dalle norme **UNI EN 335**³. Queste individuano situazioni generali di esposizione agli agenti atmosferici progressivamente più severe dalla prima all'ultima classe e in grado di influenzare diversamente lo sviluppo di organismi xilofagi potenzialmente attivi.

La classe di utilizzo 1 è determinata da un **ambiente interno e secco**: riguarda situazioni in cui il pannello è riparato, completamente protetto da agenti atmosferici e posto in opera in ambienti a bassa umidità dell'aria, in cui non c'è rischio di attacchi fungini.

La classe di utilizzo 2 è caratterizzata da un **ambiente interno umido o esterno sotto copertura**: corrisponde a situazioni in cui il pannello è riparato, protetto dall'azione diretta di agenti atmosferici ma in cui un'elevata umidità dell'ambiente può determinare un'umidificazione occasionale ma non persistente che lo espone ad un rischio di attacchi fungini. L'uso del compensato come componente di un mobile da cucina, bagno o messo in opera in locali umidi e poco areati è ad esempio riferibile a questa classe e, se non sono previsti requisiti estetici legati alla possibilità di sviluppo di macchie superficiali, può essere ammesso senza particolari precauzioni.

La classe di utilizzo 3 è determinata da un **ambiente esterno**: riguarda situazioni in cui il pannello non è riparato da agenti atmosferici ma non è a contatto con il terreno od acqua stagnante. Le condizioni previste da questa classe corrispondono ad esposizioni tipiche di ambienti esterni in grado di determinare un'umidificazione persistente del pannello ed un conseguente rischio di degrado biologico.

La norma prevede anche le **classi di utilizzo 4 e 5**, che fanno riferimento a situazioni di impiego ancor più

³ Essa definisce cinque classi di utilizzo che rappresentano le diverse situazioni di servizio alle quali possono essere esposti il legno e i prodotti a base di legno. La norma inoltre indica gli agenti biologici pertinenti ad ogni situazione.

gravose nei confronti del rischio di biodegradamento, in quanto il legno si trova **a contatto con il terreno o acqua dolce o salata** ed è permanentemente esposto ad umidificazione. In tali ambiti è possibile usare solo specifiche tipologie di compensato, in grado di resistere alle sollecitazioni ambientali. La capacità di un pannello di soddisfare le esigenze delle varie classi di utilizzo dipende in primo luogo dalle caratteristiche dell'incollaggio.

La qualità dell'adesione tra gli strati del pannello è basata sulla sua resistenza all'umidità ed è regolata dalle norme **UNI EN 314⁴** che prevedono le seguenti classi di incollaggio sia per impieghi non strutturali che strutturali:

- **Classe di incollaggio 1**, per uso in ambiente secco tipicamente ottenuta utilizzando adesivi ureici;
- **Classe di incollaggio 2**, per uso in ambiente umido in genere ottenuta con adesivi ureici rinforzati;
- **Classe di incollaggio 3**, per uso in ambiente esterno solitamente ottenuta con adesivi melaminici o fenolici.

⁴ La EN 314-1 fornisce i metodi di prova per la determinazione della qualità dell'incollaggio di pannelli di legno compensato.

Tipologie di legni: legni dolci e legni duri

Legni dolci: In Italia, principalmente nella Pianura Padana, da quasi un secolo sono coltivati numerosi cloni di pioppo in impianti specializzati, in Piemonte la superficie di boscosità dei pioppeti registra 12.475 ha (Fig.20).

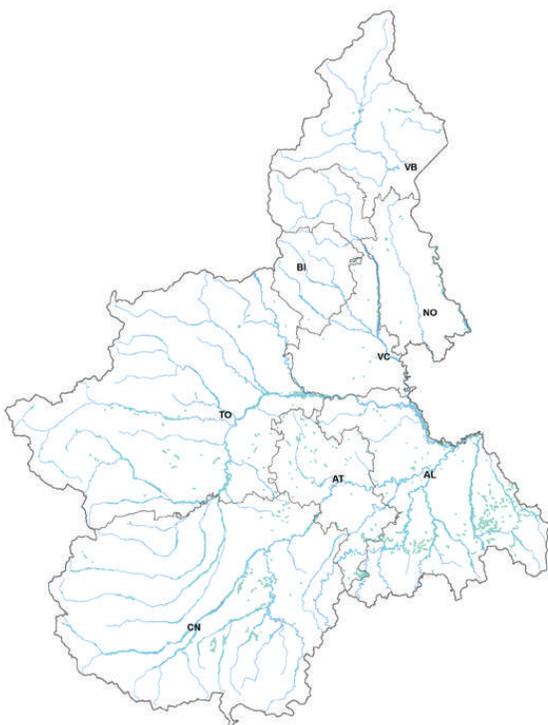
Il pioppo

Il clone più noto di pioppo è "I-214", creato dall'Unità di Ricerca per le Produzioni Fuori Foresta di Casale Monferrato, è la varietà più utilizzata al mondo per le applicazioni industriali. La pioppicoltura ha contribuito nel tempo all'integrazione dei redditi agricoli e allo sviluppo socio-economico legato alle attività di filiera distribuite su tutto il territorio nazionale.

La pioppicoltura in Italia, interessa un prodotto finale tipico del settore forestale degli altri Paesi, pur appartenendo prevalentemente al sistema agronomico. I pioppeti sostituiscono in maniera rilevante i popolamenti forestali per l'approvvigionamento di materia prima del legno da parte dell'industria di trasformazione, consentendo in tal modo di evitare i diversi problemi legati all'uso non sempre corretto delle risorse.

La disponibilità di pioppo in volumi adeguati sono circa 70 mila ettari al 2012, in Italia, ottenibile con turni di 10-12 anni, che sono relativamente tempi brevi. Le quantità e le caratteristiche omogenee sono programmabili e di elevata qualità.

Fig. 20 Atlante Forestale pioppeti (da PFT 2000)
<http://www.sistemapiemonte.it>



Gli aspetti ecologici
del pioppo

Grazie alle molteplici analisi scientifiche, sono aumentate e si sono consolidate le conoscenze delle interazioni tra i pioppeti e l'ambiente circostante, in particolare con l'ambiente fluviale e si possono trarre diversi **effetti benefici ed ecologici**:

- le piantagioni di pioppo possono avere **funzione di regolazione**, ormai riconosciuta, nel controllo dei fenomeni di piena dei fiumi;

- prevedendo un minimo apporto di fertilizzanti in confronto ad altre colture agrarie, i pioppeti hanno una **valenza ecologica** nettamente superiore, sia nei riguardi della qualità biologica del suolo che dell'**inquinamento** delle falde legato all'accumulo di azoto nel terreno, ancor più se gestiti in modo sostenibile secondo gli schemi di certificazione forestale applicabili (FSC e PEFC);

- i pioppeti possono svolgere **funzione di bio-filtro** per i nitrati nelle aree fluviali e di fitorimediazione nei siti inquinati; il bilancio del carbonio nel ciclo colturale della pioppicoltura risulta più che positivo;

- la produzione di legno fuori foresta riduce la pressione sui boschi naturali, permettendo a questi ultimi di sviluppare in pieno la propria azione di **serbatoi di carbonio** e svolgere anche funzioni complementari a quella della produzione legnosa;

- la pioppicoltura si adatta agli scenari di **global change**, con incrementi di produttività in condizioni di maggior concentrazione di CO₂ atmosferica;

- la pioppicoltura è il punto di partenza cruciale per una **filiera corta nell'industria del legno e del mobile** in Italia. Per quanto riguarda il **bilancio del carbonio**, si stima che un pioppeto tradizionale con turno di 10 anni possa assorbire (carbon sink) da 4,9 a 5,5 tonnellate C/ha x anno (dati INEA, 2008). Questi valori rappresentano un importante contributo della pioppicoltura nel **contrastare l'effetto-serra** e il cambiamento climatico.

Gli aspetti tecnici
del pioppo

Le principali caratteristiche del legno di pioppo sono: leggerezza, il peso specifico del pioppo è 450 Kg/m³; colore chiaro ed elevata omogeneità con venatura appena percettibile; facilità di lavorazione, incollaggio e finitura. Con il legno di pioppo si possono ottenere fogli di ampia superficie e privi di difetti che permettono di realizzare un prodotto dalle caratteristiche esteriori uniche, superiori a quelle di altri pannelli dello stesso tipo ma realizzati con altre specie legnose. Il pannello costituisce un supporto ideale per il rivestimento e come componente principale nella realizzazione di molti compositi.

L'umidità del compensato di pioppo si determina in conformità alla norma UNI EN 322⁵. Il suo valore finale dipende dall'impiego previsto per il pannello. Al momento della produzione l'umidità media del pannello è generalmente compresa tra l'8 e il 12%; questo valore tuttavia può subire variazioni durante il trasporto o il successivo stoccaggio, in funzione delle condizioni ambientali.

Gli impieghi del compensato di pioppo sono principalmente quelli diffusi nel settore dell'arredamento, ma anche in altri ambiti quali l'industria dei trasporti, dei giocattoli, il settore dell'edilizia, e dello sport.

⁵ Specifica un metodo per la determinazione dell'umidità di provini di pannelli a base di legno.

Legni dolci: l'abete

Le principali piante da cui si ricava il legno di abete appartengono alla famiglia delle Pinaceae: sono conifere sempreverdi, dalle foglie aghiformi e pigne rivolte verso l'alto. Gli abeti possono essere classificati sotto una cinquantina di specie, ma la specie principale che cresce in Europa e sulle Alpi è l'abete bianco. In Piemonte le Abetine coprono una superficie di 15.221 ha (Fig.21).

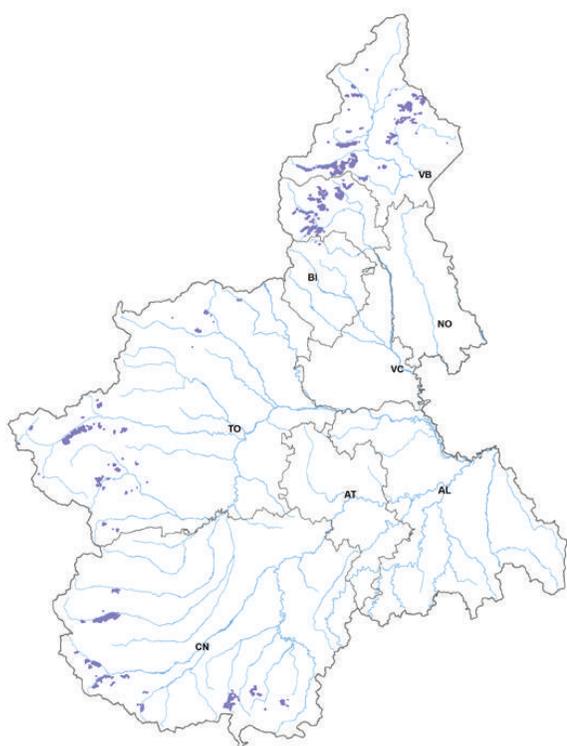
Caratteristiche del legno di abete. La colorazione che caratterizza il legno di abete è di colore chiaro, bianco giallino con venature di colore rossastro.

Il legno di abete è ecologico, perché sono alberi a rapido accrescimento e se si presta una attenta turnazione con il loro abbattimento non si creano problemi ai boschi. Dal punto di vista economico è vantaggioso proprio perché l'abete bianco e quello rosso, raggiungono dimensioni considerevoli in pochi anni, infatti da un solo albero si può ricavare una grande quantità di legno e questo ne permette la vendita a un prezzo contenuto. Il legno di abete viene utilizzato per le abitazioni grazie ai suoi valori di trasmittanza termica bassi, caratteristica che permette di rallentare gli scambi termici e di trattenere il calore d'inverno e non lasciar penetrare il calore d'estate. Inoltre è un buon isolante acustico e attenua la propagazione delle onde sonore.

E' facilmente lavorabile perché è un legno tenero ed è leggero, il suo peso specifico è di 440 Kg/m³. E' però un legno soggetto all'aggressione di muffe ed insetti.

Utilizzi. Il legno di abete viene utilizzato in diversi modi e settori: come legna da ardere, nell'industria cartaria e per preparare materiale da imballaggio; in falegnameria per realizzare mobili, serramenti ed infissi; viene usato per costruire case prefabbricate antisismiche grazie al suo isolamento termico.

Fig. 21 Atlante Forestale abeti (da PFT 2000)
<http://www.sistemapiemonte.it>



Legni dolci:
la betulla

Caratteristiche del legno di betulla. Il legno di betulla è caratterizzato da un colore chiaro che tende dal giallo avorio al bianco rosato. E' un legno tenero, anche se non particolarmente leggero perché ha un peso specifico di 640 Kg/m³ e durezza di Brinell di 23 N/mm². E' un legno tenace ed elastico, ha infatti una buona lavorazione ed è facile da piegare, l'incollaggio invece è reso più difficile dalla superficie a grana fine. Il legno di betulla essicca bene ma tende ad incurvarsi. E' un legno che teme l'umidità, per questo motivo se esposto per tempi prolungati ad essa potrebbe cambiare colorazione, inoltre è attaccabile dai parassiti, insetti e funghi.

Impieghi. Il legno di betulla nel Nord Europa viene largamente impiegato nei compensati, il legno di betulla a venatura ondulata viene invece utilizzato per impiallaccature di pregio. Tra i legni chiari è quello più utilizzato per la realizzazione del parquet. Vista la facilità con cui si colora, viene spesso impiegato nella fabbricazione di mobili nelle varie tonalità. Altri campi di impiego sono gli oggetti torniti, i giocattoli per bambini, gli utensili da cucina.

Legni duri:
il faggio

In Piemonte, le faggete ricoprono un'ampia superficie che registra 135.768 ha (Fig.22).

Caratteristiche del legno di faggio. I faggi raggiungono i 300 anni di vita e i tronchi per il commercio vengono utilizzati a 100-140 anni. Il legno è chiaro, quasi bianco e assume un colore rosato dopo la vaporizzazione e l'essiccazione.

Il legno di faggio è pesante, ha una massa volumica secca di 680kg/m³ ed è un legno duro, Durezza di Brinell 34N/mm² e presenta un ritiro molto deciso. Si lavora facilmente e si presta bene alla fresatura, alla tornitura e all'intaglio. Dopo un adeguato trattamento con vapore, il legno di faggio si taglia, si sfoglia e si piega molto bene. Durante l'essiccamento il faggio tende ad incurvarsi e fendersi. Il legno di faggio si colora facilmente e può assumere quasi ogni tonalità di colore. Non è un legno durevole ed è molto impregnable.

Impieghi. Il legno di faggio viene impiegato principalmente nella costruzione di mobili ed arredi interni, impiallaccature, compensati, scale e parquet. Altri settori sono i giocattoli, gli utensili da cucina e il settore di fibre tessili per la produzione di cellulosa.

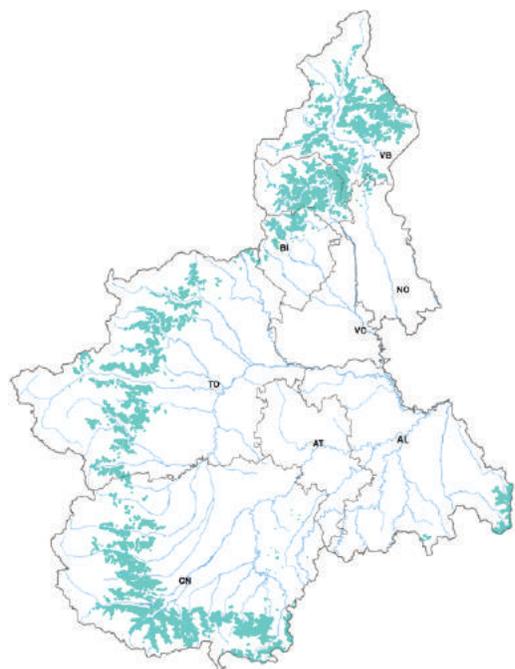


Fig. 22 Atlante Forestale faggi (da PFT 2000)
<http://www.sistemapiemonte.it>

Legni duri: **Caratteristiche del legno teak.** il legno teak viene ricavato dalle piante di specie Tectona che sono molto diffuse nei paesi tropicali. Il teak fa parte dei legnami duri, il colore tende dal bruno al nero, è molto resistente all'umidità e agli agenti atmosferici, insetti e parassiti e per questo viene utilizzato nel settore navale ed ha un costo molto elevato.

Il legno è pesante, il suo peso specifico è di 650 Kg/m³, ha una durezza media e un ritiro medio, ha una buona lavorabilità e finitura pur essendo un legno duro.

Impieghi. Il legno teak viene utilizzato nel settore nautico, nell'edilizia, nei mobili di pregio e nelle costruzioni interne quali scale e parquet, come impiallacciatura e in lavori di ebanisteria.

Legni duri: **Caratteristiche del legno.** L'okumè si trova in Africa tropicale occidentale. E' un legno rosa pallido, ha un peso specifico che varia dai 400 ai 500 Kg/m³, non ha una facile lavorazione a causa della sua silicosità, anche se è un legno leggero e malleabile. Non è adatto a forti sollecitazioni meccaniche ed è poco resistente agli urti. Ha una buona resa termica e bassa densità, ha dei buoni risultati nella finitura.

Impieghi. L'impiallacciatura del legno okumè viene utilizzata per rivestire mobili e mobili, il legno viene utilizzato per produrre compensato, piccole imbarcazioni e pianoforti.

Legni duri:
il noce

Caratteristiche del legno di noce. Il legno di noce non è particolarmente longevo, esso raggiunge un'età di 120 -150 anni al massimo. Il legno di noce ha una colorazione di fondo scura con striature quasi nere; è considerato mediamente pesante, ha una massa volumica secca di 520 kg/m³; la durezza è pari a 30 N/mm². Il legno di noce essicca bene, anche se lentamente e ha una buona lavorazione. Nell'incollaggio possono formarsi delle macchie di acido tannico a causa degli alcali contenuti nelle colle. Il contatto con ferro provoca una colorazione bluastra e la corrosione. Per quanto riguarda la durabilità naturale il noce si trova nel mezzo, classe 3; è un legno predisposto ad essere attaccato dagli insetti e da parassiti dannosi.

Impieghi. Il legno di noce viene utilizzato principalmente per i mobili pregiati, come rivestimento di pareti, soffitti e compensati, è infatti un legno molto costoso.

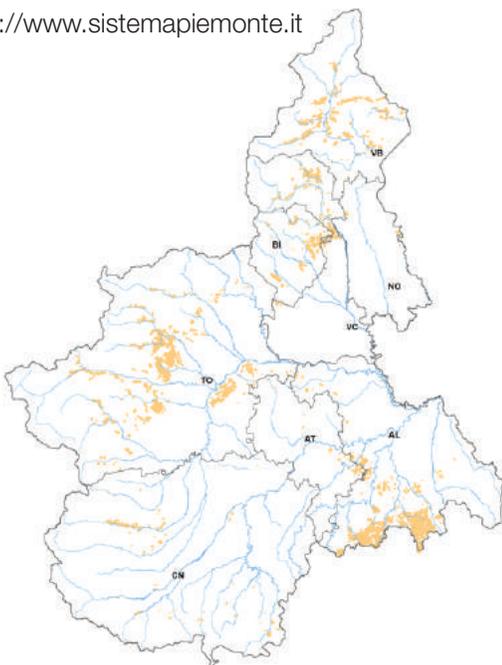
Legni duri:
il rovere

I querceti di rovere in Piemonte ricoprono una superficie di 38.579 ha (Fig.23).

Caratteristiche del legno rovere. Il legno rovere è di colore bruno che tende al giallo, ha un peso specifico che varia dai 700 ai 750 Kg/m³, è quindi un legno molto pesante, ha una buona durezza e durabilità, è resistente alle intemperie e agli agenti atmosferici, è un legno molto pregiato. Ha una buona resistenza alle sollecitazioni meccaniche di compressione 60 N/mm² e flessione 110 N/mm². Possiede un ritiro alto e tende a modificare il suo volume in base alle temperature. Il legno rovere ha una buona lavorabilità, al taglio e ha una buona piegatura.

Impieghi. Il legno rovere viene utilizzato per costruire mobili pregiati, serramenti, pavimenti e scale, per le costruzioni navali e per l'impiallacciatura.

Fig. 23 Atlante Forestale Querceti di rovere
(da PFT 2000)
<http://www.sistemapiemonte.it>



Legni duri:
il palissandro

Caratteristiche del legno palissandro. Il legno palissandro è originario dell'India, si trova anche in Asia, Africa, Brasile e America Centrale. Il palissandro, presenta un colore marrone con striature rossastre che tendono al nero, è un legno molto pregiato duro e poroso; ha un elevata resistenza a compressione e flessione ed un elevata durezza. Il palissandro è un legno pesante, ha un peso specifico di 850 Kg/m³, non ha una buona lavorazione perché tende a scheggiarsi e a rovinare gli attrezzi.

Impieghi. Il palissandro viene utilizzato per realizzare mobili di lusso, pavimentazioni in legno e strumenti musicali.

Capitolo 4

Le colle



4. Le colle

Introduzione La forza o la debolezza di ogni tipo di compensato dipende dal tipo di legame che tiene insieme i vari strati, ed è importante comprendere il meccanismo di adesione delle parti perché ricopre un ruolo fondamentale nella manifattura del compensato.

Tutta la materia, solida o liquida è costituita da innumerevoli molecole tenute insieme dalla potenza della reciproca attrazione, questa forza è conosciuta come coesione, che dipende dalla forza di ogni singolo corpo.

Il termine adesione è generalmente usato per descrivere la stessa forza di attrazione molecolare tra due materiali di natura differente posti a contatto. Mentre il termine **adesione** fa riferimento all'azione di attrazione tra molecole di tipo differente, il termine **coesione** fa riferimento all'azione di attrazione tra molecole di tipo uguale. Entrambe le forze hanno natura elettrostatica.

Il legno mostra una grande affinità con l'umidità e in molti casi gli adesivi e le colle vengono applicati in stati liquidi o viscosi.

La coesione tra liquidi è minore rispetto a quella tra stati solidi. Quando la colla liquida inizia ad asciugare l'attrazione molecolare aumenta e la coesione risulta maggiore, fino a che la colla si solidifica completamente e si raggiunge una forza massima di coesione. Tuttavia, la colla solidificata dovrebbe avere una forza meccanica maggiore del legno stesso.

Colle e cementi

Nella manifattura del compensato gli adesivi possono essere usati in forma di colla vera e di cemento. La colla vera è in grado di riassorbire l'umidità e quindi non può essere definita come waterproof. Un cemento dall'altra parte, durante il processo di posa, subisce un determinato cambiamento fisico-chimico irreversibile. Ci sono molte altre sostanze conosciute che se dissolte, fuse e applicate al legno e poi asciugate agiscono come adesivi: **colle animali, colle vegetali, caseina, albumina, resina ureica e fenolica.**

Colle animali

Le colle animali sono state utilizzate per incollare il legno per molti secoli, possiedono proprietà adesive molto buone e sono molto affidabili e la loro composizione chimica è molto complessa.

Per preparare la colla il produttore recupera la materia prima dalle case di macellazione sotto forma di ossa, pelli (che non sono conformi allo standard richiesto dalle concerie), orecchie, grugno e altri tagli. All'arrivo di questi tagli, vengono lavati e in seguito trattati con il limone in pozzi aperti.

Preparazione. La consistenza della colla animale può variare secondo la densità del legno che deve essere incollato e dal tipo di lavorazione a mano. Una volta che la miscela desiderata è stata decisa, le quantità di colla e acqua fredda devono essere attentamente misurate e versate in un recipiente pulito. In questa fase, una parte di colla avrà assorbito due o tre parti di acqua. E' fondamentale che la colla venga ricoperta totalmente dall'acqua e dopo due o tre ore dovrebbe essere più morbida. La colla è pronta per la fusione quando è uniformemente morbida, ciò avviene in doppie pentole con acqua in modo da evitare che la temperatura della colla vada oltre i 70°C finché è completamente fusa e il calore deve essere ridotto e la temperatura mantenuta sotto i 60°C. Alle alte tempe-

Fig. 24 Recipienti per la preparazione della colla animale.

<http://www.liuteriamarcellan.it/colla/>



rature la colla comincerebbe a perdere la sua forza meccanica e a decomporsi rapidamente, vengono spesso utilizzate pentole riscaldate a vapore o a gas perché consentono di controllare meglio il calore. La colla deve essere mescolata di frequente durante la miscelazione e nel corso della giornata può essere aggiunta un'ulteriore dose di colla imbevuta in pentola. La colla animale dovrebbe essere preparata giornalmente, e alla fine di ogni giornata lavorativa, la colla in avanzo dovrebbe essere scartata e i recipienti usati per l'immersione e il riscaldamento devono essere puliti attentamente con acqua calda pronti per il giorno dopo (Fig.24).

Applicazioni. La colla animale viene spesso applicata a mano. Il legno al quale deve essere applicata la colla deve essere asciutto dall'8 al 12% dell'umidità contenuta e leggermente riscaldato per una lavorazione più facile. La colla dovrebbe essere lasciata raffreddare prima dell'applicazione della pressione, altrimenti il legame non sarà affidabile. Una pressione di 70 Kg per centimetro quadrato è abbondante e dovrebbero essere mantenuti da morsetti per almeno cinque ore. Quando nella pressa le piastre vengono riscaldate e viene applicata la pressione, l'acqua fredda passa attraverso le piastre per aiutare la colla a fissarsi. Dopo la rimozione della pressa, la lastra deve rimanere a riposo per tutta la notte.

Le colle animali non macchiano le impiallaccature ma sono responsabili della penetrazione nei colori chiari del legno, non sono resistenti né al calore né all'acqua e la loro funzione principale in fabbrica è quella per la posa delle impiallaccature decorative alle strutture di compensato, per unire i bordi di lati delle impiallaccature e per applicare le strisce di legno duro ai bordi dei pannelli o delle porte a filo.

La necessità di una pulizia scrupolosa nella stanza

dove si lavora la colla non può essere sottovalutata. Come regola generale in una fabbrica di lavorazione del legno, un'attenzione insufficiente è pagata da questo punto di vista e la colla animale è trattata come una colla utile ma "sporca". Quando si nota ogni tipo di odore sgradevole, la colla deve essere trattata con sospetto e deve essere eseguita una pulizia approfondita di pennelli e pentole.

Caseina

La cagliata del latte veniva usata dagli Egizi ai tempi dei Faraoni per incollare i papiri, per fissare il colore e per attaccare l'avorio, i metalli e le pietre preziose al legno. Le colle di caseina di grande efficienza sono ancora prodotte dalla stessa sostanza e venivano usate nella produzione del compensato, nelle ebanisterie e in falegnameria.

E' interessante ricordare il fatto che il primo brevetto per un cemento di caseina resistente all'acqua fu attribuito a Christian Luther, di Reval, nel 1892.

La caseina è presente nel latte in uno stato di sospensione come colloide. Quando il latte si inacidisce, si separa sotto forma di cagliata. Il grasso contenuto al grado più alto della caseina non deve superare l'1% e per questa ragione il latte scremato viene spesso usato per la produzione della caseina. La coagulazione avviene in grosse tinozze e generalmente viene accelerata dall'aggiunta di caglio, acido solforico e cloridrico. Dopo la precipitazione, la cagliata viene attentamente lavata, pressata e asciugata e basata sui diversi gradi di finezza. La caseina commerciale viene esportata dalla Repubblica Argentina ai paesi produttori di compensato. E' prodotta anche in Francia, Olanda, Nuova Zelanda e altrove.

La caseina viene consegnata all'industria del compensato sottoforma di polvere bianca (Fig.25) o color crema, dovrebbe avere un odore dolce e per una facile miscelazione dovrebbe avere una maglia di 0.3 mm per il setaccio. Ci sono molti tipi di cementi di caseina che sono fatti miscelando diversi gradi di caseina con il limone, il silicato di sodio, borace e altre sostanze chimiche da brevetto e formule segrete dei produttori. La scelta di miscelare la caseina dipende dal tipo di legno che deve essere incollato, il metodo di distribuzione e di applicazione della pressione, il tempo di fissaggio e il grado di resistenza all'acqua richiesto. Molti falegnami trovano non necessario prepararsi il

Fig. 25 Caseina in polvere.

<https://www.gea.com/it/solutions/casein-production-line.jsp>



proprio cemento di caseina e preferiscono comprarne una delle marche proprietarie affidabili. In questo modo possono essere comprate già pronte e miscelate in fresche condizioni e della quantità desiderata. La composizione di queste miscele di caseina è semplice, le quantità di polvere e acqua dovrebbero essere misurate attentamente e le indicazioni dei produttori attentamente eseguite.

I principali vantaggi offerti dalle miscele della caseina sono:

- possono essere preparate e usate a temperatura ambiente
- possono essere applicate a mano o tramite diffusione meccanica
- sono resistenti al calore e al freddo
- possono essere usate senza la necessità una retina riscaldata
- possono essere preparate per la pressione a caldo e a freddo

Dall'altra parte, essendo alcalina, il cemento di caseina dà una linea di colla scura a certi legni e sono atti a causare macchie in legni ricchi di acido tannico come l'Oak e il Mogano. E' possibile comunque, preparare un tipo di caseina che riduce il pericolo di colorazione ma è risaputo il fatto che riducendo gli elementi che causano la colorazione, la resistenza all'acqua della colla diminuisce.

Distribuzione e pressatura. La colla di caseina può essere applicata con una macchina di diffusione oppure a mano con un pennello. Gli operatori che stendono a mano la colla sui pannelli di legno dovrebbero fornirsi di guanti di gomma perché essendo la caseina una sostanza alcalina, potrebbe causare un'irritazione alle mani e danneggiarle. La quantità di colla richiesta per soddisfare un buon legame deve essere misurata in base all'esperienza pratica. Una distribu-

zione con una quantità troppo pesante di colla dovrebbe essere evitata perché è superflua, e rischierebbe di macchiare il legno. Dall'altra parte una piccola quantità risulterebbe scarsa nelle giunture e creerebbe delle bolle.

Durante la pressione, la colla superflua viene schiacciata verso i bordi dei pannelli e appaiono come una serie di perline piuttosto piccole; se si forma una linea continua di colla, la distribuzione è troppo pesante, se non si vede la colla ai bordi, la distribuzione è stata troppo leggera. È importante che i pannelli con la colla siano posti sotto pressione entro quindici minuti dopo l'applicazione della colla, altrimenti potrebbero formarsi delle bolle.

La forza della pressione e la lunghezza dell'applicazione può variare notevolmente, dipende dal tipo di lavoro, dall'umidità contenuta e dalla condizione del pannello, dalla consistenza della colla e altri fattori.

In diversi paesi produttori di compensato, che producono compensato di betulla, usano la caseina con l'albumina in presse riscaldate che forniscono un legame soddisfacente.

Colla di soia

I semi di soia mancesi hanno dato al mondo una grande varietà di prodotti, incluso un tipo di colla alla caseina molto usata.

Produzione. Una volta che l'olio viene estratto dai semi di soia (Fig.26), il residuo subisce un processo di raffinazione brevettato e vengono aggiunte diverse sostanze chimiche. Agli impianti di produzione di compensato è distribuita sottoforma di polvere biancastra ed è preparata per essere miscelata con acqua e l'aggiunta di reagenti. Tutti gli impianti assumono uomini con esperienza per miscelare la colla, e le variazioni della formula sono calcolate per incontrare il grado di resistenza all'acqua richiesta e altre specifiche condizioni.

Applicazioni. Le colle di soia producono una reazione alcalina e un colore rossastro; di conseguenza sono responsabili della colorazione dei pannelli di legno decorativi. La colla è miscelata a freddo e applicata con un distributore a rullo doppio. E' richiesta molta attenzione perché durante la posa possono formarsi dei buchi, e una sovrabbondanza di colla potrebbe accumularsi. Sotto una certa condizione di umidità e se il pH della colla è troppo alto, può verificarsi una colorazione bluastra o marrone del pannello.

La pressione tra i 87 e i 105 Kg per metro quadro dovrebbe essere applicata in una pressa idraulica fredda il prima possibile dopo l'incollaggio. Il tempo di assemblaggio non deve superare i venticinque minuti e il pressato dovrebbe rimanere tra le prese per un massimo di otto ore. La colla di soia può anche essere usata nella pressione a caldo a temperature intorno i 120°C.

Fig. 26 Olio e semi di soia.
<https://finchannel.com/>



Albumina

L'albumina, combinata con la caseina e altri reagenti, è usata dalla maggioranza dei produttori di compensato in Finlandia, Polonia, Russia ed è anche usata come estensore della resina fenolica formaldeide. Prima dell'introduzione delle resine sintetiche, l'albumina era il più importante cemento resistente all'acqua disponibile per i produttori di compensato. E' un adesivo da pressione a caldo, l'applicazione del calore causa nell'albumina una coagulazione, un cambiamento fisico irreversibile e il risultato è un legame abbastanza forte con una buona resistenza all'acqua bollente.

L'albumina solubile è ottenuta dal sangue proveniente dai macelli, e in parte sotto una forma raffinata viene utilizzata come fertilizzante. La maggior parte dei produttori lavora con la propria formula, la U.S Forest Products Laboratory¹ ha pubblicato due formule: la prima per ottenere un adesivo umido che incorpora formaldeide e idrossido di ammonio e l'altra per un mix più asciutto coperto dal brevetto U.S 1,336,262.

L'albumina, non è usata in qualsiasi misura fuori dall'industria del compensato. In combinazione con la resina fenolica e un catalizzatore, l'impostazione di temperatura richiesta va tra i 110°C e i 118°C che sono 21°C in meno rispetto a quelli richiesti per la resina fenolica. Il legame ottenuto è resistente sia all'acqua che alla muffa.

¹ Il Forest Products Laboratory (FPL) è il laboratorio di ricerca nazionale del Forest Service degli Stati Uniti, che fa parte dell'USDA. Fin dalla sua apertura nel 1910, la FPL ha fornito ricerche scientifiche su legno, prodotti in legno e i loro usi commerciali in collaborazione con accademie, industrie, tribali, statali, locali e altre agenzie governative. Il laboratorio ha sede a Madison, nel Wisconsin.

Resine La preparazione delle resine sintetiche usate come adesivi per il legno, è un lavoro complicato che richiede la supervisione di un chimico ingegnere specializzato.

Le resine sintetiche richiedono una maggiore cura nell'applicazione e nel trattamento rispetto alle altre colle ma offrono diversi vantaggi, quello più importante è la resistenza all'acqua e ai funghi.

La proposta di usare la resina fenolica formaldeide come colla per il legno fu fatta in America nel 1912 dal Dott. Baekeland² che diede il suo nome ai prodotti modellabili come bakelite, ottenuta dalle resine artificiali del gruppo fenolico. Vent'anni dopo in Germania cominciarono a produrre il film di resina adatto per applicazioni commerciali per gli impianti di compensato. Poi la produzione di questa resina era diventata troppo cara e veniva usata solo per prodotti di qualità molto alta: compensati resistenti all'acqua per aerei e costruzioni navali. Fu seguita poi la preparazione di resine fenoliche sotto altre forme, come emulsione in acqua, come smalto solubile nell'acetone o nell'alcool e come polvere; dopo furono inserite anche resine ureiche e estere vinilico.

Come la domanda cresceva, i costi di produzione si riducevano e subito prima della guerra nel 1939, la colla di resina veniva comunemente usata nel compensato sia in Europa che in America.

Preparazione resine sintetiche. Il fenolo e i suoi omologhi, le ammine primarie, l'urea e la caseina producono la formazione della resina in reazione con vari tipi di metilene come la formaldeide. Le resine di questo genere possono variare notevolmente a seconda della quantità relativa di materia prima usata e dalle condizioni generali della preparazione. Il fenolo e la formaldeide sono usati per produrre, per sintesi chimica, la

² La bakelite è il nome dato a una resina fenolica termoindurente ottenuta da formaldeide e fenolo per sostituzione elettrofila seguita da reazione di eliminazione, tramite reazione di Lederer-Manasse. Fu sintetizzata per la prima volta nel 1907 da Leo Baekeland, da cui prende il nome.

resina fenolica. La reazione avviene secondo tre stadi, il secondo e il terzo sono quelli più importanti che determinano la formazione della resina come colla per il legno. Nella seconda fase, la fase del resitolo³, le resine fenoliche sono insolubili in acqua ma possono essere dissolte in solventi come acetone e alcool mentre dall'altra parte ci sono certe resine ureiche che sono solubili in acqua.

Entrambe le resine sono termoplastiche e termoindurenti, sotto applicazione del calore diventano plastiche e con una continua azione del calore avviene la polimerizzazione. Questo cambiamento finale viene chiamato "indurimento" della resina. Questa fase prende luogo nella pressa a caldo e la resina più veloce che riesce a completare questo cambiamento finale in modo soddisfacente, sarà la resina come colla per il legno. Nel suo ultimo stadio, la resina fenolica formaleide, è infusibile e insolubile eccetto che negli alcalini concentrati. La resina ureica è insolubile in acqua sotto i 37°C. Nella preparazione delle resine adesive, la reazione è arrestata quando nella fase del "resitolo" e le resine prodotte dal processo di condensazione sono rifinite e prodotte nelle forme più adatte (film, liquidi o polvere fine) per essere usate dagli impianti di compensato.

Il British Standard ha impostato delle informazioni base che dovrebbero essere applicate dai produttori di resine adesive per il compensato:

- l'umidità contenuta nel legno prima di distribuire la resina
- il metodo di applicazione della resina e dell'indurente
- un massimo e un minimo del tempo di applicazione
- un range di pressione e di temperature con un massimo e un minimo di tempo alla quale la pressione deve essere mantenuta.

³ Solido a basso punto di fusione ottenuto per ulteriore polimerizzazione di un resolo.

5. Metodologia: Life Cycle Assessment

Sostenibilità, sviluppo e
importanza per l'UE

La più comune definizione del concetto di sviluppo sostenibile è stata pubblicata dal rapporto "Our common Future", conosciuto anche come rapporto Brundtland¹ nel 1987, in cui viene affermato che: "Ambiente e sviluppo non sono realtà separate, ma al contrario presentano una stretta connessione. Lo sviluppo non può infatti sussistere se le risorse ambientali sono in via di deterioramento, così come l'ambiente non può essere protetto se la crescita non considera l'importanza anche economica del fattore ambientale. Si tratta, in breve, di problemi reciprocamente legati in un complesso sistema di causa ed effetto, che non possono essere affrontati separatamente, da singole istituzioni e con politiche frammentarie. Un mondo in cui la povertà sia endemica sarà sempre esposto a catastrofi ecologiche d'altro genere. [...] L'umanità ha la possibilità di rendere sostenibile lo sviluppo, cioè di far sì che esso soddisfi i bisogni delle generazioni presenti senza compromettere la possibilità di soddisfacimento dei bisogni di quelle future."

¹ Il rapporto Brundtland è un documento rilasciato nel 1987 dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo (WCED) in cui, per la prima volta, venne introdotto il concetto di sviluppo sostenibile. Il nome venne dato dalla coordinatrice Gro Harlem Brundtland, che in quell'anno era presidente del WCED e aveva commissionato il rapporto.

Lo **sviluppo sostenibile** è oggi tra le priorità dell'Europa. In occasione del vertice sullo sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite tenutosi nel settembre 2015 a New York, è stata adottata l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile "Trasformare il nostro mondo". L'agenda

2030 comprende 17 obiettivi globali di sviluppo sostenibile (OSS) e risponde alle sfide globali, affrontando l'eliminazione della povertà e le dimensioni economica, sociale e ambientale dello sviluppo sostenibile. L'Unione Europea ha ribadito il forte impegno nell'attuazione dell'Agenda 2030 e degli obiettivi sottolineando l'importanza di conseguire lo sviluppo sostenibile in tutte e tre le dimensioni (economica, sociale e ambientale) e in tutti i settori di intervento.

In questo contesto, il Life Cycle Thinking (LCT) è riconosciuto come un approccio chiave per lo sviluppo sostenibile. L'LCT prende in considerazione l'intera vita di prodotti, servizi e progetti al fine di minimizzare gli impatti ambientali, economici e sociali.

Sono stati sviluppati diversi strumenti per analizzare la sostenibilità, tra cui la Life Cycle Assessment (Fig.27) (LCA, per gli aspetti ambientali), il Life Cycle Cost (LCC, per gli aspetti economici) e la Social Life Cycle Assessment (SLCA, per gli aspetti sociali). In questa tesi è stata approfondita la sostenibilità ambientale ed è stato utilizzato lo strumento dell'LCA.



Fig. 27 Grafico Life Cycle Assessment
<https://www.oneclicklca.com/lca-graphic-smaller>

Cos'è l'LCA?

L'LCA è uno strumento oggettivo per analizzare e quantificare gli effetti ambientali dei prodotti durante il loro intero ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime, alla produzione industriale inclusi la fase di utilizzo e lo smaltimento a fine vita. Le conseguenze ambientali di un prodotto comprendono i problemi di conservazione delle risorse e le emissioni ritenute dannose per la salute umana e per la qualità degli ecosistemi. L'LCA identifica e quantifica l'energia e i materiali usati così come le emissioni nell'ambiente e i loro potenziali impatti per l'intero ciclo di vita.

La struttura del Life Cycle Assessment (LCA)

Le norme ISO 14040-44 e le linee guida date dalla Commissione Europea nell'International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook (2010)² sono i maggiori riferimenti per lo sviluppo di una corretta LCA.

La metodologia LCA in quattro fasi

Secondo la normativa ISO 14040, la Life Cycle Assessment comprende 4 fasi iterative:

1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione
2. Analisi dell'inventario e del ciclo di vita
3. Valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA)
4. Interpretazione del ciclo di vita

Fase 1: Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

In questa fase sono definiti:

- obiettivo di studio
- unità funzionale
- confini di sistema
- categorie di dati e requisiti di categorie di dati
- criteri cut-off per input e output

² ILCD Handbook, Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context, First Edition, 2011

Obiettivi di studio. Nella prima fase di definizione obiettivo e ambito, lo scopo dello studio LCA è dichiarato e giustificato, spiegando l'obiettivo dello studio e specificando l'uso previsto dei risultati (applicazione), il commissario dello studio, il professionista e gli stakeholder per i quali i risultati dello studio sono destinati (target di riferimento).

Unità funzionale. L'unità funzionale è un parametro di riferimento al quale attribuire i risultati dell'LCA.

La scelta è arbitraria, ma dovrebbe essere coerente con gli obiettivi dello studio e con la funzione a cui è stato progettato il sistema del prodotto.

Confini di sistema. I confini di sistema identificano l'unità di processo che deve essere inclusa nel modello LCA. I confini di sistema possono essere definiti in modo tale da sviluppare:

-**Full LCA**, copre tutte le operazioni a partire dall'estrazione delle materie prime fino ai materiali di scarto che escono dal sistema (from-cradle-to-grave);

-**Ecoprofile**, copre tutte le operazioni a partire dall'estrazione delle materie prime fino alla produzione del prodotto (from-cradle-to-gate);

Categorie di dati e requisiti di categorie di dati. I requisiti delle categorie dei dati devono essere coerenti con gli obiettivi e i campi di applicazione dell'LCA. Esistono diverse categorie di dati: dati primari e secondari, dati specifici e generici. I **dati primari** sono rilevati sul sito, i **secondari** si trovano in letteratura e nei database. I dati specifici si riferiscono agli specifici materiali e processi effettivamente impiegati all'interno dei confini di sistema, i dati generici invece si riferiscono ai materiali e processi simili o in sostituzione di quelli impiegati e all'interno dei confini di sistema.

Criteri cut-off per input e output. Il sistema del prodotto dovrebbe essere modellato in modo tale che tutti gli input e gli output al suo confine siano flussi elementari. Tuttavia, a causa della complessità dei sistemi di prodotto reali, ciò è praticamente impossibile con risorse ragionevoli. Inoltre, in conformità agli obiettivi generali di una LCA, un'estensione completa del modello è spesso inutile. Da qui la necessità di introdurre criteri di esclusione (cut-off).

Fase 2: Analisi dell'inventario del ciclo di vita

L'analisi dell'inventario è la fase di una LCA che coinvolge la compilazione e la quantificazione di input e output, per un determinato sistema di prodotto durante tutto il suo ciclo di vita.

Raccolta dei dati. Una unità di operazione, è l'unità più piccola per la quale i dati sono disponibili. Per ogni sistema devono essere individuate le operazioni di unità prima che i dati possano essere raccolti.

Fase 3: Valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA)

In questa fase sono valutati i potenziali impatti ambientali del prodotto di sistema analizzato in fase di inventario. Secondo la norma ISO 14044, la fase di LCIA include obbligatoriamente i seguenti elementi:

- selezione delle categorie di impatto, degli indicatori di categoria e dei modelli di caratterizzazione;
- assegnazione dei risultati dell'LCI alle categorie di impatto selezionate (classificazione);
- calcolo dei risultati di indicatore di categoria

(caratterizzazione).

Per convertire un risultato dell'analisi di inventario nell'unità comune dell'indicatore di categoria, diversi metodi sono stati sviluppati (come, ad esempio, ILCD 2011, ReCiPe, CML 2001). In tali metodi sono quantificati i fattori di caratterizzazione relativi alle diverse categorie di impatto. Le linee guida dell'ILCD Handbook danno indicazioni sul livello di affidabilità scientifica dei fattori di caratterizzazione sviluppati da diversi metodi per le varie categorie di impatto.

Gli indicatori di categoria possono essere percepiti come troppo complicati e difficili da comprendere. L'utente finale dei risultati LCA ha talvolta necessità di semplificare ulteriormente gli indicatori di categoria, possibilmente utilizzando un indicatore completo di punteggio singolo. Per tale ragione, le norme ISO 14040-44 definiscono le fasi opzionali di normalizzazione, raggruppamento e ponderazione:

Normalizzazione. Consiste nel dividere i valori degli indicatori di categoria con una misura di riferimento.

Ponderazione e raggruppamento. Consiste in indicatori di categorie di ponderazione in base all'importanza relativa dei diversi effetti ambientali.

Fase 4: Interpretazione del ciclo di vita

In questa fase, i risultati dei primi tre passaggi sono combinati, in base all'obiettivo e al campo di applicazione, al fine di raggiungere conclusioni e raccomandazioni. Tale fase comprende diversi elementi, quali:

- controllo di coerenza
- controllo di completezza
- analisi del contributo
- analisi di sensibilità e incertezza
- conclusioni e raccomandazioni

Il software

La realizzazione di un modello di Life Cycle e la relativa Valutazione del Ciclo di Vita possono essere supportate da alcuni software. Alcuni di questi sono commerciali (quali Gabi e SimaPro), mentre altri sono open source (come OpenLCA, utilizzato per lo studio oggetto di tesi).

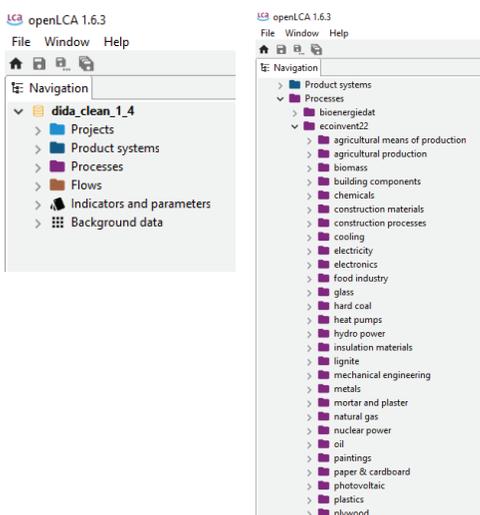
Software e database permettono la creazione di modello LC e, tramite i metodi, la successiva valutazione degli impatti ambientali. Per lo studio oggetto di tesi sono stati utilizzati il software OpenLCA e il database Ecoinvent2.2.

Come funziona?

Una volta avviato il software OpenLCA, nella schermata principale (Fig.28) sono presenti sei cartelle: il progetto, il sistema di prodotto, i processi, i flussi, gli indicatori e parametri e le informazioni di background. Nella cartella "progetto" è possibile mettere a confronto più sistemi di prodotto, i sistemi di prodotto permettono il calcolo dei potenziali impatti del ciclo di vita del prodotto. Nella cartella dei "processi" sono contenuti tutti i processi dei materiali, nei quali è possibile inserire gli input che li compongono e gli output che generano (Fig.29). A seconda del metodo di valutazione che si sceglie, è possibile analizzare i risultati relativi a diverse categorie di impatto (Fig.30). Con il metodo ReCiPe Midpoint (H), per esempio, è possibile analizzare le seguenti categorie di impatto:

- esaurimento fossile
- esaurimento dell'acqua
- formazione di ossidanti fotochimici

Fig. 28 Home page OpenLCA.



- esaurimento dei metalli
- eutrofizzazione marina
- ecotossicità dell'acqua dolce
- occupazione del suolo agricolo
- radiazioni ionizzanti
- eutrofizzazione delle acque dolci
- tossicità umana
- occupazione del suolo urbano
- trasformazione naturale del suolo
- acidificazione terrestre
- cambiamento climatico
- ecotossicità marina
- esaurimento dell'ozono
- ecotossicità terrestre

Fig. 29 Processo "Plywood, indoor use"
OpenLCA.

Inputs			
Flow	Category	Amount	Unit
F ₂ diesel, burned in buildin...	construction proce...	3.2	MJ
F ₂ electricity, medium volta...	electricity/producti...	306.0	kWh
F ₂ hardwood, allocation cor...	wooden materials/...	-1.32	m3
F ₂ round wood, hardwood, ...	wooden materials/...	2.7	m3
F ₂ transport, freight, rail - RER	transport systems/t...	348.0	t*km
F ₂ transport, lorry > 16t, fle...	transport systems/r...	157.0	t*km
F ₂ treatment, plywood prod...	waste managemen...	1.84	m3
F ₂ urea formaldehyde resin, ...	paintings/producti...	83.2	kg
F ₂ Water, cooling, unspecifi...	Resource/in water	1.84	m3
F ₂ wood chips, from industr...	wood energy/heati...	8110.0	MJ
F ₂ wood chips, hardwood, f...	wood energy/fuels	-1.9297000...	m3
F ₂ wooden board manufact...	wooden materials/...	3.33E-8	Item(s)

Outputs			
Flow	Category	Amount	Unit
F ₂ Formaldehyde	Emission to air/uns...	0.0832	kg
F ₂ Heat, waste	Emission to air/uns...	1100.0	MJ
F ₂ plywood, indoor use, at ...	wooden materials/...	1.0	m3

Nell'analisi degli effetti ambientali è possibile indagare il contributo di ciascun processo per le categorie di impatto di interesse.

Fig. 30 Esempio di Contribution tree
OpenLCA

Normalization	
Impact category	Amount
Agricultural land occupation	1.69854
Freshwater eutrophication	0.87721
Human toxicity	0.79742
Marine ecotoxicity	0.19780
Ionising radiation	0.14910
Fossil depletion	0.14500
Urban land occupation	0.12202
Particulate matter formation	0.09153
Terrestrial acidification	0.07310
Climate Change	0.07225
Photochemical oxidant formation	0.06668
Natural land transformation	0.06312
Metal depletion	0.04457
Marine eutrophication	0.02571
Terrestrial ecotoxicity	0.01175
Freshwater ecotoxicity	0.00451
Ozone depletion	0.00141
Water depletion	0.00000

Capitolo 6

Il Progetto:

La poltrona attuale

La poltrona nuova

Life Cycle Assessment



6. Il Progetto

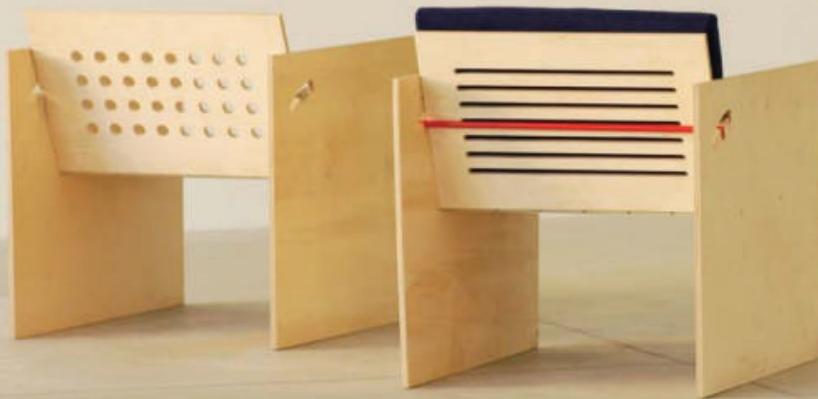


Fig. 31 Poltrona Pat Design
© Pat Design

Introduzione

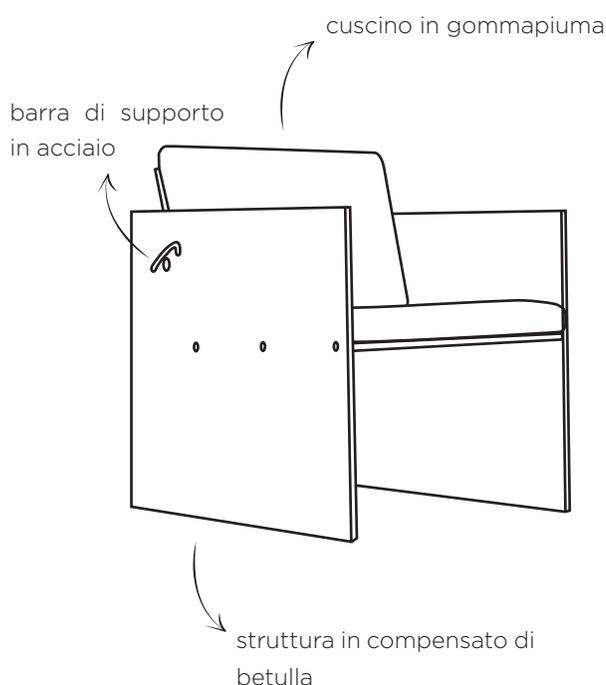
Il progetto di tesi ha come obiettivo quello di migliorare un prodotto di design e renderlo sostenibile. Il prodotto preso in esame è una poltrona di compensato per interni disegnata dall'Architetto Andrea Veglia di Pat Design (Fig.31), uno studio di architettura e design di Torino.

La poltrona è realizzata con prodotti non locali e non verrebbe realizzata in Italia, quindi la necessità è quella di rendere il prodotto 100% italiano, con materie prime del territorio e manodopera italiana. Scendiamo nel dettaglio e andiamo a vedere come si compone la poltrona attuale, analizzando le materie prime utilizzate e i problemi che ne conseguono sull'ambiente, in seguito, la proposta di una poltrona nuova con soluzioni migliorative.

6.1 Il Progetto: la poltrona attuale

La poltrona attuale è composta da pochi elementi: la struttura in compensato di betulla, il cuscino in gommapiuma rivestito in tessuto, una barra di acciaio e delle viti.

Il compensato di betulla



Il compensato utilizzato per la realizzazione della poltrona è di betulla, questo compensato proviene da una azienda russa, la Sveza, leader mondiale del settore. Gli impianti principali si trovano nelle regioni vicino a Mosca, in particolare a San Pietroburgo, distante 2917 km da Torino.

Il compensato utilizzato per la poltrona è:
SVEZA STANDARD 1525x1525 mm (Fig.32)
THICKNESS 15 mm
DENSITY 640 Kg/m³
EMISSION FORMALDEIDE E1

Caratteristiche fisiche

Caratteristiche: tessitura finissima, fibre dritte, legno stabile, colore bianco avorio

Caratteristiche meccaniche

Modulo di elasticità: 13000 N/mm²

Carico di rottura a trazione: 95 N/mm².

Carico di rottura a compressione assiale: 60 N/mm².

Carico di rottura a flessione: 120 N/mm².

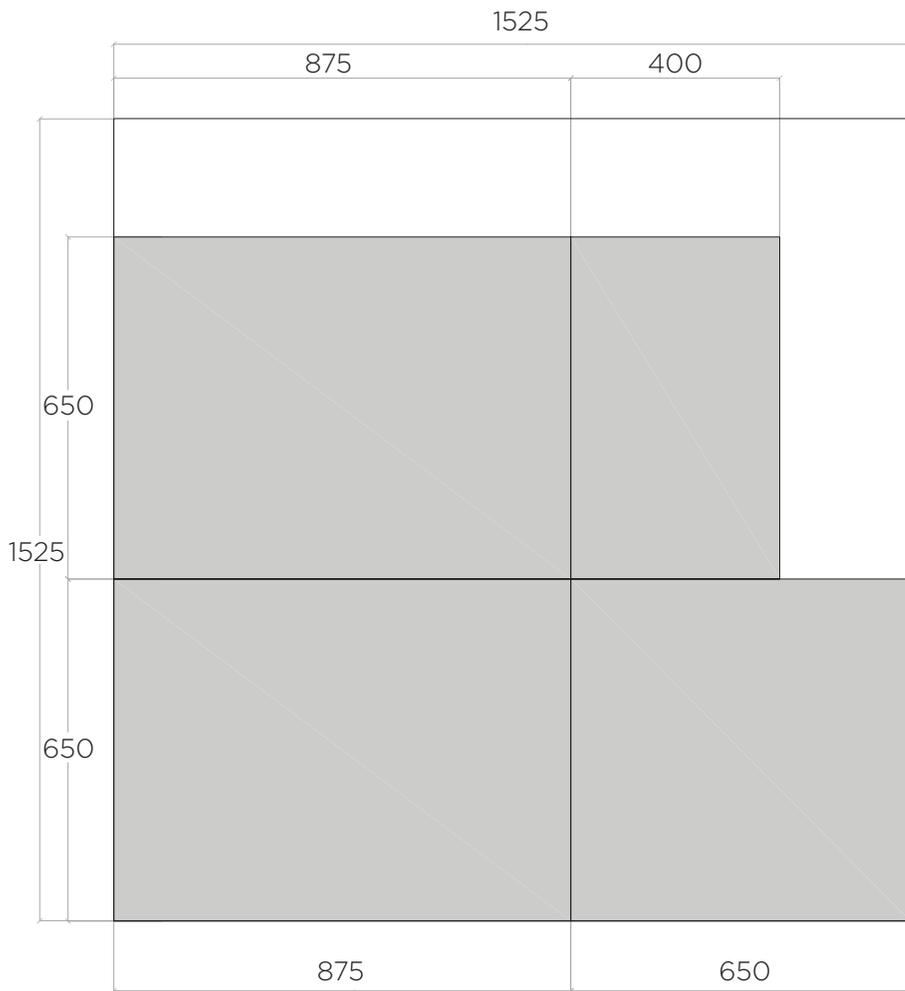
Carico di rottura a taglio: 6 N/mm².

Ritiro assiale: 0,4% Ritiro radiale: 0,18 - 0,24 %

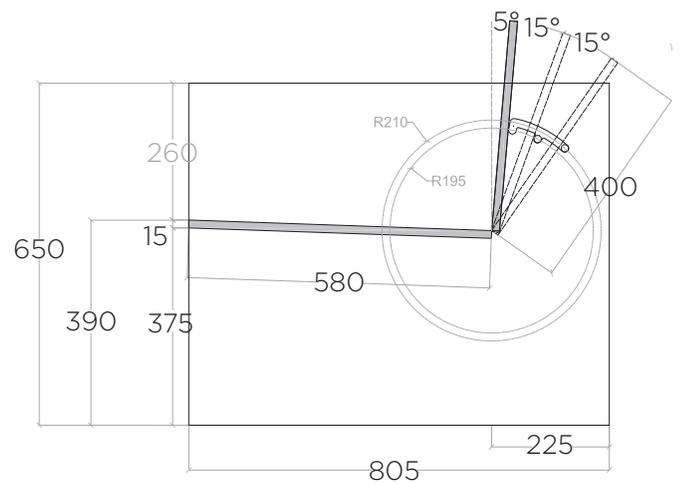
Ritiro tangenziale: 0,26 - 0,31 %

Fig. 32 Compensato Sveza Standard
http://www.sveza.com/products/fanera_fk

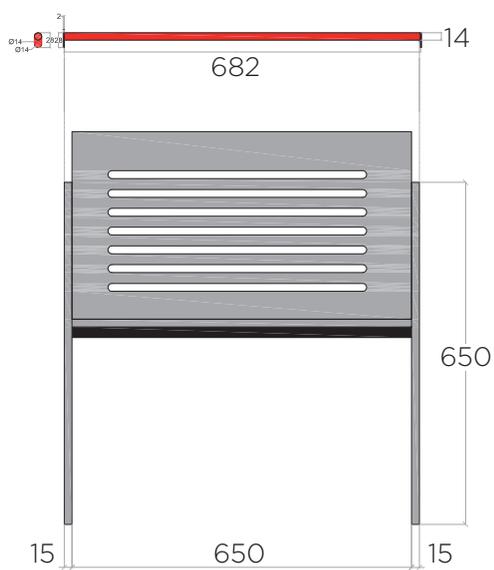




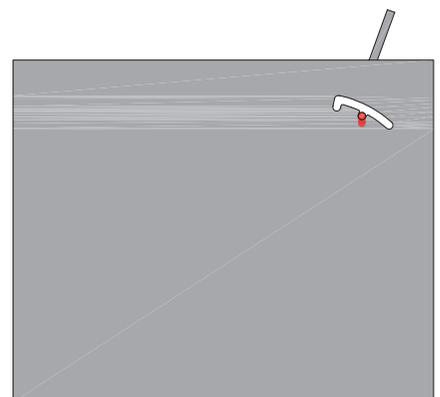
Da un foglio di compensato 1525x1525, si possono ricavare tutti i pezzi che servono per realizzare una poltrona, la lavorazione che viene eseguita è quella di taglio.



SEZIONE



FRONTALE



LATERALE

Impatti ambientali del compensato

Il caso studio

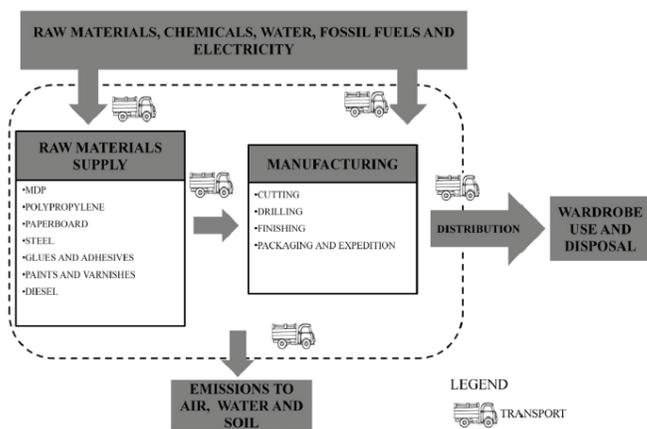
Gli impatti ambientali del compensato di betulla proveniente dalla Russia sono principalmente dovuti dalle materie prime, dalla produzione e dalla distribuzione. Per capire meglio di cosa si tratta possiamo fare riferimento ad un'analisi di un caso studio preso dal "Journal of cleaner production"¹ sul Life Cycle Assessment di una industria di mobili.

L'articolo si propone di analizzare le strategie sostenibili valutando le prestazioni ambientali di un armadio costruito con pannelli di MDP. Per questo è stata utilizzata la tecnica di valutazione del ciclo di vita. Il ciclo di vita del prodotto studiato era di tipo "from cradle to gate", comprendente tre fasi principali: fornitura di materie prime, produzione di guardaroba e distribuzione del guardaroba (Fig.33).

L'unità funzionale era di 40 kg di merce immagazzinata per 5 anni e il flusso di riferimento era un'unità di guardaroba. I risultati della valutazione del ciclo di vita hanno indicato che gli impatti ambientali più significativi si verificano nelle fasi di fornitura delle materie prime e distribuzione del guardaroba e le categorie di impatto più rilevanti sono la tossicità umana, il riscaldamento globale e l'acidificazione, pari al 68.0% del ciclo di vita complessivo.

Sulla base di questi risultati e di una revisione della letteratura sugli studi di valutazione del ciclo di vita dei prodotti mobili, sono state presentate due strategie sostenibili: ottimizzare il sistema di trasporto e l'uso di materie prime alternative durante la produzione di pannelli truciolari a media densità.

Fig. 33 Product system della produzione dell'armadio Iritani D.R. et al/Journal of Cleaner Production, 96: 308-318



¹ Iritani D.R., Silva D.A.L., Saavedra Y.M.B., Graell P.F.F., Ometto A.R., Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry, in Journal of Cleaner Production, 96: 308-318, Maggio 2014

Materie prime

L'MDP esaminato è un materiale composito, composto da particelle di legno e un adesivo sintetico a base di resina urea-formaldeide (UF). Il truciolare è il componente principale dell'integrazione dell'armadio, che ha il ruolo di modellare e supportando la struttura del design del mobile. Infine, l'MDP prodotto viene trasportato da un camion EURO 3 all'industria del mobile e la distanza ipotizzata è stata di 200 km.

Altre materie prime che compongono l'armadio, rappresentano circa il 5,0% della massa totale degli input nel sistema del prodotto, e sono: il polipropilene che viene utilizzato per fabbricare maniglie; componenti in acciaio per collegare le parti del mobile, come cerniere e viti (Fig.34).

Inoltre, la fase di fornitura delle materie prime include anche adesivi e collanti sintetici, vernici e il diesel per il processo di trasporto.

Fig. 34 Inventario delle materie prime

Iritani D.R. et al/Journal of Cleaner Production, 96: 308-318

Inventory of the wardrobe cradle-to-gate life cycle.

Inputs		Outputs	
Resources and materials		Solid waste	
Polypropylene parts	9.14 kg	MDP waste	29.90 kg
Steel parts	15.70 kg	Paints waste	0.74 kg
Paints and varnishes	4.82 kg	Product	
MDP	235.00 kg	Wardrobe	257.00 kg
Glues and adhesives	0.72 kg		
Paperboard	22.20 kg		
Energy			
Electric power	333.60 MJ		

Produzione

Il processo di produzione dell'armadio può essere organizzato secondo le seguenti attività: taglio, foratura, finitura, imballaggio e spedizione. L'input di elettricità è la principale risorsa consumata a livello di produzione.

Risultati degli impatti ambientali

La tabella (Fig.35) riassume i risultati complessivi dei potenziali impatti ambientali della fase del ciclo di vita del sistema di prodotto. Si può vedere che i contributi dalla fase di fornitura delle materie prime variano dal 24,0% per HTS (human toxicity soil) al 100,0% degli impatti per CES (chronic ecotoxicity soil); mentre la fase di produzione dell'armadio era responsabile dello 0,5% per l'HTA (human toxicity air) al 34% per l'OD (ozone depletion); e la fase di distribuzione ha contribuito con l'1,5% per HTA al 76% per HTS. Si osserva quindi che la fase di produzione offre il contributo più basso agli impatti ambientali del guardaroba. Inoltre, la fase di produzione rappresentava meno del 10% degli

Fig. 35 Risultati degli impatti ambientali

Iritani D.R. et al/Journal of Cleaner Production, 96: 308-318

Results of the potential impacts of the wardrobe cradle-to-gate life cycle.

Impact category	Reference unit	Impact value
Global warming (GW)	kg CO ₂ -Eq.	290.75
Ozone depletion (OD)	kg R ₁₁ -Eq.	4.3E-6
Photochemical oxidation (PO)	kg C ₂ H ₄ -Eq.	0.18
Acidification (AC)	kg SO ₂ -Eq.	1.49
Chronic ecotoxicity (Soil) (CES)	m ³ -Eq.	11,042
Acute ecotoxicity (Water) (AEW)	m ³ -Eq.	444.67
Chronic ecotoxicity (Water) (CEW)	m ³ -Eq.	4921.7
Human toxicity (Air) (HTA)	m ³ -Eq.	7.08E+08
Human toxicity (Water) (HTW)	m ³ -Eq.	306.16
Human toxicity (Soil) (HTS)	m ³ -Eq.	12.983
Nutrient enrichment (NE)	kg NO ₃ -Eq.	1.64

Strategie di sostenibilità

impatti totali per il ciclo di vita del guardaroba.

Sulla base dell'interpretazione dei risultati precedenti, le fasi che presentano le maggiori opportunità di miglioramento ambientale sono la fornitura di materie prime, seguita dalla fase di distribuzione e dalla fase di produzione.

Come si può notare dal grafico (Fig.36), è degno di nota il fatto che le categorie di impatto HTS (tossicità umana), GW (cambiamento climatico) e AC (acidificazione) hanno totalizzato il 68,0% degli impatti complessivi del ciclo di vita del guardaroba.

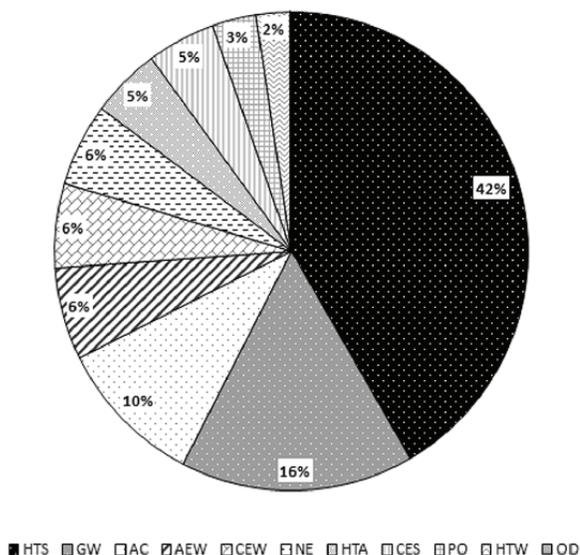
Tossicità umana (suolo)

Circa il 70,0% degli impatti potenziali dell'HTS (tossicità umana) proviene dalla fase di distribuzione, in particolare dalle emissioni di COV. Pertanto, le azioni di miglioramento ambientale consistono nell'ottimizzare i processi di trasporto riducendo il volume occupato dall'armadio e migliorando le prestazioni ambientali del sistema di trasporto utilizzato.

Riscaldamento globale

L'approvvigionamento di materie prime è il contributo più importante alla categoria GW (cambiamento climatico). Gli impatti identificati erano essenzialmente legati al ciclo di vita from grade to gate dell'MDP. Un suggerimento sarebbe quello di valutare la sostituzione parziale o totale di questo materiale.

Fig. 36 Grafico impatti ambientali
Iritani D.R. et al/Journal of Cleaner Production, 96:
308-318



Oltre a valutare l'aggiunta di materie prime alternative per sostituire il legno vergine, un'altra soluzione per migliorare il profilo ambientale dell'armadio studiato è sostituire la resina UF con quelle alternative. Secondo i risultati, il consumo di resina UF durante la produzione di MDP è stato evidenziato come un importante hotspot responsabile dell'impatto in quasi tutte le categorie di impatto valutate, principalmente per GW (cambiamento climatico), PO (ossidazione fotochimica), EC

(ecotossicità), HT (tossicità umana) e NE (ricchezza dei nutrienti).

Da come si evince da questo estratto dell'articolo del "Journal of cleaner production" nell'industria del legno per i mobili, i principali impatti ambientali sono dovuti dalla scelta delle materie prime e dalla distribuzione.

Gli impatti del compensato di betulla SVEZA STANDARD

Come abbiamo visto nell'MDP del caso studio precedente, anche nel compensato di betulla della poltrona presa in esame, tra le materie prime che lo compongono risulta la resina di formaldeide che, come abbiamo visto è un elemento dannoso per la salute e per l'ambiente.

Anche la distribuzione è un problema da prendere in considerazione perché si tratta di una distanza da percorrere con dei mezzi su ruota di 2917 km.



Il cuscino

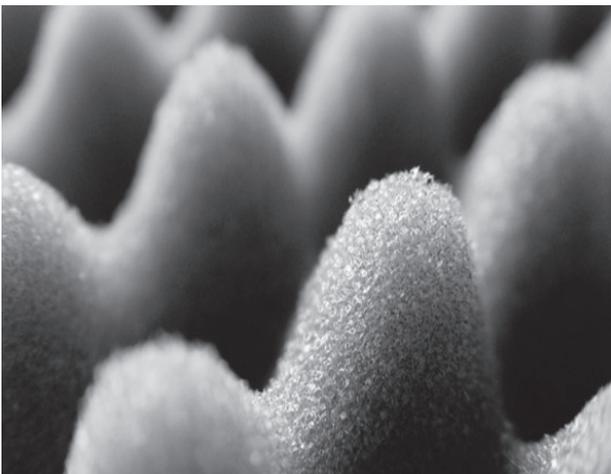
La gommapiuma

Il cuscino della seduta è composto da gommapiuma rivestita da un tessuto.

La gommapiuma (Fig.37), è il termine che indica il poliuretano espanso, un materiale spugnoso derivato dalla polimerizzazione del diisocianato di toluene, un derivato del petrolio.

Alla base del **poliuretano espanso** flessibile vi sono tre materie prime principali: il poliolo, il toluene di isocianato e l'acqua che è proprio il reagente che porta all'espansione e alla crescita della schiuma. Le materie prime vengono dosate all'interno della testa miscelatrice nella quale si ha l'innesco della reazione. La schiuma passa dalla testa miscelatrice, a una vasca e infine a un nastro trasportatore, si ha poi la reazione di "polimerizzazione" nell'arco di 1-3 minuti. Il completamento di reazione del poliuretano si ha nelle successive 72 ore.

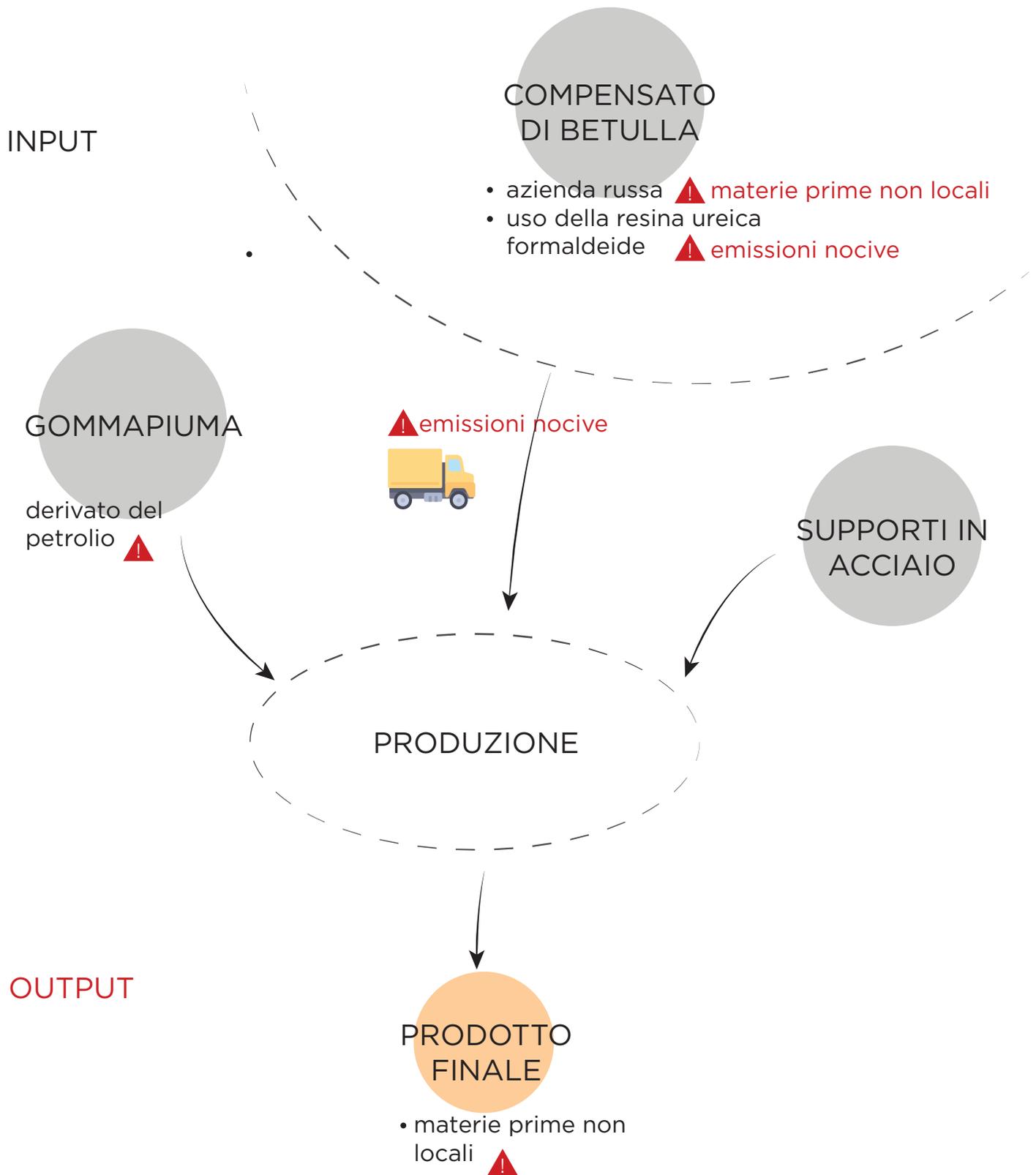
Fig. 37 Gommapiuma
<https://daily.wired.it/news/tech/2012/07/03/dunlop-invenzione-gommapiuma>



La gommapiuma viene utilizzata come fonoassorbente acustico, come imbottitura per materassi, divani, imballaggi e spugne, e nel tempo ha sostituito i materiali naturali che si usavano in antichità, come la lana, la paglia e la piuma.

Nel caso della produzione della poltrona in esame, la gommapiuma non è un prodotto locale e quindi necessita di un trasporto, inoltre non è un prodotto naturale ma artificiale.

La situazione attuale



6.2 Il Progetto: la poltrona nuova

Fig 38. Impatto ambientale. <http://www.welove-pasta.it/basso-impatto-ambientale/>



Riepilogando quanto appena detto, la poltrona presa in esame per questo progetto è realizzata in compensato di betulla proveniente dalla Russia e a completarla sono i cuscini in gommapiuma rivestiti e una barra di acciaio per sostenere lo schienale.

I problemi che si sono evidenziati nella sezione precedente riguardano i componenti principali della poltrona: il compensato e la gommapiuma. Il compensato di betulla proviene da impianti russi e questa distanza incide molto sul trasporto e sugli effetti ambientali, inoltre il compensato è realizzato con sostanze come la resina ureica di formaldeide, che sono sostanze nocive, tossiche per la salute umana e per l'ambiente.

L'obiettivo quindi è quello di valutare e proporre delle soluzioni innovative e migliorative per rendere il prodotto sostenibile e di produzione 100% italiana, sostituendo le materie prime non locali con quelle locali per minimizzare i trasporti e sostituendo le sostanze nocive con quelle alternative non tossiche per la salute umana e per l'ambiente.

Il Compensato

La struttura della poltrona attuale è realizzata con il compensato di betulla, un legno dolce che cresce principalmente nei paesi nordici e viene utilizzato spesso per la realizzazione dei mobili. Il compensato di betulla però, come si è visto nei paragrafi precedenti non è tra i legni più leggeri data la sua densità di 640 Kg/m³.

Una valida alternativa al compensato di betulla è il pioppo, perché è particolarmente adatto alla produzione di compensato, è un legno dolce ed è molto presente nel sistema agronomico italiano soprattutto nella Pianura Padana. Inoltre è un legno molto più leggero rispetto alla betulla ma dalle caratteristiche meccaniche molto buone.

Pioppicoltura Fin dall'Ottocento i filari di pioppo, in particolare di Pioppo nero (*Populus nigra*), caratterizzavano il paesaggio della Pianura Padana; il legno, chiaro e leggero, veniva utilizzato per produrre mobili, zoccoletti, tavole e cassette.

La pioppicoltura moderna nasceva negli anni Trenta del Novecento, basata sull'utilizzo di cloni a rapido accrescimento, selezionati inizialmente per la produzione della carta; il legno di pioppo divenne però presto un materiale determinante per sostituire altre materie prime carenti a livello nazionale, anche a fini militari, ad esempio per la costruzione degli aerei utilizzati dall'Italia nella seconda guerra mondiale; ebbe così inizio lo sviluppo dell'industria italiana dei compensati.

L'Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura di Casale Monferrato¹, confluito alcuni anni fa nel CREA come Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose Fuori Foresta, è stato il primo attore nella selezione dei cloni e nella messa a punto di specifiche tecniche per la coltivazione.

Il legno di pioppo da diversi decenni è quello più utilizzato dall'industria nazionale del legno, del mobile e della carta, il terzo settore italiano per importanza nell'export, il quale conta complessivamente circa 350.000 addetti.

A fronte di una domanda di legno di pioppo crescente, negli ultimi decenni è decisamente diminuito il grado di approvvigionamento interno: secondo i Censimenti Generali dell'Agricoltura², le superfici a pioppeto in Italia e in Piemonte si sono dimezzate nel periodo 2000-2010. Il crollo delle superfici pare connesso a ragioni soprattutto economiche e di mercato: alti costi del ciclo colturale e prezzi del legno poco redditizi.

La pioppicoltura piemontese ha una tradizione che risale ad oltre due secoli fa e ha sempre avuto un ruolo fondamentale nell'economia agricola regionale. Il Piemonte è stato una delle prime regioni ad impiegare con risultati positivi cloni ibridi euroamericani e ad attuare pratiche colturali idonee a una moderna pioppicoltura. In seguito all'aumento della richiesta di legname per usi industriali, l'importanza di questa coltura è andata via via aumentando e attualmente è ancora in grado di soddisfare circa il 60% delle esigenze dell'industria del legno che, in Piemonte, conta numerose imprese di livello internazionale soprattutto per quanto riguarda la realizzazione di pannelli compensati di alta qualità.

¹ Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura, Pioppicoltura, produzioni di qualità nel rispetto dell'ambiente, in Regione Piemonte, 2006.

² I dati raccolti attraverso il censimento dell'agricoltura forniscono un quadro informativo completo sulla struttura del sistema agricolo e zootecnico a livello nazionale, regionale e locale. Hanno quindi un forte impatto sullo sviluppo delle politiche agricole nazionali.

Coltivazioni di pioppo: stima
delle superfici per provincia

I dati riguardanti le superfici coltivate a pioppo provengono dall'"Inventario delle piantagioni di pioppo nella Regione Piemonte" realizzato dall'Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura (Coaloe e Chiarabaglio, 2000) con contributo finanziario regionale (D.D. n.980 del 23/12/98). L'inventario fa rimando alla situazione del 1996, quando la pioppicoltura era praticata su 33.025 ettari (2.3% dell'intero territorio regionale), di cui 17.400 in pianura e 15.625 in collina. La coltivazione di pioppo è particolarmente legata agli ambiti fluviali, Cuneo, Torino e Alessandria, sono percorse dai fiumi Po e Tanaro per lunghi tratti e si sono rivelate le province pioppicole per eccellenza: sul loro territorio è coltivato il 42% del pioppo dell'intera Regione e circa l'80% di quello delle aree di pianura. In Piemonte, a conferma dei dati relativi al Censimento generale dell'agricoltura (ISTAT 1991) e contrariamente alle altre regioni pioppicole padane, assume particolare importanza la pioppicoltura collinare (38% di quella totale, classificazione ISTAT³ delle zone altimetriche) che risulta concentrata soprattutto nelle Langhe e nel Monferrato (province di Cuneo, Asti e Alessandria).

In Piemonte il turno di coltivazione adottato per le piantagioni di pianura è generalmente più lungo rispetto a quello mediamente riscontrato nei pioppeti coltivati nel resto della pianura padana; i pioppeti di pianura sono abbattuti mediamente all'età di 12-13 anni e producono circa 234,8 metri cubi per ettaro; negli ambiti collinari, dove la coltivazione del pioppo non sempre assume una funzione economica prioritaria, le piantagioni generalmente sono abbattute attorno ai 14 anni e consentono di ottenere produzioni di 184 metri cubi per ettaro.

³ L'Istituto nazionale di statistica, ente pubblico di ricerca, È il principale produttore di statistica ufficiale per l'Italia.

Le caratteristiche fisiche e meccaniche del pioppo

Il pioppo potrebbe sostituire il legno di betulla in quanto è un legno che si coltiva nel territorio, è più leggero rispetto alla betulla perché ha una densità di 450 Kg/m³.

Caratteristiche meccaniche

Modulo di elasticità: 7800 N/mm²

Carico di rottura a trazione: 55 N/mm²

Carico di rottura a compressione assiale: 32 N/mm²

Carico di rottura a flessione: 55 N/mm²

Carico di rottura a taglio: 3,5 N/mm²

Ritiro assiale: 0,3%

Ritiro radiale: 0,12%

Ritiro tangenziale 0 25%

- è omogeneo, permette di produrre sfogliati di ampie dimensioni dal colore chiaro e omogeneo;
- è versatile, ha un buon rapporto tra peso specifico e prestazioni meccaniche, pur essendo un legno leggero, ha una resistenza a flessione e a trazione tali da renderlo adatto a tutti gli impieghi;
- ha una facile lavorazione, è un legno a pasta morbida anche se molto resistente;
- è ecologico, perché ha una funzione di depurazione dell'acqua e aria, è una fonte rinnovabile, incremento della biodiversità e non produce scarto di lavorazione.

Fig. 39 Pioppicoltura. <https://www.panguaneta.com/it/pioppo>



La colla di soia



Fig 40. Semi di soia. <http://dragonflyfoods.com/top-5-soybean-myths-busted/>

Le colle sintetiche sono ampiamente usate per incollare i pannelli a base di legno, ma la maggior parte dei componenti adesivi presenta elevati rischi per la salute dell'essere umano e per l'impatto ambientale. In alcuni di questi adesivi, ci sono composti che sono classificati come cancerogeni, ad esempio, le resine urea-formaldeide, che sono ampiamente utilizzate come adesivo nelle industrie del legno, causano l'emissione di gas formaldeide cancerogeno.

Al giorno d'oggi, le industrie sono disposte ad utilizzare adesivi per il legno naturali e rispettosi dell'ambiente, quali: la farina di soia e adesivi proteici di soia. Tali adesivi sono grandi potenzialità di applicazione per i compositi del legno grazie alle loro proprietà di adesione ecologiche e adeguate, ai metodi di preparazione rapidi e semplici e ai prezzi più convenienti. La soia ha un grande potenziale per l'applicazione come adesivo nella produzione dei compositi in legno. Gli adesivi innovativi a base di soia, senza emissione di formaldeide, diventano la scelta perfetta per sostituire le resine sintetiche con elevato rischio di cancro nell'uomo. Le proprietà e le applicazioni della soia come adesivo dipendono dalle sue proprietà, in alcuni casi, il raggiungimento di un buon adesivo richiede la modifica e l'alterazione delle proprietà della soia.

Tra le materie prime a base biologica, le proteine sono le alternative più interessanti grazie alla loro abbondanza in natura e alla loro rinnovabilità. La proteina di soia è composta da diversi amminoacidi, alcuni dei quali sono più reattivi di altri. Secondo studi precedenti, la soia ha un buon potenziale per la preparazione di bio-adesivi per applicazioni industriali, le tecnologie per adesivi a base di soia utilizzano diversi agenti di reticolazione per fornire potenziali adesivi per l'uso nella produzione di compensato e pannelli truciolari e MDF nonché altri prodotti in legno ingegnerizzati.

Proprietà e applicazioni della soia

Composizione chimica della soia

I semi di soia contengono circa il 20% di olio, il 34% di carboidrati, il 40% di proteine e il 4,9% di ceneri. L'olio di soia è composto principalmente da trigliceridi saturi e insaturi, i carboidrati di soia sono costituiti da polisaccaridi complessi comprendenti cellulosa, emicellulosa e pectina. Le proteine di soia sono principalmente proteine di riserva che forniscono aminoacidi durante la germinazione dei semi e la sintesi proteica. Gli amminoacidi della proteina sono collegati da legami di ammidici in catene di poli-peptidi. Le catene poli-peptidiche sono associate e intrecciate con una struttura tridimensionale complicata da legami disolfuro e idrogeno. La maggior parte delle proteine di soia sono globuline, contenenti circa il 25% di amminoacidi acidi, il 20% di amminoacidi basici e il 20% di amminoacidi idrofobici.

In base al contenuto di proteine, i prodotti a base di soia sono classificati come farina, semola e concentrato di proteine (70% in peso di proteine) e isolato di proteine di soia (> 90% in peso di proteine). Gli adesivi a base di soia, sono stati ampiamente utilizzati nella produzione dei compositi in legno dagli anni '30 agli anni '60, presentano molti vantaggi come il basso costo, la facilità di manipolazione e la bassa temperatura della pressa⁴.

⁴ Ghahri S., Mohebbi B., Soybean as Adhesive for Wood Composites: Applications and Properties, in Intech Open science, 2016

Meccanismo di adesione degli adesivi di soia

La proteina di soia è una proteina di conservazione e di solito ha una struttura molto compatta. All'interno della struttura compatta, le catene proteiche sono tenute insieme da legami disolfuro, legami idrogeno, attrazione elettrostatica tra gruppi opposti e interazioni idrofobiche. Diversi studi hanno suggerito che il dispiegamento della struttura proteica della soia ha migliorato significativamente la resistenza e la resistenza all'acqua dei pannelli compositi di legno legati con proteine di soia modificate. Quando la struttura proteica compatta è dispiegata, le catene proteiche possono diffondersi bene sulle superfici in legno e possono facilmente reagire con i componenti del legno e anche con altri agenti reticolanti con legami forti.

La modifica e lo sviluppo della proteina di soia sono necessari per ottenere una buona adesione e buone proprietà nei prodotti fabbricati con l'adesivo a base di soia. Esistono diverse sostanze chimiche per denaturare le proteine della soia, solitamente alcalini, solventi organici, tensioattivi, urea, guanidina e altri enzimi vengono utilizzati per modificare le proteine di soia. L'adesivo a base di soia con le proteine modificate, migliora notevolmente la resistenza di adesione e la resistenza all'acqua rispetto a un adesivo realizzato con le proteine di soia non modificate.

Esistono **quattro metodi** per sviluppare adesivi a base di soia, i primi due riducono notevolmente la presenza di formaldeide ma non viene eliminata totalmente, mentre gli altri due metodi invece sono free-formaldeide e quindi non utilizzano tale sostanza.

Il **primo** è l'aggiunta di farina di soia agli adesivi sintetici attualmente utilizzati che riduce il consumo degli adesivi sintetici. Ad esempio, la farina di soia aggiunta all'adesivo fenolo-formaldeide o PRF (fenolo-resorcinolo-formaldeide) per realizzare un adesivo ibrido. In questo caso però non c'è una sostituzione completa

della formaldeide.

Il **secondo** metodo usa farina di soia come estensore in resine fenoliche per la produzione di compensato. I ricercatori hanno indicato che la farina di soia aveva buone proprietà schiumogene e la forza adesiva era almeno uguale a quella dell'adesivo di controllo senza alcun agente schiumogeno. Inoltre, il costo dell'adesivo finale è solitamente più economico rispetto agli attuali adesivi in cui vengono utilizzati agenti schiumogeni a base di sangue.

Il **terzo** è la denaturazione delle proteine della soia. La proteina di soia viene prima denaturata con diverse sostanze chimiche e poi utilizzata come adesivo. La denaturazione si riferisce a un processo che modifica la struttura secondaria, terziaria o quaternaria di una molecola proteica. I miglioramenti di adesione sono stati dimostrati sulla resistenza adesiva e sulla resistenza all'acqua dei compensati quando la proteina di soia viene utilizzata in campioni che sono stati denaturati con alcali, proteasi, guanidina cloridrato. Pertanto, la proteina di soia modificata ha una maggiore idrofobicità per migliorare le sue proprietà resistenti all'acqua.

Il **quarto metodo** è l'uso di un agente di cross-linking. Il **cross-linking** è un processo di unione chimica di due o più molecole con un legame ionico o covalente. La proteina di soia ha molti aminoacidi diversi e un certo numero di gruppi funzionali sulla catena laterale dell'amminoacido sono pronti per la reazione chimica. Tra questi, alcuni gruppi funzionali sono più reattivi degli altri.

Un esempio dell'applicazione di questo metodo è analizzato nell'articolo "Chemical phosphorylation improves the moisture resistance of soy flour-based wood adhesive" , Dan Zhu et al (2014), viene descritto un approccio di chimica verde per migliorare la resistenza all'umidità dell'adesivo a base di farina di soia (SF). La

fosforilazione chimica della farina di soia (PSF), che si ottiene usando il tricloruro di fosfato (POCl_3) come agente fosforilante, ha aumentato drasticamente la sua forza di legame umido. Il rapporto ottimale POCl_3 : SF che produce la massima forza di adesione a umido è di circa 0,15 (g g^{-1}). L'aumento della forza di adesione a umido di PSF (PSF0.15) è dovuto principalmente ai gruppi fosfato incorporati nelle proteine e ai carboidrati e, in misura minore, alla denaturazione delle proteine indotta da fosforilazione. I gruppi fosfato attaccati agiscono come agenti di reticolazione, sia per esterificazione covalente con gruppi idrossilici su trucioli di legno o tramite interazioni ioniche e di legame con idrogeno con gruppi funzionali su trucioli di legno. A temperature di pressatura a caldo superiori a 160°C , la forza di adesione a umido di PSF0.15 è maggiore di 2,6 MPa, un livello che può essere accettabile per il compensato di legno duro usato internamente e il pannello truciolare. POCl_3 è un reagente di uso generale a basso costo e pertanto l'adesivo a base di PSF è rispettoso dell'ambiente.

La soia (in diverse forme come farina di soia, concentrato di soia e proteine di soia) come adesivo per l'incollaggio del legno ha proprietà molto buone come la facilità di approvvigionamento, il costo inferiore rispetto ad alcune resine sintetiche, proprietà "eco-friendly" dell'ambiente, nessuna emissione di gas cancerogeni, facile preparazione e applicazione e buone proprietà meccaniche nei prodotti fabbricati dall'uomo. La soia è un biomateriale adatto per la sostituzione di sostanze chimiche sintetiche e cancerogene. Recenti studi hanno dimostrato che gli adesivi a base di soia modificati hanno le stesse proprietà delle tradizionali resine sintetiche applicate nelle industrie.

L'imbottitura: il cotone di pioppo



Fig.41 Pappi di pioppo. <http://www.fotocommunity.it/photo/pappi-di-pioppo-dino-spolaor/>

La poltrona di PAT Design, come abbiamo visto precedentemente, è costituita da due elementi fondamentali: la struttura in compensato e i cuscini per la seduta in gommapiuma. La gommapiuma è un prodotto realizzato artificialmente ed è realizzato con elementi che derivano dal petrolio, per rendere la poltrona sostenibile è fondamentale sostituire anche questo elemento con materie prime naturali e del territorio.

Scegliendo come materia prima principale il legno di pioppo ed avendo analizzato sotto tutti gli aspetti questo tipo di legno, è nata l'idea di sostituire la gommapiuma con un elemento sconosciuto al mercato attuale italiano: il cotone di pioppo.

Nei Paesi stranieri, il pioppo viene chiamato "cotton tree" ovvero l'albero del cotone, grazie alla sua infiorescenza chiamata pappo. Il pappo (Fig.41) è l'appendice piumosa dei semi avente la funzione di dispersione di questi ultimi per l'azione del vento. I pappi sono composti da cellulosa, come il cotone e sono completamente anallergici contrariamente ai semi.

I Pappi sono prodotti dalle specie di sesso femminile, come mostra la tabella in Fig.42 dell'Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura di Casale Monferrato, certe specie sono più produttive e altre meno, tuttavia per alcune il dato è ancora sconosciuto. Le specie con un elevato livello di produzione di cotone sono Lux e Villafranca, quelle con una produzione media sono Carolina di Santena, Carpaccio, Cima, Guardi, Luisa Avanzo e Neva. Sono tutte idonee alla sfogliatura del legno con un livello elevato, tranne Lux e Villafranca che hanno un livello di idoneità alla sfogliatura più bassa rispetto alle altre.

Fig.42 Principali caratteristiche dei cloni di pioppo selezionati in Italia, iscritti al Registro Nazionale dei Cloni Forestali.

Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura, Ecocertificazione della pioppicoltura, in Regione Piemonte, 2002

CLONE	CHIOMA	FIORI	RESISTENZA											FUSTO				LEGNO						
			DENOMINAZIONE	ORIGINE GENETICA	FORMA	SESSO	PRODUZIONE DI 'COTONE	CALCARE ATTIVO	IDROMORFIA	ARIDITA'	VENTO	DEFOGLIAZIONE PRIMAVERILE	RUGGINI	BRONZATURA	NECROSI CORTICALI	MACCHIE BRUNE	VIRUS DEL MOSAICO	AFIDE LANIGERO	CAPACITA' DI RADICAMENTO	REGOLARITA' DELLE SEZIONI	DRITTEZZA	IDONEITA' ALLA POTATURA	RAPIDITA' DI ACCRESCIMENTO	STABILITA' DI ACCRESCIMENTO
Harvard	d	espansa	M		?	?	?	1	2	1	2	2	2	2	1	1	0	1	1	1	2	1	1	?
Onda	d	espansa	M		?	?	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	0	1	1	1	2	1	1	0,31
Lux	d	espansa	F	1	2	1	1	1	2	1	2	2	2	1	2	0	1	0	1	2	1	1	0,37	
Dvina	d	semi-espansa	M	0	1	1	0	2	1	2	2	2	2	1	1	0	1	2	2	2	2	1	0,33	
Lena	d	semi-espansa	M	1	1	0	1	2	1	2	2	2	2	0	1	0	0	0	2	1	1	1	0,33	
Carolina di Santena	e	espansa	F	0	?	?	1	0	2	1	1	2	2	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0,41	
San Martino	ex?	espansa	F	2	2	0	1	0	2	1	1	1	2	2	1	0	1	1	1	2	1	1	0,31	
Triplo	dxn	espansa	M	2	2	0	0	2	0	2	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0,32	
I-45/51	ex?	espansa	M	1	1	?	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	0	2	0	1	1	0,31	
I-154	exn	espansa	M		?	?	?	?	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	0	?	1	0,32	
I-214	e	semi-espansa	F	1	1	0	0	1	2	0	1	0	1	2	1	2	0	0	1	1	2	2	0,29	
I-262	e	semi-espansa	M		?	?	?	?	2	0	2	1	0	2	1	2	1	0	1	0	?	?	0,30	
I-455	e	raccolta	F	1	?	?	?	?	2	1	2	1	0	2	1	2	1	2	1	0	?	1	0,28	
BI Costanzo	e	semi-espansa	F	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	2	1	2	1	2	1	0,31	
Cappa Bigliona	e	semi-espansa	F	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	2	1	2	1	2	1	1	0,30	
Pan	e	semi-espansa	F	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	2	1	2	1	2	1	1	0,31	
Boccalari	e	semi-espansa	F	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	2	0,33	
Branagesi	e	semi-espansa	F	2	1	0	0	1	2	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	2	0,36	
Gattoni	e	semi-espansa	F	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	2	0,35	
302 San Giacomo	e	semi-espansa	F	2	1	0	0	1	2	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0,33	
Adige	e	semi-espansa	F	1	0	?	0	0	1	1	0	1	0	1	2	1	0	1	1	0	0	2	0,36	
Stella Ostigliese	e	semi-espansa	F	1	0	?	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	2	0,36	
Bellini	dx?	semi-espansa	M		2	?	1	0	2	1	0	2	2	1	2	1	2	1	2	0	1	?	0,35	
Carpaccio	dxn	semi-espansa	F	0	?	?	?	0	1	1	0	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	?	0,31	
Cima	dx?	raccolta	F	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	2	1	2	1	2	2	1	0,33	
Guardi	dxn	raccolta	F	0	0	?	?	1	2	1	0	2	2	2	1	2	1	2	1	1	?	1	0,33	
Luisa Avanzo	dx?	raccolta	F	0	0	1	1	2	0	1	1	1	1	2	0	2	1	2	1	2	2	1	0,34	
Neva	dxn	raccolta	F	0	1	1	0	1	2	2	0	0	0	2	1	2	2	2	2	2	1	2	0,33	
Jean Pourtet	n	raccolta	M		0	?	0	1	2	1	2	1	2	2	2	0	2	0	0	1	0	?	0,35	
Eridano	dxm	espansa	M		2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	0	1	0	1	1	1	1	0,31	
Villafranca	axa	espansa	F	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0,33	

I- Le valutazioni sono aggiornate al 2002 e, quando non diversamente indicato, sono basate su una scala arbitraria a 5 livelli, codificati dai numeri:

2 - molto scarso; 1 - scarso; 0 - sufficiente; 1 - elevato; 2 - molto elevato

Ai fini di questa classificazione il comportamento verso i parassiti dei cloni non-ospite è stato assimilato a quello dei cloni più resistenti.

II- Le specie parentali sono simbolicamente identificate dalle lettere:

"a": *Populus alba*; "d": *P. deltoides*; "e": *P. x canadensis*; "m": *P. maximowiczii*; "n": *P. nigra*.

Applicazioni

Fin dall'800 il cotone di pioppo veniva usato come imbottitura per i cuscini, oggi gli usi del cotone di pioppo sono meno conosciuti ma specialmente nel Nord America vengono utilizzati ancora utilizzati come imbottiture per materassi e cuscini o come materiale di isolamento.

Il cotone di pioppo come isolante termico

Secondo uno studio conseguito dalla Oregon University⁵, le fibre dei semi di pioppo, raccolte dai baccelli, hanno proprietà che le rendono fibre ideali per le applicazioni di isolamento termico. Questo studio esamina alcune caratteristiche fisiche, chimiche e termiche della fibra di pioppo in relazione alla lana, piumino e poliestere. I risultati hanno dimostrato che, rispetto alla lana e al piumino, la fibra di pioppo ha un diametro più fine, è più leggera e presenta il più alto potere di riempimento, una misura della capacità di una fibra di conservare massa. I test di isolamento termico rivelano che, sebbene leggermente inferiore, la fibra di pioppo presenta un valore di resistenza termica simile a quello del poliestere e della lana. Inoltre, il nucleo cavo eccezionalmente grande della fibra di pioppo e la sua capacità di resistere alla bagnatura dopo i trattamenti con solventi e lavaggio, suggeriscono con forza che la fibra di pioppo abbia un grande potenziale come isolante di massa tessile rispettoso dell'ambiente, efficace e leggero.

Il caso studio

Il cotone di pioppo come imbottitura per materassi e cuscini.

Gli agricoltori dell'Oregon hanno creato piantagioni di pioppi a crescita rapida per fornire una fonte di fibra di legno per le cartiere. Per favorire la crescita e il marketing, nel 1999 è stata costituita l'Hybrid Poplar Growers Association⁶. Uno degli obiettivi è lo sviluppo di mercati a valore aggiunto per i pioppi della regione. Un'azienda tedesca, nel business dello sviluppo di

⁵ Chen H.L., Cluver B., Assessment of Poplar Seed Hair Fibers as a Potential Bulk Textile Thermal Insulation Material, in Clothing & Textiles Research Journal, I-8, 2010

⁶Associazione formata tra il 1990 e il 1995 dal CPRCEDD per promuovere la trasformazione di terreni agricoli in coltivazioni di pioppi ibridi.

fibre alternative per il mercato del piumino e del cuscino in Europa, ha chiesto all'associazione circa la disponibilità di cotone pioppo in Oregon e a Washington. I semi dei pioppi maturi producono cotone, che i produttori europei di trapunte e cuscini di alta qualità utilizzano come riempitivo per sostituire la piuma e il cotone. Il cotone di pioppo può eliminare l'umidità e mantenere la massa, oltre a offrire un'alternativa ai clienti con reazioni allergiche ai filler convenzionali, conferendo al cotone un vantaggio commerciale come riempitivo ecocompatibile.

Poiché non erano disponibili informazioni sui costi di produzione, raccolta, lavorazione e vendita del cotone, l'Associazione dei coltivatori di pioppi ibridi ha cercato di valutare questa alternativa per i suoi membri e altri coltivatori di pioppi regionali per verificare se si tratta di un'esportazione valida per i coltivatori del Pacifico Nord Ovest.

Gli obiettivi principali di questo caso studio sono:

- Valutare il mercato tedesco del cotone pioppo dell'Oregon e stabilire il prezzo di mercato
- Valutare la produzione di cotone di pioppo dalle piantagioni dell'Oregon
- Determinare i costi di raccolta ed elaborazione per la fibra di cotone pioppo nelle piantagioni dell'Oregon

Furono contattate diverse aziende e fu stabilito un prezzo per le capsule del pioppo. La società tedesca, Papillon, istituì un centro di lavorazione vicino a Corvallis per trattare le capsule di pioppo e controllarne la qualità. Il prezzo del frutto raccolto variava tra i 94 centesimi e 1,41 dollari al chilo, a seconda della quantità consegnata. Papillon comunicò di voler ricevere 3.000 chilogrammi di capsule all'anno dal Pacifico nord-occidentale, con l'aspettativa di una crescita di domanda dopo le nuove strategie di marketing in Europa.

Tutte le capsule di pioppo vennero raccolte, da alberi

di otto anni, varietà 15-029, mediamente 3kg per albero nell'Oregon orientale e occidentale. La raccolta sul lato ovest è stata fatta con degli elevatori, ma si sono dimostrati costosi. Il raccolto est-ovest proveniva da alberi già abbattuti per il legno, sebbene alcune capsule di pioppo andassero perse durante l'abbattimento. Il raccolto effettuato su un albero di quattro anni della varietà 318-162, con le capsule raccolte tagliate direttamente dal ramo, conta in media 7kg per albero con un costo di produzione molto più basso. Tuttavia, questo metodo ha rimosso rami che contribuiscono alla crescita degli alberi e potrebbero ridurre la produzione di capsule di frutta l'anno successivo.

Il team del progetto ha condotto due raccolti sui lati est e ovest dell'Oregon utilizzando questi tre metodi (con il profitto stimato tra parentesi): 1) raccolto di frutti tramite la potatura di alberi giovani per la qualità del legno sul lato ovest (9 centesimi al chilo nel 2002 e 14 centesimi nel 2003); 2) raccolta sul lato est delle vecchie piantagioni utilizzando sollevatori idraulici per raccogliere la frutta dai rami superiori (33 centesimi al chilo per entrambi gli anni); 3) raccolta di capsule sul lato est da alberi abbattuti per la raccolta del legno (68 centesimi al chilo per entrambi gli anni).

Le capsule vennero in seguito asciugate all'aria per agevolare l'apertura e rilasciare la fibra di cotone. La fibra di cotone viene pulita attraverso una serie di schermi all'interno di una sgranatrice per rimuovere la capsula e i detriti. Vennero raccolti circa 7.500 chili di frutti di pioppo nel nord-ovest del Pacifico.

In sintesi, le capsule di cotone di pioppo appaiono sugli alberi all'età di quattro anni, ma iniziano la produzione massima all'età di otto anni. Gli alberi di quattro anni, sono i più facili da gestire nella raccolta da terra con potatori a palo. Gli alberi di otto anni producono grandi quantità di capsule di frutta, ma possono

essere raccolte solo con elevatori di uomini o abbattendo alberi. Nel progettare una piantagione di pioppo, è importante selezionare la varietà giusta sia per il legno che per il cotone.

"Il metodo di raccolta combinato con la giusta varietà può creare una piantagione redditizia che restituirà un flusso di cassa dall'età di quattro anni fino alla raccolta del legno", ha concluso il team del progetto. "La combinazione man lift e varietà 318-162 dovrebbe rendere l'operazione più sostenibile di questo tipo di agricoltura per più obiettivi".

Benefici sull'agricoltura

L'allevamento di pioppi offre una serie di attributi potenzialmente sostenibili, tra cui la riduzione del deflusso di prodotti chimici e fertilizzanti dall'agricoltura, il sequestro del carbonio e il controllo della polvere e dell'erosione. La raccolta di diversi prodotti dagli alberi potrebbe fornire un flusso di cassa sostenibile e a lungo termine, creando più posti di lavoro nelle aree rurali.

6.3 Il Progetto: Life Cycle Assessment delle poltrone a confronto

Introduzione In questo progetto, l'obiettivo è migliorare un prodotto esistente (una poltrona in compensato) rendendolo più sostenibile dal punto di vista ambientale. A tal fine, vengono analizzate le materie prime responsabili dei maggiori impatti ambientali e sostituite con materie prime locali e naturali che diminuiscono gli effetti negativi sull'ambiente e sulla salute umana.

In questa Life Cycle Assessment sono analizzate le materie prime, le quantità e i processi che servono per produrre una poltrona secondo il design attuale; in parallelo sono analizzati i processi necessari per la produzione di una nuova proposta di poltrona, con materie prime locali e naturali. In seguito si valuteranno i risultati per alcune categorie di impatto per entrambi i prodotti e quest'ultimi saranno messi a confronto.

Come descritto nel capitolo 5, la Life Cycle Assessment si divide in **4 fasi principali**:

1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione
2. Analisi dell'inventario del ciclo di vita (LCI)
3. Valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA)
4. Interpretazione del ciclo di vita

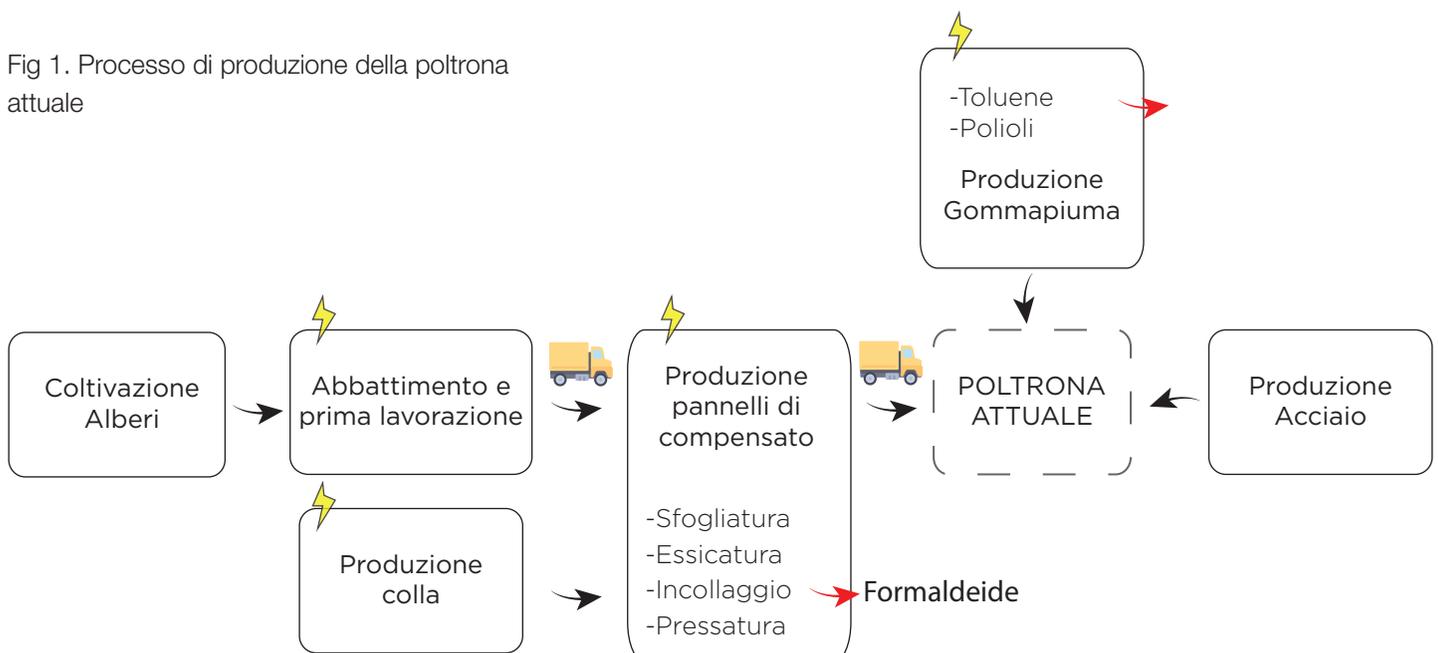
1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

Lo scopo principale di questo lavoro è quello di migliorare un prodotto di design e verificare se la sostituzione di alcune elementi ritenuti ambientalmente dannosi e di materie prime non locali, possano migliorare significativamente gli effetti sull'ambiente.

Il campo di applicazione è quello del design del prodotto, l'unità funzionale di riferimento è la produzione di una poltrona in compensato progettata dall'Architetto Andrea Veglia dello studio PAT Design di Torino e il confine di sistema preso in considerazione per questa LCA è del tipo from-cradle-to-gate, ovvero dall'approvvigionamento delle materie prime alla produzione della poltrona.

Il sistema comprende dunque il processo di coltivazione degli alberi da cui sono ottenuti il legno e il cotone, i processi di trasformazione delle varie materie prime in semilavorati, i processi di produzione della colla, della barra di acciaio e della gommapiuma, l'assemblaggio delle componenti nel prodotto finale e i trasporti coinvolti (Fig. 1).

Fig 1. Processo di produzione della poltrona attuale



Il processo di produzione del compensato ha inizio dalla coltivazione degli alberi e prosegue con l'abbattimento e il taglio dei tronchi. I tronchi vengono successivamente trasportati nelle aziende dove è effettuato il processo di produzione del compensato, che comprende le fasi di sfogliatura, essiccazione, incollaggio e pressatura. In parallelo, viene prodotto un adesivo apposito necessario per la fase di incollaggio del compensato. Gli altri processi produttivi correlati alla realizzazione della poltrona sono il processo di produzione della gommapiuma (che comprende la produzione di isocianato di toluene e polioli) e il processo di produzione della barra di acciaio.

2. Analisi dell'inventario del ciclo di vita (LCI)

L'analisi di inventario è svolta per due prodotti: la poltrona attuale e la poltrona nuova. La poltrona attuale fa riferimento al progetto originale, mentre la poltrona nuova fa riferimento al nuovo progetto, con la sostituzione di alcuni materiali.

Nella poltrona attuale, le principali materie prime sono: il compensato di betulla, proveniente da una azienda russa situata a San Pietroburgo, assemblato con un adesivo contenente urea formaldeide; il poliuretano espanso, più comunemente conosciuto come gommapiuma, per imbottire il cuscino della poltrona; un tessuto in cotone per rivestire il cuscino e una barra di acciaio che sostiene lo schienale.

La produzione di una poltrona secondo il design attuale (il cui peso è di 18.97 kg) richiede le quantità riportate in tabella 1:

Tabella 1 Input/Output poltrona attuale

Input	Quantità	Unità di misura	LC dataset
Compensato trasp.*	0.02590	m ³	
Poliuretano	2	kg	ecoinvent22/plastics/polymers/polyurethane flexible foam at plant -RER
Acciaio	0.401	kg	ecoinvent22/metals/general manufacturing/average metal working - RER
Cotone	0.002	kg	ecoinvent22/textiles/production/woven cotton at plant - GLO
Output			
Poltrona attuale	18.973	kg	

La tabella 1 mostra le quantità delle materie prime che occorrono per produrre una poltrona. In particolare, sono necessari 0.0259 m³ di compensato. Il dato relativo alla produzione del compensato è un dato secondario, la cui fonte è il database Ecoinvent2.2. La quantità di compensato è invece un dato primario, essendo stato calcolato delle dimensioni effettive del prodotto in metri cubi.

Allo stesso modo, anche i dati di produzione delle altre materie prime sono state prese dal database Ecoinvent2.2, mentre le quantità sono state ricavate a partire da dati primari.

Tabella 2 Input poltrona attuale: compensato trasportato

Input*	Quantità	Unità di misura	LC dataset
Compensato Betulla	0.00160	m ³	ecoinvent22/wooden materials/extraction/plywood indoor use at plant - RER
Trasporto	1*2917	kg*km	ecoinvent22/trasport system/road/lorry 16-32t EURO 3 - RER

Nella tabella 2, è riportato il processo del compensato trasportato. Le quantità del compensato di betulla fanno riferimento al volume necessario per produrre 1 kg di compensato. E' stato inoltre inserito il trasporto su strada (dato secondario, fonte: database Ecoinvent2.2), facente riferimento al trasporto di 1 kg di compensato per 2917 km (distanza da San Pietroburgo, dove si trova l'azienda produttrice di compensato, a Torino). Il dato della distanza è stata ricavata tramite Google Maps.

Tabella 3 Input/Output Compensato poltrona attuale

Input	Quantità	Unità di misura	LC dataset
Diesel	3.2	MJ	ecoinvent22/construction processes/machinery/ diesel burned in building machine -GLO
Elettricità	306.0	kWh	ecoinvent22/electricity production mix/ electricity, medium voltage, production UCTE, at grid - UCTE
Legno	-1.32	m ³	ecoinvent22/wooden materials/extraction/hardwood, allocation correction, 1 - RER
Legno tondo	2.7	m ³	ecoinvent22/ wooden materials/extraction/ round wood, hardwood, under bark, u=70%, at forest road - RER
Trasporto	348.0	t*km	ecoinvent22/trasport system/train/ transport, freight, rail - RER
Trasporto	157.0	t*km	ecoinvent22/ trasport system/road/ transport, lorry >16t, fleet average - RER
Trattamento effluenti	1.84	m ³	ecoinvent22/waste management/wastewater treatment/ treatment, plywood production effluent, to wastewater treatment, class 3- CH
Resina Urea Formaldeide	83.2	kg	ecoinvent22/painting/production/ urea formaldehyde resin, at plant - RER
Acqua	1.84	m ³	ecoinvent22/elementary flows/resource/in water/ water, cooling, unspecified natural origin
Trucioli di legno	8110.0	MJ	ecoinvent22/wood energy/heating system/ wood chips, from industry, hardwood, burned in furnace 50kW - CH
Trucioli di legno	-19297	m ³	ecoinvent22/wood energy/fuels/ wood chips, hardwood, from industry, u=40%, at plant - RER
Tavole di legno	3.33E-8	Item(s)	ecoinvent22/ wooden materials/extraction/ wooden board manufacturing plant, organic bonded boards - RER
Output			
Formaldeide	0.0832	kg	ecoinvent22/emission to air/unspecified/formaldehyde
Calore	1100.0	MJ	ecoinvent22/emission to air/unspecified/heat, waste

Nella tabella 3 si possono osservare le quantità e i relativi dati presi da Ecoinvent2.2 sulle materie prime che servono per produrre 1 m³ di compensato. Il dato che distingue la produzione del compensato utilizzato per la poltrona attuale da quello utilizzato per quella nuova è la resina di urea formaldeide, che viene utilizzata come adesivo per incollare gli strati di legno. La formaldeide, che come si può notare è presente tra le emissioni dirette in aria, è una sostanza tossica per l'uomo e per l'ambiente.

La tabella 4, mostra gli input che servono per produrre una poltrona nuova:

Tabella 4 Input/Output Poltrona nuova

Input	Quantità	Unità di misura	LC dataset
Compensato di pioppo Trasportato ^a	0.0259	kg	
Adesivo di soia ^b	0.2126	kg	
Cotone di pioppo ^c	0.500	kg	
Acciaio	0.401	kg	ecoinvent22/metals/general manufacturing/average metal working - RER
Cotone	0.002	kg	ecoinvent22/textiles/production/woven cotton at plant - GLO
Output			
Poltrona nuova	12	kg	

Tabella 5 Compensato trasportato

Input ^a	Quantità	Unità di misura	LC dataset
Compensato pioppo	0.0022	m ³	ecoinvent22/wooden materials/extraction/plywood indoor use at plant - RER
Trasporto	1*50	kg*km	ecoinvent22/trasport system/road/lorry 16-32t EURO 3 - RER

Nella poltrona nuova, è stato scelto di sostituire il legno di betulla con quello di pioppo, perché è un legno particolarmente adatto alla produzione di compensato, è leggero ed è molto presente nel sistema agronomico italiano, soprattutto nella Pianura Padana. Il dato del compensato di pioppo è stato ricavato modificando il dato del database Ecoinvent2.2, da cui è stata tolta la resina di urea formaldeide. Il dato della quantità del compensato fa riferimento al volume necessario per produrre 1 kg di compensato ed è stato ricavato dalle dimensioni effettive della parte in compensato della poltrona (dato primario).

Il dato del trasporto fa riferimento ad un veicolo su strada, preso da Ecoinvent2.2, e i km sono stati ipotizzati sulla base della posizione degli impianti presenti in Piemonte.

Tabella 6 Input Adesivo di soia

Input ^b	Quantità	Unità di misura	LC dataset
PSF ¹	0.25	kg	
Acqua	0.75	kg	ecoinvent22/water supply/production/tap water at user - RER
Output			
Adesivo di soia	1	kg	

Tabella 7 Input PSF

Input ¹	Quantità	Unità di misura	LC dataset
Tricloruro di fosforo	0.15	kg	ecoinvent22/chemicals/inorganics/phosphoryl chloride, at plant - RER
Farina di soia	0.85	kg	ecoinvent22/biomass/other/soybean meal, at oil mill - US
Output			
Adesivo di soia	1	kg	

Nella tabella 6 possiamo osservare le materie prime che servono a produrre 1 kg di adesivo a base soia: 0.25kg di farina fosforilata (PSF) e 0.75 kg di acqua. La farina fosforilata (Tab.7) si ottiene facendo reagire il tricloruro di fosforo POCI₃ con la farina di soia (SF),

che aumenta la forza legante. Le quantità ottimali per ottenere 1 kg di farina forsforilata sono 0.15 kg di POCl_3 e 0.85 kg di farina. I dati delle materie prime sono stati presi dal database Ecoinvent2.2 mentre le quantità sono state prese da letteratura scientifica (Zhu et al., 2014).

Tabella 8 Input Cotone di pioppo

Input^c	Quantità	Unità di misura	LC Dataset
Elettricità	0.54306	kWh	ecoinvent22/electricity production mix/ electricity, low voltage, production UCTE, at grid - UCTE
Output			
Cotone di pioppo	1	kg	

La raccolta del cotone di pioppo, avviene in seguito all'abbattimento dei pioppi volti alla produzione del legno. Una volta raccolte le capsule che contengono la fibra del cotone, queste vengono sgranate attraverso una ginnatrice che separa la fibra dalla capsula. Per questa ragione, come si vede in tabella 8, è stato inserito un dato sull'elettricità, che è quella che serve alla sgranatrice per ottenere 1 kg di cotone. I dati sono stati presi da Ecoinvent2.2.

Gli input di acciaio e tessuto sono i medesimi della poltrona precedente.

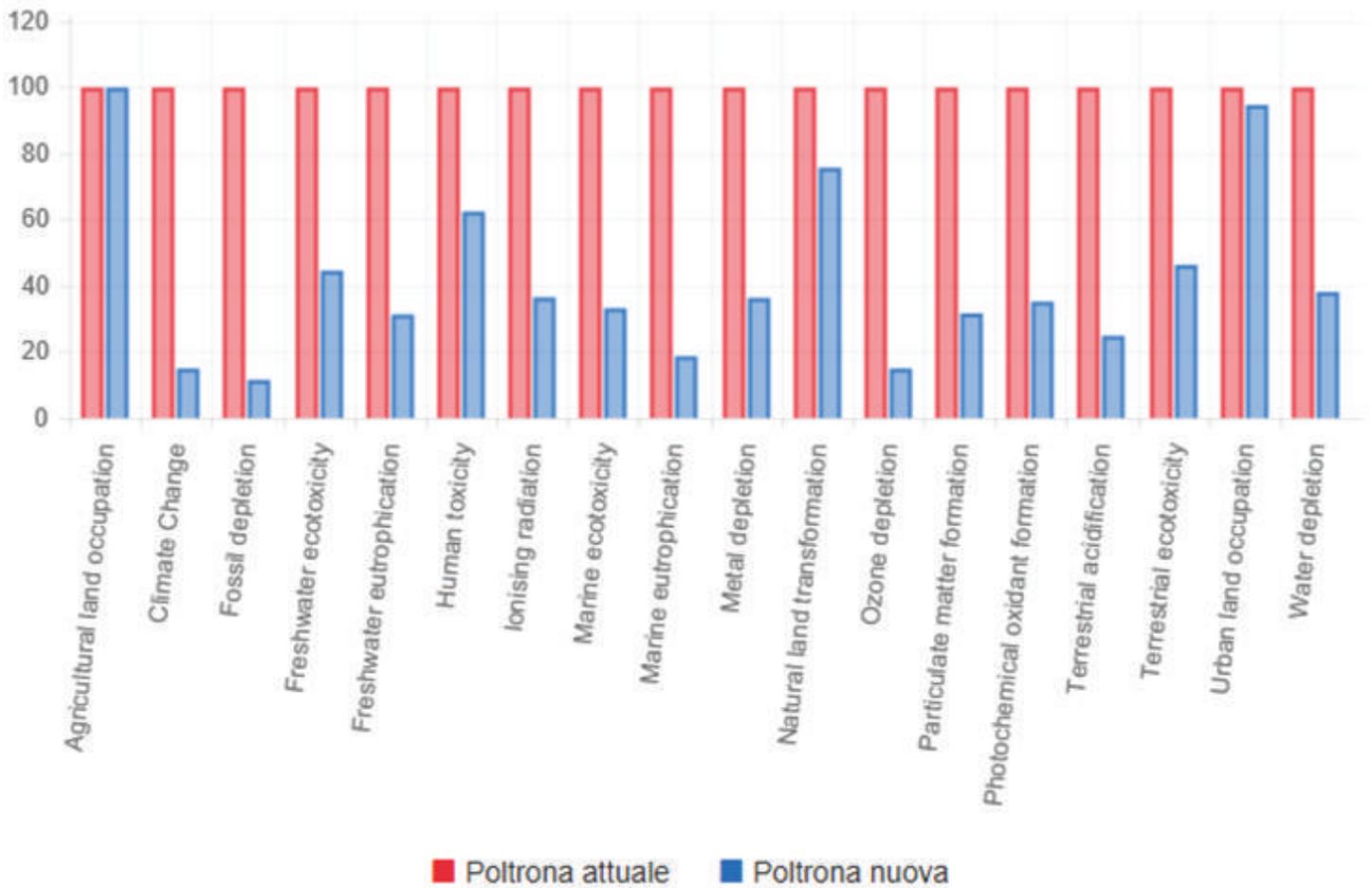
3. Valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA)

In questa fase di valutazione degli impatti, analizziamo gli effetti sull'ambiente per le diverse categorie di impatto, mettendo a confronto la poltrona attuale con quella nuova (Tab.9), e osservando nel dettaglio i processi che contribuiscono maggiormente agli impatti. La Tab. 9 mostra una panoramica con i valori assoluti per le tutte categorie di impatto analizzate con il metodo ReCiPe Midpoint (H).

Tabella 9 Risultato impatti poltrona attuale e nuova

Categoria	Poltrona attuale	Poltrona nuova	Unità di misura
Esaurimento fossili	11.86617135	1.37550	kg oil eq.
Esaurimento acqua	72.00043851	27.49534	m ³
Formazione ossidanti fotochimici	0.189621495	0.06686	kg NMVOC
Esaurimento metalli	0.900319426	0.32751	kg Fe eq.
Eutrofizzazione marina	0.017160161	0.0032	kg N eq
Ecotossicità acqua fresca	0.000627526	0.00028	kg 1,4-DB eq.
Occupazione suolo agricolo	238.7000445	238.64660	m ² a
Radiazioni ionizzanti	6.546761003	2.39097	kg U235 eq.
Eutrofizzazione acqua fresca	0.009234131	0.00289	kg P eq.
Particolare formazione materia	0.071608056	0.02271	kg PM10 eq.
Tossicità umana	2.959197903	1.85052	kg 1,4-DB eq.
Occupazione suolo urbano	2.566900353	2.43225	m ² a
Trasformazione suolo naturale	0.023119014	0.01752	m ²
Acidificazione terrestre	0.156398334	0.03904	kg SO ₂ eq.
Cambiamento climatico	32.06235658	4.80756	kg CO ₂ eq.
Ecotossicità marina	0.01821457	0.00606	kg 1,4-DB eq.
Esaurimento ozono	2.84E-06	4.26017E-7	kg CFC-11 eq.
Ecotossicità terrestre	0.003082513	0.00143	kg 1,4-DB eq.

Fig 2 Grafico impatti ambientali poltrona attuale e nuova



Come si può osservare dalla tabella 9 e dalla figura 2, gli impatti ambientali della poltrona nuova, sono nettamente minori rispetto alla poltrona attuale, a parte nel caso dell'occupazione del suolo agricolo e urbano che sono pressoché uguali.

Analizziamo nel dettaglio le categorie di impatto che sono migliorate maggiormente e quelle più rilevanti: il cambiamento climatico, l'esaurimento dei fossili, la tossicità umana e l'esaurimento dell'ozono. La categoria di impatto del cambiamento climatico è stata scelta per molteplici ragioni: innanzitutto è tra le categorie d'impatto avente un metodo di caratterizzazione ritenuto consolidato e affidabile dalla Commissione Europea (si veda l'allegato 1, tratto dall'ILCD Handbook); inoltre tale categoria di impatto è significativa per i processi presi in esame in quanto il cambiamento climatico è sensibile ai processi energetici. Infine, essa

è la categoria più largamente utilizzata e quindi più facilmente comunicabile anche ai non esperti di LCA. Le categorie di impatto dell'esaurimento fossili e dell'ozono sono state scelte perché insieme al cambiamento climatico, sono problematiche su cui viene attualmente posta particolare attenzione a livello europeo e internazionale. Inoltre, come si può osservare in Fig.2, sono le categorie che sono migliorate maggiormente ed è interessante analizzare quali sono le materie prime che contribuiscono in modo considerevole all'impatto. Inoltre, l'esaurimento fossili si lega alla categoria di impatto del cambiamento climatico perché ne è tra le maggiori cause, il loro utilizzo infatti, oltre a esaurirne la fonte, produce gas a effetto serra. La categoria di impatto della tossicità umana è stata scelta per identificare, oltre agli effetti causati sull'ambiente, anche gli effetti che si ripercuotono sull'uomo e diminuirli.

3.1 Cambiamento climatico

La categoria di impatto del cambiamento climatico riguarda l'aumento della temperatura nella bassa atmosfera. Il cambiamento climatico è causato dall'effetto serra, tale effetto è il risultato della presenza di alcuni gas, "gas serra" (quali, anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄), ossido di diazoto (N₂O) e clorofluorocarburi (CFC)), che permettono l'entrata della radiazione solare e bloccano l'uscita della radiazione infrarossa riemessa dalla terra.

Per quanto riguarda la categoria di impatto del cambiamento climatico, si può giungere a conclusioni diverse a seconda di come venga conteggiato il carbonio biogenico immagazzinato dai materiali di origine biologica (che per il caso studio sono rispettivamente il legno, il cotone e la soia utilizzata per la produzione della colla). I materiali di origine vegetale infatti, durante

la loro vita inglobano CO_2 , contribuendo dunque a diminuire l'effetto serra. Gli oggetti creati con materiali biologici possono quindi essere considerati degli stock di anidride carbonica. Tuttavia, la combustione o la decomposizione di tali materiali provoca il rilascio in ambiente di una quantità di CO_2 circa pari a quella immagazzinata durante la fase di accrescimento della pianta. Ne deriva che il bilancio complessivo è nullo. Occorre dunque distinguere tra prodotti che costituiscono uno stock permanente di CO_2 e prodotti che invece hanno un ciclo di vita più breve. Nel caso in cui la poltrona sia considerata uno stock permanente, la CO_2 immagazzinata non torna in atmosfera e di conseguenza si hanno dei benefici ambientali. Viceversa, se la poltrona è uno stock temporaneo, non è necessario attribuire né debiti né crediti di CO_2 in quanto il bilancio complessivo risulta nullo.

Il metodo ReCiPe Midpoint (H) non considera, per la categoria di impatto del cambiamento climatico, il carbonio biogenico; con il metodo ILCD 2011 Midpoint viene invece tenuto in considerazione l'immagazzinamento di anidride carbonica.

Di conseguenza, poiché l'LCA condotta in questa tesi ha confini di sistema from-cradle-to-gate, la scelta del metodo può portare a differenze sostanziali nei risultati.

3.1.1 Cambiamento climatico: ReCiPe Midpoint (H)

In questa categoria di impatto, il metodo di caratterizzazione non prende in considerazione l'anidride carbonica immagazzinata dall'albero e stoccata nella poltrona. L'orizzonte temporale preso in considerazione con il metodo ReCiPe Midpoint è di 100 anni (GWP 100). Il risultato ottenuto con questo metodo riflette dunque il

caso (probabilmente più verosimile) in cui la poltrona abbia un ciclo di vita minore di 100 anni e che il suo smaltimento provoca il ritorno in ambiente della CO₂ immagazzinata.

L'orizzonte temporale è il periodo di tempo specifico in cui vengono valutati gli impatti dei gas a effetto serra. Sebbene siano disponibili altri orizzonti temporali (IPCC pubblica anche GWP di 20 e 500 anni), 100 anni sono l'orizzonte temporale più ampiamente accettato adottato dall'UNFCCC nel Protocollo di Kyoto. In particolare, il manuale ILCD propone un periodo di valutazione di 100 anni per lo stoccaggio del carbonio nei prodotti, per essere coerente con l'uso del GWP a 100 anni.

Quindi l'uso di un orizzonte temporale di 100 anni è coerente con le pratiche scientifiche comuni e le politiche internazionali sui cambiamenti climatici.

Fig. 3 Grafico Contribution tree ReCiPe Midpoint (H) poltrona attuale e compensato di betulla cambiamento climatico

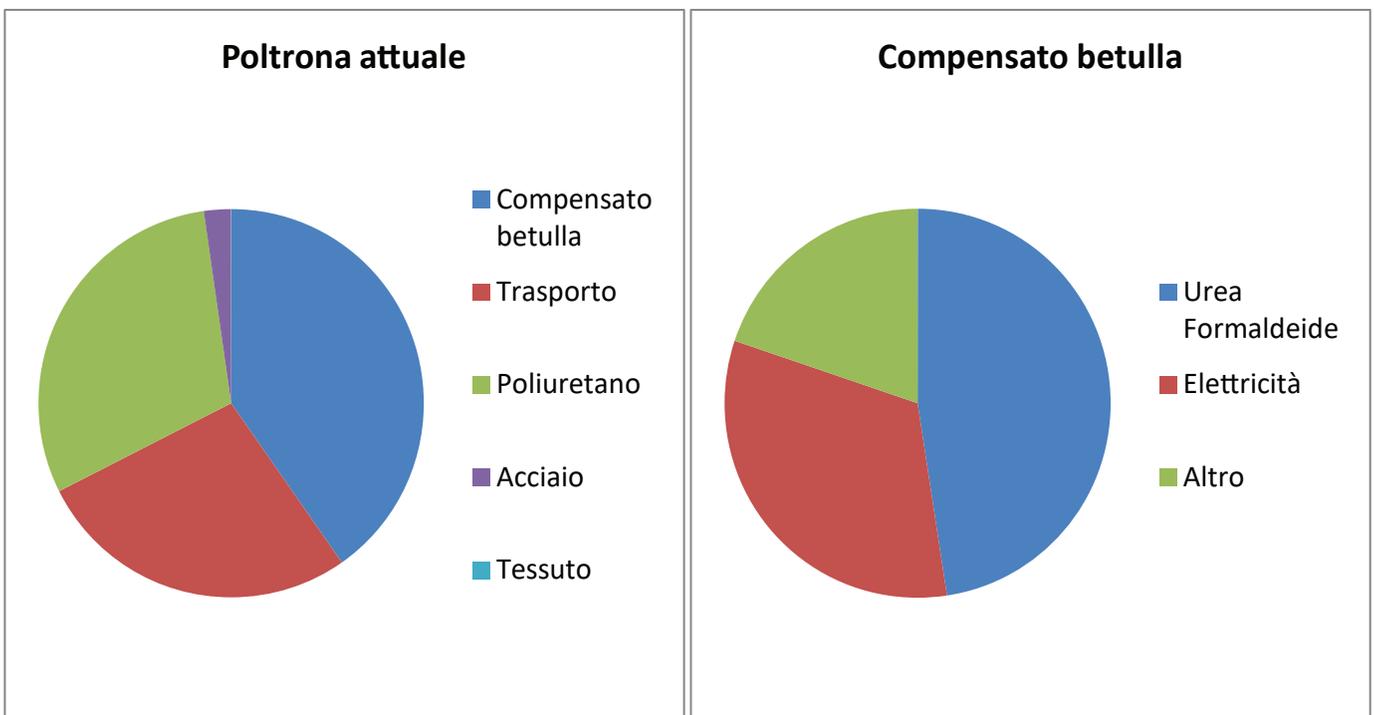


Tabella 10 Contribution tree ReCiPe Midpoint (H) poltrona attuale cambiamento climatico

Contributo				Processo	Quantità	Unità
100%				Poltrona attuale	32.06236	kg CO ₂ eq.
	67.42%			Compensato trasp.	21.61665	kg CO ₂ eq.
		40.22%		Compensato betulla	12.89561	kg CO ₂ eq.
			19.14%	Urea Formaldeide	6.13696	kg CO ₂ eq.
			13.13%	Elettricità	4.20920	kg CO ₂ eq.
			7.97%	Altro	2.54945	kg CO ₂ eq.
		27.20%		Trasporto su strada	8.72104	kg CO ₂ eq.
	30.17%			Poliuretano	9.67197	kg CO ₂ eq.
		16.35%		Polioli	5.24224	kg CO ₂ eq.
		11.33%		Diisocianato di toluene	3.63402	kg CO ₂ eq.
		2.49%		Altro	0.79571	kg CO ₂ eq.
	2.24%			Acciaio	0.71962	kg CO ₂ eq.
	0.017%			Tessuto	0.05412	kg CO ₂ eq.

Tabella 11 Contribution tree ReCiPe Midpoint (H) poltrona nuova cambiamento climatico

Contributo				Processo	Quantità	Unità
100%				Poltrona nuova	4.80756	kg CO ₂ eq.
	79.56%			Compensato trasp.	3.82491	kg CO ₂ eq.
		77.30%		Compensato pioppo	3.71619	kg CO ₂ eq.
			24.32%	Elettricità	1.16922	kg CO ₂ eq.
			52,98%	Altro	2.54697	kg CO ₂ eq.
		2.26%		Trasporto su strada	0.10872	kg CO ₂ eq.
	14.97%			Acciaio	0.71962	kg CO ₂ eq.
	3.36%			Cotone di pioppo	0.16134	kg CO ₂ eq.
		3.36%		Elettricità	0.16134	kg CO ₂ eq.
	01.13%			Tessuto	0.05412	kg CO ₂ eq.
	00.99%			Adesivo di soia	0.04758	kg CO ₂ eq.

Come si può vedere dalla tabella 10 e 11, la quantità di CO₂ eq. emessa per produrre le sedie diminuisce notevolmente: da 32.06 a 4.81 kg CO₂ eq.

Nella poltrona attuale (Tab. 10), si può osservare che le sostanze nocive che vengono sostituite nella poltrona nuova contribuiscono fortemente al risultato dell'impatto, la resina di urea formaldeide è responsabile di 6.14 kg CO₂ eq., il trasporto con 8.72 kgCO₂ eq e il poliuretano con 9.67 kg CO₂ eq. I grafici in Fig.3 mettono in evidenza i fattori che collaborano all'impatto ambientale.

Nella poltrona nuova, vengono eliminate le quantità dell'urea formaldeide e del poliuretano e si abbassano quelle del trasporto che da 8.72 kg CO₂ eq., passano a 0.11 kg CO₂ eq. L'impatto più significativo è dato dal processo di lavorazione del compensato.

3.1.2 Cambiamento climatico: ILCD 2011 Midpoint

La poltrona nuova viene analizzata, per la categoria di impatto del cambiamento climatico, utilizzato anche con il metodo ILCD 2011 Midpoint, che permette di quantificare l'immagazzinamento dell'anidride carbonica durante la crescita dell'albero e poi stoccata nella poltrona. Se la poltrona viene considerata uno stock permanente, allora la CO₂ inglobata non ritornerà nell'ambiente e in questo modo si può verificare un credito di anidride carbonica e quindi un beneficio ambientale.

Tabella 12 Contribution tree ILCD 2011 Midpoint poltrona nuova cambiamento climatico

Contributo				Processo	Quantità	Unità
-100%				Poltrona nuova	-25.15610	kg CO ₂ eq.
	03.02%			Acciaio	0.76080	kg CO ₂ eq.
	00.64%			Cotone di pioppo	0.16105	kg CO ₂ eq.
	00.20%			Tessuto	0.05036	kg CO ₂ eq.
	-00.01%			Adesivo di soia	-0.00362	kg CO ₂ eq.
		-103.85%		Compensato trasp.	-26.12469	kg CO ₂ eq.
		00.43%		Trasporto	0.10867	kg CO ₂ eq.
		-104.28		Compensato di pioppo	-26.23336	kg CO ₂ eq.

3.2 Esaurimento dei fossili

Questo indicatore della categoria di impatto è correlato all'uso di combustibili fossili. I combustibili fossili forniscono una preziosa fonte di energia non rinnovabile e materia prima per materiali come la plastica e altri derivanti dal petrolio. I combustibili fossili sono una risorsa limitata e il loro consumo continuo potrebbe impedirne l'uso da parte delle generazioni future.

Fig. 4 Grafici Contribution tree poltrona attuale e poliuretano esaurimento fossili

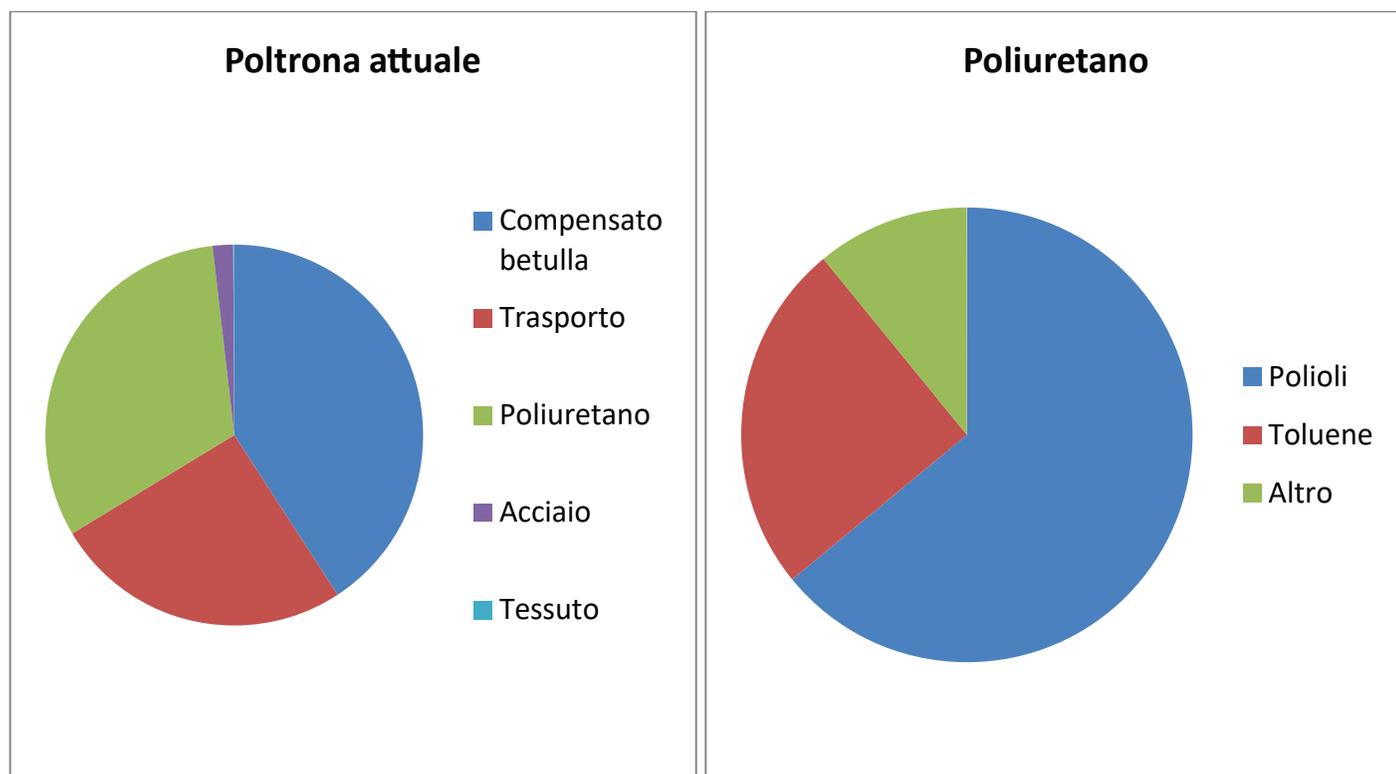


Tabella 13 Contribution tree poltrona attuale esaurimento fossili

Contributo				Processo	Quantità	Unità
100%				Poltrona attuale	11.86617	kg oil eq.
	66.36%			Compensato trasp.	7.87395	kg oil eq.
		40.81		Compensato betulla	4.84294	kg oil eq.
			24.91%	Urea Formaldeide	2.95634	kg oil eq.
			09.63%	Elettricità	1.14322	kg oil eq.
			06.27%	Altro	0.74338	kg oil eq.
		25.54%		Trasporto su strada	3.03101	kg oil eq.
	31.81%			Poliuretano	3.77478	kg oil eq.
		20.82%		Polioli	2.47043	kg oil eq.
		09.59%		Diisocianato di toluene	1.13770	kg oil eq.
		01.40%		Altro	0.16665	kg oil eq.
	01.74%			Acciaio	0.20618	kg oil eq.
	00.09%			Tessuto	0.01126	kg oil eq.

Tabella 14 Contribution tree poltrona nuova esaurimento fossili

Contributo				Processo	Quantità	Unità
100%				Poltrona nuova	1.37550	kg oil eq.
	80.15%			Compensato trasp.	1.10242	kg oil eq.
		77.40%		Compensato pioppo	1.06463	kg oil eq.
			23.69%	Lavorazione legno	0.32583	kg oil eq.
			23.09%	Elettricità	0.31756	kg oil eq.
				Altro	0.38877	kg oil eq.
		02.75%		Trasporto su strada	0.03778	kg oil eq.
	14.99%			Acciaio	0.20618	kg oil eq.
	03.19%			Cotone di pioppo	0.04383	kg oil eq.
	00.86%			Adesivo di soia	0.01181	kg oil eq.
	00.82%			Tessuto	0.01126	kg oil eq.

Nelle tabelle 13 e 14, la categoria di impatto analizzata è l'esaurimento dei fossili per entrambe le poltrone. L'impatto scende da una quantità prodotta di 11.87 kg oil eq. per la poltrona attuale, a 1.375 kg oil eq. per la poltrona nuova. Tra i risultati della poltrona attuale (Tab. 13) ritroviamo la resina di formaldeide, responsabile degli effetti per il 24.91% all'interno del compensato, il trasporto su strada con il 25.54% e il poliuretano con il 31.81%. I minori responsabili sono l'acciaio e il tessuto con una percentuale poco rilevante. Per la poltrona nuova invece (Tab. 14), le percentuali di rilievo si ritrovano nella lavorazione del compensato, le nuove materie prime non sono impattanti.

3.3 Tossicità umana

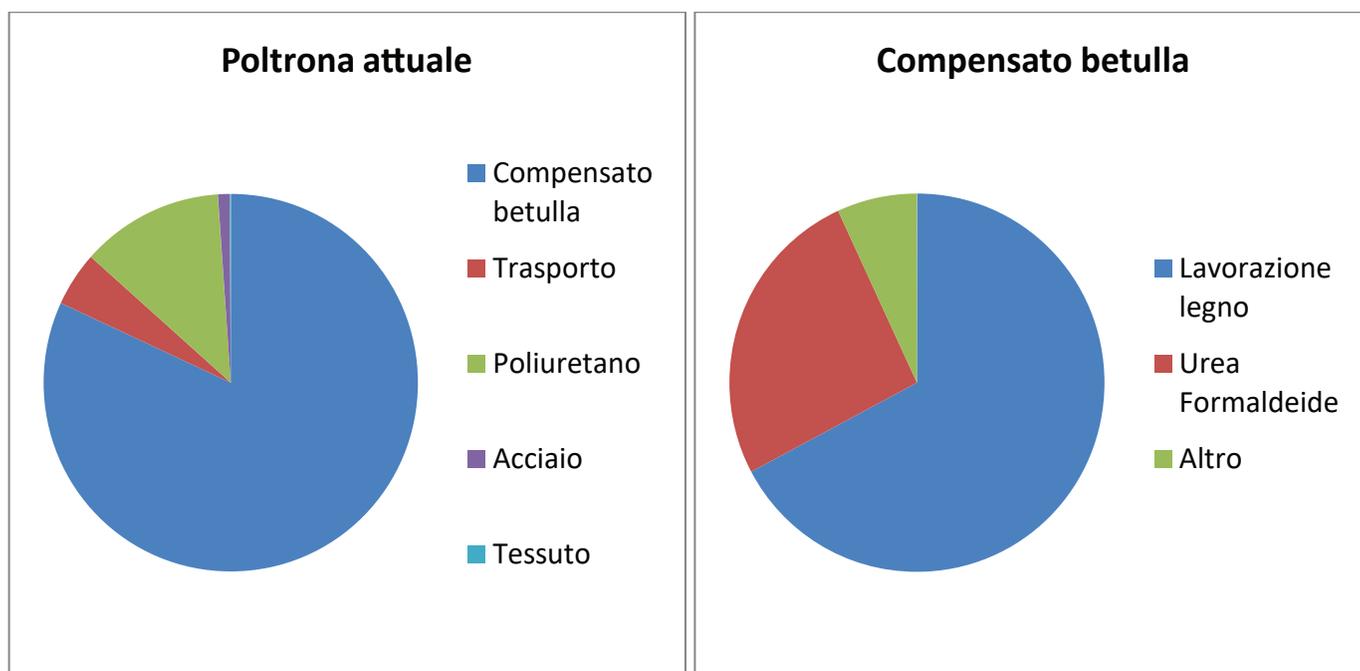
La categoria di impatto della tossicità umana, nel contesto di una LCA, ricopre una serie di diversi effetti: tossicità acuta, irritazione, effetti corrosivi, effetti allergenici, danni irreversibili, danni agli organi, genotossicità, effetti cancerogeni, tossicità al sistema riproduttivo, effetti teratogeni e neurotossicità in un singolo parametro (fattori di tossicità equivalente, EF).

Le sostanze che conducono alla tossicità umana sono numerose, quali: nmVOC da trasporto su strada, metalli pesanti, ossidi di azoto (NOx), diossido di zolfo

(SO₂), composti organici volatili (VOC), composti organici clorurati, inquinanti organici persistenti. prodotti, per essere coerente con l'uso del GWP a 100 anni.

Quindi l'uso di un orizzonte temporale di 100 anni è coerente con le pratiche scientifiche comuni e le politiche internazionali sui cambiamenti climatici.

Fig. 5 Grafici Contribution tree poltrona attuale e compensato di betulla tossicità umana



In Fig.5 si può osservare nel grafico che il contributo più rilevante è dato dalla lavorazione del legno, la percentuale così alta è dovuta in particolar modo dal calore prodotto dalla combustione del legno in forni.

Tabella 15 Contribution tree poltrona attuale tossicità umana

Contributo				Processo	Quantità	Unità
100%				Poltrona attuale	2.95920	kg 1,4-DB eq.
	86.59%			Compensato trasp.	2.56223	kg 1,4-DB eq.
		81.93%		Compensato di betulla	2.42443	kg 1,4-DB eq.
			55.06%	Lavorazione legno	1.62931	kg 1,4-DB eq.
			21.22%	Urea Formaldeide	0.62793	kg 1,4-DB eq.
			05.65%	Altro	0.16719	kg 1,4-DB eq.
		04.66%		Trasporto su strada	0.13780	kg 1,4-DB eq.
	12.30%			Poliuretano	0.36408	kg 1,4-DB eq.
		09.35%		Polioli	0.27664	kg 1,4-DB eq.
		01.27%		Diisocianato di toluene	0.03751	kg 1,4-DB eq.
		01.68%		Altro	0.04993	kg 1,4-DB eq.
	01.02%			Acciaio	0.03018	kg 1,4-DB eq.
	00.09%			Tessuto	0.00272	kg 1,4-DB eq.

Tabella 16 Contribution tree poltrona nuova tossicità umana

Contributo				Processo	Quantità	Unità
100%				Poltrona nuova	1.85052	kg 1,4-DB eq.
	94.15%			Compensato trasp.	1.74230	kg 1,4-DB eq.
		94.06%		Compensato pioppo	1.74058	kg 1,4-DB eq.
			91.80%	Lavorazione legno	1.70931	kg 1,4-DB eq.
			01.17%	Elettricità	0.02166	kg 1,4-DB eq.
			01.09%	Altro	0.00983	kg 1,4-DB eq.
		00.09%		Trasporto su strada	0.00172	kg 1,4-DB eq.
	03.71%			Adesivo di soia	0.06872	kg 1,4-DB eq.
	01.63%			Acciaio	0.03018	kg 1,4-DB eq.
	00.36%			Cotone di pioppo	0.00661	kg 1,4-DB eq.
	00.15%			Tessuto	0.00272	kg 1,4-DB eq.

Per quanto riguarda la categoria di impatto della tossicità umana, nella tabella 15 e 16 si può osservare il confronto tra i risultati della poltrona attuale (Tab. 15) e la poltrona nuova (Tab. 16). Il risultato scende da un valore iniziale di 2.95920 kg 1,4-DB eq. della poltrona attuale a 1.85052 kg 1,4-DB eq. Responsabili di questo risultato sono, oltre ai processi di lavorazione del legno, l'uso di sostanze quali l'urea formaleide, che contribuisce con una percentuale del 21.22%, e del poliuretano, con il 12.30%. Eliminando queste sostanze, si può notare come il dato del risultato della poltrona nuova (Tab. 16), si sia dimezzato. Nella tabella della poltrona nuova, il contributo maggiore di questo impatto è la lavorazione del legno, gli altri elementi non collaborano in modo sostanziale agli effetti.

3.4 Esaurimento ozono

La distruzione dello strato dell'ozono, che ripara dalle radiazioni ultraviolette dannose per la vita, è causata dalla rottura di alcune sostanze contenenti cloro, bromo, metano (CH₄), protossido di azoto (N₂O) e vapore acqueo, che si decompongono quando raggiungono l'atmosfera e per catalisi distruggono le molecole di ozono.

Tuttavia, c'è un internazionale consenso sulla questio-

ne e c'è un accordo internazionale basato sul protocollo di Montreal relativo all'eliminazione graduale delle sostanze che ne causano l'esaurimento.

Fig. 6 Grafici Contribution tree poltrona attuale e compensato di betulla esaurimento ozono

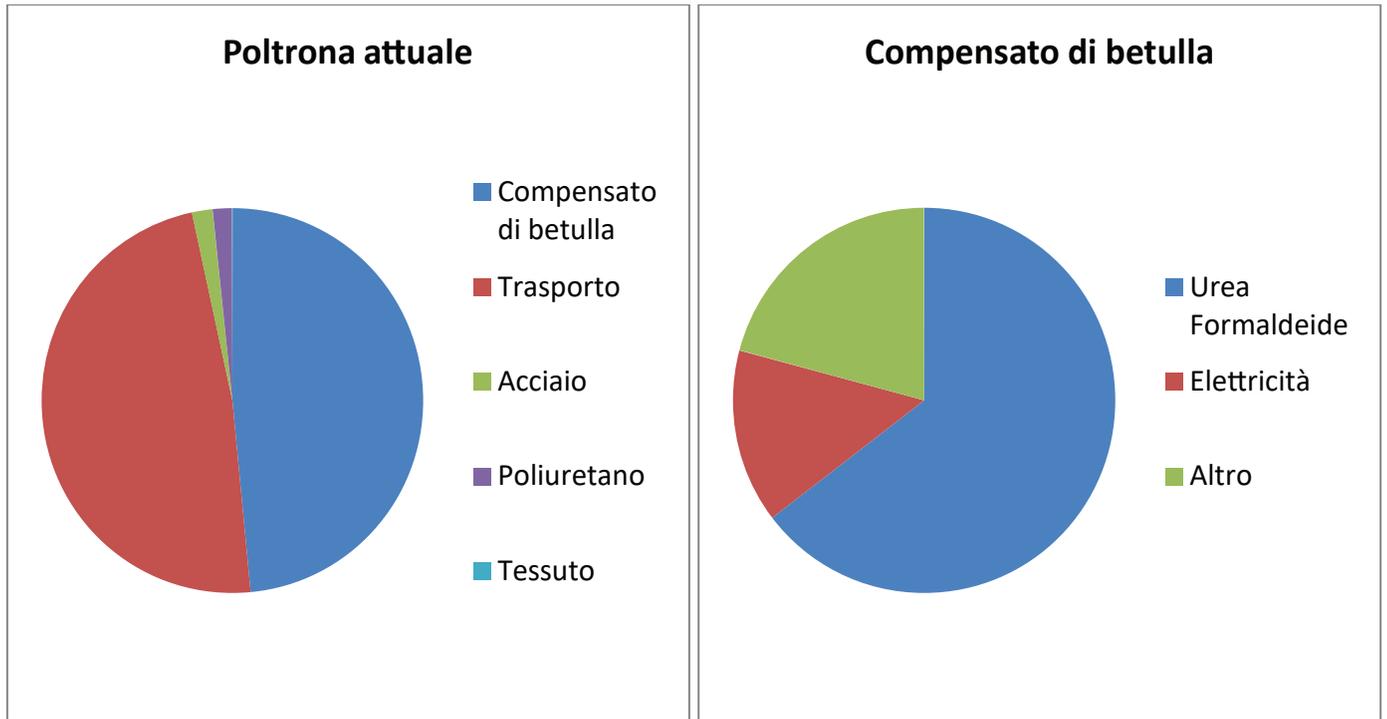


Tabella 17 Contribution tree poltrona attuale esaurimento ozono

Contributo				Processo	Quantità	Unità
100%				Poltrona attuale	2.84182E-6	kg CFC-11 eq.
	96.60%			Compensato trasp.	2.74508E-6	kg CFC-11 eq.
		48.47%		Compensato di betulla	1.37745E-6	kg CFC-11 eq.
			31.30%	Urea Formaldeide	8.89513E-7	kg CFC-11 eq.
			07.08%	Elettricità	2.01301E-7	kg CFC-11 eq.
			10.09%	Altro	2.91573E-7	kg CFC-11 eq.
		48.13%		Trasporto su strada	1.36763E-6	kg CFC-11 eq.
	01.74%			Acciaio	4.95346E-8	kg CFC-11 eq.
	01.63%			Poliuretano	4.61918E-8	kg CFC-11 eq.
	00.04%			Tessuto	1.01934E-9	kg CFC-11 eq.

Tabella 18 Contribution tree poltrona nuova esaurimento ozono

Contributo				Processo	Quantità	Unità
100%				Poltrona nuova	4.26017E-7	kg CFC-11 eq.
	85.73%			Compensato trasp.	3.65222E-7	kg CFC-11 eq.
		81.73%		Compensato pioppo	3.48173E-7	kg CFC-11 eq.
			50.11%	Lavorazione legno	1.26455E-7	kg CFC-11 eq.
			13.13%	Elettricità	5.59171E-8	kg CFC-11 eq.
			18.49%	Altro	7.83562E-8	kg CFC-11 eq.
		04.00%		Trasporto su strada	1.70490E-8	kg CFC-11 eq.
	11.63%			Acciaio	4.95346E-8	kg CFC-11 eq.
	01.81%			Cotone di pioppo	7.71218E-9	kg CFC-11 eq.
	00.59%			Adesivo di soia	2.52907E-9	kg CFC-11 eq.
	00.24%			Tessuto	1.01934E-9	kg CFC-11 eq.

Per questa categoria d'impatto la differenza tra le due poltrone è significativa, come si può notare dal grafico generico riportato in tabella 9 e dalle tabelle 17 e 18. Il risultato dell'impatto scende da un valore di 2.84182E-6 kg CFC-11 eq. della poltrona attuale a 4.26017E-7 kg CFC-11 eq. della poltrona nuova.

Le materie prime e le attività responsabili dell'impatto nella poltrona attuale sono principalmente l'urea formaldeide e il trasporto come mostrano i grafici in Fig.6. Infatti, nel compensato di betulla, l'urea formaldeide contribuisce agli effetti con il 31.30% e il trasporto con il 48.13%. In questo caso gli altri elementi come l'acciaio, il poliuretano e il tessuto non hanno una percentuale rilevante che contribuisce all'impatto. Nella poltrona nuova (Tab.18), si può vedere come il trasporto sia diminuito notevolmente con una percentuale del 4%.

Gli elementi che contribuiscono maggiormente riguardano la lavorazione del compensato e in parte minore l'acciaio. Gli altri elementi come il cotone di pioppo, l'adesivo a base di soia e il tessuto, non concorrono in maniera rilevante.

4. Interpretazione del ciclo di vita

Dopo aver valutato i risultati degli impatti ambientali principali, si evince che, per quasi tutte le categorie di impatto, i maggiori responsabili degli effetti negativi sull'ambiente e sull'uomo sono la resina di urea formaldeide e il poliuretano espanso, che sono sostanze derivati del petrolio e rilasciano nell'aria sostanze dannose. Inoltre, anche il trasporto, in particolar modo nelle categorie di impatto del cambiamento climatico e l'esaurimento fossili, è responsabile degli impatti con una percentuale che varia dal 25.54% al 27.20%.

I risultati dell'LCA confermano che per rendere il prodotto maggiormente sostenibile per la salute umana e dell'ambiente è necessario sostituire le materie prime più impattanti. In questo studio è stato dimostrato che una possibile soluzione per renderla tale è sostituire la resina di urea formaldeide con adesivi a base vegetale di soia e il poliuretano espanso con il cotone di pioppo.

Una ulteriore decisione è stata presa per diminuire le emissioni dovute al trasporto: il compensato di betulla della azienda russa può essere sostituito con il compensato di pioppo, un legno molto coltivato in Italia e molto presente nella regione Piemonte.

I limiti dell'LCA

Lo studio condotto per questa tesi dimostra che il nuovo design proposto per la poltrona porta a sintomatici vantaggi ambientali rispetto alla poltrona con il design attuale. Tuttavia è necessario tenere presente che la valutazione ambientale condotta è affetta da alcune incertezze, quali:

- Incertezza sul modello: il modello e i processi tengono conto di alcune semplificazioni, ad esempio il processo di produzione del compensato di betulla e di

pioppo sono stati considerati uguali, nonostante, come spiegato nei capitoli precedenti, i due tipi di albero differiscano per la loro densità e diverse caratteristiche meccaniche. Tuttavia tale semplificazione è giustificata dal fatto che entrambi gli alberi hanno indicativamente la stessa crescita ed adottano entrambi turni di coltivazione di 10-11 anni e i processi per la produzione di compensato sono i medesimi. Nella produzione di cotone è stata considerata solo l'elettricità impiegata dalla sgranatrice per ottenere le fibre di cotone, mentre la raccolta è stata associata all'abbattimento degli alberi.

- Incertezza sui dati utilizzati: l'incertezza dei dati in questo studio riguarda primariamente i dati secondari. I dati primari infatti fanno riferimento al calcolo dei volumi ottenuti dalle misure effettive del prodotto, mentre i dati secondari sono presi da letteratura scientifica e non sono quindi riferiti nello specifico al caso di studio. Per affinare la precisione dei risultati sarebbe quindi necessario raccogliere una quantità più ragguardevole di dati primari.

- Incertezza dei metodi di caratterizzazione delle categorie d'impatto: in tali metodi (come, ad esempio, ILCD 2011, ReCiPe, CML 2001) sono quantificati i fattori di caratterizzazione relativi alle diverse categorie di impatto.

L'affidabilità scientifica di tali fattori, sviluppati da diversi metodi per le varie categorie di impatto, è stata classificata dalla Commissione Europea nelle linee guida dell'ILCD Handbook. Le due categorie di impatto, cambiamento climatico e esaurimento dell'ozono, vengono classificate al livello I che significa che hanno un metodo di caratterizzazione valido e affidabile. Mentre le altre due categorie prese in analisi, tossicità

umana e esaurimento fossili sono classificate con il livello II/III che significa che il metodo di caratterizzazione è consigliato ma ha comunque bisogno di miglioramenti.

Allegato 1

Table 1 Recommended methods and their classification at midpoint

Impact category	Recommendation at midpoint		
	Recommended default LCIA method	Indicator	Classification
Climate change	Baseline model of 100 years of the IPCC	Radiative forcing as Global Warming Potential (GWP100)	I
Ozone depletion	Steady-state ODPs 1999 as in WMO assessment	Ozone Depletion Potential (ODP)	I
Human toxicity, cancer effects	USEtox model (Rosenbaum et al, 2008)	Comparative Toxic Unit for humans (CTU _h)	II/III
Human toxicity, non-cancer effects	USEtox model (Rosenbaum et al, 2008)	Comparative Toxic Unit for humans (CTU _h)	II/III
Particulate matter/Respiratory inorganics	RiskPoll model (Rabl and Spadaro, 2004) and Greco et al 2007	Intake fraction for fine particles (kg PM2.5-eq/kg)	I
Ionising radiation, human health	Human health effect model as developed by Dreicer et al. 1995 (Frischknecht et al, 2000)	Human exposure efficiency relative to U ²³⁵	II
Ionising radiation, ecosystems	No methods recommended		Interim
Photochemical ozone formation	LOTOS-EUROS (Van Zelm et al, 2008) as applied in ReCiPe	Tropospheric ozone concentration increase	II
Acidification	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)	Accumulated Exceedance (AE)	II
Eutrophication, terrestrial	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)	Accumulated Exceedance (AE)	II
Eutrophication, aquatic	EUTREND model (Struijs et al, 2009b) as implemented in ReCiPe	Fraction of nutrients reaching freshwater end compartment (P) or marine end compartment (N)	II
Ecotoxicity (freshwater)	USEtox model, (Rosenbaum et al, 2008)	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTU _e)	II/III
Ecotoxicity (terrestrial and marine)	No methods recommended		
Land use	Model based on Soil Organic Matter (SOM) (Milà i Canals et al, 2007b)	Soil Organic Matter	III
Resource depletion, water	Model for water consumption as in Swiss Ecoscarcity (Frischknecht et al, 2008)	Water use related to local scarcity of water	III
Resource depletion, mineral, fossil and renewable ⁶	CML 2002 (Guinée et al., 2002)	Scarcity	II

⁶ Depletion of renewable resources is included in the analysis but none of the analysed methods is mature for recommendation

Conclusioni

L'obiettivo di questa tesi era identificare una possibile soluzione innovativa in grado di minimizzare gli impatti sull'ambiente e sull'uomo di un prodotto già esistente: una poltrona di design. A tal fine, è stata svolta una Valutazione del Ciclo di Vita (Life Cycle Assessment, LCA) della poltrona con l'attuale design per identificare i materiali e i processi che contribuiscono maggiormente agli impatti ambientali.

Dai risultati della Valutazione del Ciclo di Vita, si evince che la poltrona con il design attuale è realizzata con materiali e processi che provocano effetti dannosi per l'ambiente e per la salute umana. Tali materiali provengono da fonti non rinnovabili, come ad esempio il poliuretano espanso che è un derivato del petrolio; inoltre, poiché il compensato utilizzato per realizzare la poltrona non proviene da coltivazioni del territorio è necessario un trasporto su gomma di quasi 3000 km. Nei processi di produzione vengono impiegati degli elementi che rilasciano nell'ambiente sostanze tossiche, come si è visto per la resina di urea formaldeide che è tra i maggiori responsabili degli impatti ambientali.

Nel corso della tesi sono stati analizzati vari materiali ritenuti maggiormente sostenibili ed è stata ipotizzata una nuova proposta progettuale per migliorare le performance ambientali della poltrona senza variarne tuttavia il design. Sono dunque state sostituite le materie prime che contribuiscono maggiormente all'impatto con altri materiali più sostenibili. Il compensato di betulla è stato sostituito dal legno di pioppo, che è maggiormente legato al territorio e alla cultura piemontese. La colla di origine sintetica e tossica per l'ambiente e per l'uomo è stata sostituita con una colla vegetale a base di soia. Per sostituire il poliuretano espanso, usato nell'imbottitura della poltrona, si è scelto di utilizzare il cotone di pioppo, un elemento

poco conosciuto nel mercato ma che, come si è visto nei casi studio, ha delle grandi potenzialità grazie alle sue caratteristiche fisiche.

Confrontando i risultati dell'LCA sviluppata per la poltrona attuale e quella nuova, si è osservato che gli impatti ambientali della nuova proposta diminuiscono notevolmente, in particolar modo per le categorie di impatto del cambiamento climatico, l'esaurimento dell'ozono e l'esaurimento fossile.

Un ulteriore confronto è stato fatto sulla categoria di impatto del cambiamento climatico sulla poltrona nuova, nel quale sono stati utilizzati due metodi di caratterizzazione differenti: ReCiPe Midpoint (H) che non considera il carbonio immagazzinato dalla pianta nel corso del ciclo di vita e ILCD 2011 Midpoint che viceversa considera il carbonio immagazzinato. Il risultato mostra che con il secondo metodo si hanno dei benefici ambientali notevoli, perché se si considera la poltrona come stock permanente, allora l'anidride carbonica immagazzinata non torna in atmosfera e di conseguenza si hanno dei benefici ambientali. Viceversa, nel primo metodo la poltrona viene considerata come uno stock temporaneo, una volta che il prodotto viene smaltito, la CO₂ immagazzinata per quel periodo di tempo viene rilasciata nell'ambiente e quindi non è necessario attribuire né debiti né crediti di CO₂ in quanto il bilancio complessivo risulta nullo.

In conclusione, in questo studio oggetto di tesi, si è cercato di dare delle soluzioni innovative e linee guida per la poltrona di PAT design, che potrà essere realizzata totalmente in Italia, con materie prime locali e non impattanti. Inoltre questo studio può essere applicato ad altri casi nel settore del mobile e di design, il quale è ancora oggi responsabile di importanti impatti ambientali.

Bibliografia

Baldo G.L., Marino M., Rossi S., *Il recupero energetico nella filiera di produzione del compensato - Applicazioni della metodologia LCA*, in Life Cycle Engineering - Torino, disponibile a: <http://www.lcengineering.eu/wp-content/uploads/document/Ricicla-201.pdf>

Berardy A., Costello C., Seager T., *Life Cycle Assessment of Soy Protein Isolate*, in ResearchGate, Gennaio 2015

BIO Technology Industry Organization, *Principles for the Accounting of Biogenic Carbon in Product Carbon Footprint (PCF) Standards*, disponibile a: https://www.bio.org/sites/default/files/files/Position_Carbon_Footprint_PCF.pdf

Chen H.L., Cluver B., *Assessment of Poplar Seed Hair Fibers as a Potential Bulk Textile Thermal Insulation Material*, in Clothing & Textiles Research Journal, 1-8, 2010.

Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo, *Il futuro di noi tutti*, Bompiani, pp. 32-78 e pp. 321-381, Milano, 1988

Curtis W., *L'architettura moderna dal 1900*, Phaidon, 2006

Dalgaard R., Schmidt J., Halberg N., Christensen P., Thrane M., Pengue W.A., *LCA of Soybean Meal*, Int J LCA 13 (3) 240–254, 2008

De Fusco R., *Storia del Design*, Laterza, 2009

Ferrante T., *Legno e Innovazione*, Allinea editrice, 2008

Ghahri S., Mohebbi B., *Soybean as Adhesive for Wood Composites: Applications and Properties*, in Intech Open science, 2016

González-García S., Gasol C.M., García Lozano R., Moreira T., Gabarrell X., Rieradevall i Pons J., Feijoo G., *Assessing the global warming potential of wooden products from the furniture sector to improve their ecodesign*, in Science of the Total Environment, 410-411 16–25, Settembre 2011

Gui C., Zhu J., Liu X., Zhang Z., *Preparation of water resistant adhesives from soy flour with less water-soluble components for wood bonding*, in Pigment and Resin Technology, 46-4, Luglio 2017

Harris Z.M., Milner S., Taylor G., *Biogenic carbon capture and sequestration*, in Greenhouse Gases Balances of Bioenergy Systems, Gennaio 2018

Huang K., Du s., Luo T., Gui T., Xiu Y., Zhu H., *Biosorption characteristics of Pb(II) from aqueous solution onto poplar cotton*, in T.T. Chen Honorary Symposium on Hydrometallurgy, Electrometallurgy and Materials Characterization, p.663, 2012

ILCD Handbook, *Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context*, First Edition, 2011

ISO 14040-44

Iritani D.R., Silva D.A.L., Saavedra Y.M.B., Graef P.F.F., Ometto A.R., *Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry*, in Journal of Cleaner Production, 96: 308-318, Maggio 2014

Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura, *Ecocertificazione della pioppicoltura*, in Regione Piemonte, 2002

Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura, *Pioppicoltura, produzioni di qualità nel rispetto dell'ambiente*, in Regione Piemonte, 2006

Jang Y., Huang J., Li K., *A new formaldehyde-free wood adhesive from renewable materials*, in International Journal of Adhesion and Adhesives, 31 (7): 754-759

Joost G., Vogtländer M., Van der Lugt P., *Carbon sequestration in LCA, a proposal for a new approach based on the global carbon cycle; cases on wood and on bamboo*, Int J LCA 19: 13-23, Agosto 2013

Klim S., *Composite wood materials in twentieth century furniture*, disponibile a: http://www.wag-aic.org/1990/WAG_90_klim.pdf

Lei H., Du G., Whu Z., Xi X., Dong Z., *Cross-linked soy-based wood adhesives for plywood*, in International Journal of Adhesion and Adhesives, 50, Aprile 2014

Li H., Li C., Gao Q., Zhang S., Li J., *Properties of soybean-flour-based adhesives enhanced by attapulgite and glycerol polyglycidyl ether*, in Industrial Crops and Products 59: 35-40, Agosto 2014

Linkosalmi L., Husgafvel R., Fomkin A., Junnikkala H., Witikkala T., Kairi M., Dahl O., *Main factors influencing greenhouse gas emissions of wood-based furniture industry in Finland*, in Journal of Cleaner Production, 113: 596-605, Dicembre 2015

Matthews R., Sokka L., Soimakallio S., Mortimer N., Rix J., Schelhaas M., Jenkins T., Hogan G., Mackie E., Morris A., Randle T., *Review of literature on biogenic carbon*

and life cycle assessment of forest bioenergy. Final Task 1 report, EU DG ENER project ENER/C1/427, 'Carbon impacts of biomass consumed in the EU, 2014

Mirabella N., Castellani V., Sala S., *LCA for assessing environmental benefit of eco-design strategies and forest wood short supply chain: a furniture case study*, Int J LCA 19:1536–1550, Maggio 2014

Mitterpacher L., *Elementi d'agricoltura*, Volume 1, Milano, 1794

Pizzi A., *Wood Adhesives: Chemistry and Technology Vol.2*, CRC Press, 1989

Ponder C., Overcash M., *Cradle-to-gate life cycle inventory of vancomycin hydrochloride*, in Journal of Cleaner Production, 408: 1331–1337, Novembre 2010

Prévost C., Audouin A., Bourdon I., Brongniart A., *Dizionario classico di storia naturale*, Vol.13, G. Tasso Editore, Venezia, 1840

Romani A., Romani M., Neri P., Olivieri G., Tacconi D., Vignolini P., *Feasibility and life cycle assessment of soybean oil and Soy-isoflavon production*, in 16th IMEKO TC4 Symposium, Settembre 2008

Saechtling H., *Manuale delle materie plastiche*, Tecniche Nuove, 2006

Scheda compensato di pioppo definitiva, *Il compensato di pioppo*, 13, Aprile 2012, disponibile a: http://www.woodlab.polito.it/wp-content/uploads/2012/05/scheda_compensato_pioppo_definitiva_13_aprile_2012.pdf

Stranddorf H.K., Hoffmann L., Schmidt A., *Impact categories, normalisation and weighting in LCA*, in Danish Ministry of the Environment, N.78 pp. 39-47 e pp. 65-68 , 2005

Sustainable Agriculture Research & Education, *Poplar Cotton Fiber Production: A market Opportunity in Oregon*, 2004, disponibile a : https://projects.sare.org/sare_project/fw02-204/

Testa F., Iraldo F., *L'impronta ambientale di prodotto per la competitività delle PMI. LCA Life Cycle Assessment come supporto per l'ecodesign, l'innovazione e il marketing dei prodotti del Made in Ita*, Franco Angeli, 2014

Wood A.D., *Plywoods, their development, manufacture and application*, Edinburgh, W. & A.K. Johnston, 1950,

Zhu D., Damodaran S., *Chemical Phosphorylation Improves the Moisture Resistance of Soy Flour-Based Wood Adhesive*, in Journal of applied polymer science, Gennaio 2014