UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica

ANALISI DI SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DI PRODOTTI IN MDF E RESINA UF

ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY ANALYSIS OF MDF AND UF RESIN PRODUCTS

Relatore:

Prof. Michele Germani

Correlatrice:

Dott.ssa Marta Rossi

Tesi di Laurea di:

Lorenzo Santori

Anno Accademico 2021/2022

Indice

Indice Figure 3

Indice Tabelle 4

Introduzione 5

1 Sostenibilità ambientale 7

1.1 Economia circolare: principi e obiettivi 9

1.2 Ecodesign 11

1.3 La teoria dell'analisi LCA 14

1.3.1 Strumenti e metodi per il *Life Cycle Assessment* 15

1.3.2 Metodologia e criteri LCA 15

1.3.3 Software LCA 18

2 Caso studio: analisi LCA di prodotti a base di MDF 23

2.1 Obiettivo e campi di applicazione 23

2.1.1 Unità funzionale 24

2.1.2 Descrizione del sistema analizzato 24

2.1.3 Data quality 26

2.2 Analisi di inventario 27

2.3 Valutazione degli impatti e interpretazione dei risultati 31

2.3.1 Valutazione impatti degli scenari di fine vita 32

2.3.2 Valutazione impatti dei contributi relativi alla fase di wood preparation 36

3 Caso studio: analisi LCA di prodotti a base di resina UF 38

3.1 Obiettivo e campi di applicazione 38

3.1.1 Unità funzionale 39

3.1.2 Descrizione del sistema analizzato 39

3.1.3 Data quality 42
3.2 Analisi di inventario 43
3.3 Valutazione degli impatti e interpretazione dei risultati 48
3.3.1 Valutazione impatti degli scenari di fine vita 48
3.3.2 Valutazione impatti-analisi profilo elettrico 49
4 Comparazione degli impatti dei due materiali 51
4.1 Valutazione e confronto degli impatti dei due materiali 51
4.2 Valutazione e confronto degli impatti dei due materiali in termini di "salute umana" 52
4.3 Valutazione e confronto degli impatti dei due materiali in termini di "qualità dell'ecosistema" 54
4.4 Valutazione e confronto degli impatti dei due materiali in termini di "risorse" 57
Conclusioni 58
Ringraziamenti 60
Bibliografia 61

Indice Figure

Figura 1 Le tre dimensioni dello sviluppo sostenibile....8
Figura 2 Esempi di sistemi ad economia lineare (sopra) e ad economia circolare (sotto)....10
Figura 3 Un modello semplificato di economia circolare per i materiali e l'energia....11
Figura 4 Fasi e considerazioni per l'Ecodesign....13
Figura 5 Fasi interessate dall'analisi LCA....14
Figura 6 Fasi di uno studio Life Cycle Assessment (LCA)....16
Figura 7 Pannelli MDF....23
Figura 8 Diagramma di flusso della produzione di MDF....26
Figura 9 Bilancio dell'energia termica per 1m3 di MDF processato....28
Figura 10 Valutazione della categoria d'impatto "climate change", relativa all'unità funzionale (1m3 di MDF) - confronto tra fasi....32
Figura 11 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1m3 di MDF) – confronto tra fase di produzione dell'MDF e scenario di fine vita (discarica)....34
Figura 12 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1m3 di MDF) – confronto tra fase di produzione dell'MDF e scenario di fine vita (incenerimento)....35
Figura 13 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1m3 di MDF) - analisi contributi relativi alla fase di wood preparation, che è quella più impattante – "climate change"....37
Figura 14 Processo di stampaggio a compressione che subisce la resina UF....38
Figura 15 Un diagramma di flusso di processo generico per la produzione di urea–formaldeide (UF), melamina–urea–formaldeide (MUF), fenolo–formaldeide (PF) e fenolo–resorcina–formaldeide....40
Figura 16 Un diagramma di flusso di processo generico per la produzione di urea–formaldeide (UF), melamina–urea–formaldeide (MUF), fenolo–formaldeide (PF) e fenolo–resorcina–formaldeide - confini del sistema....41
Figura 17 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1kg of liquid resin)- scenario di fine vita-discarica....49
Figura 18 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1kg of liquid resin)- profilo elettrico....50
Figura 19 Valutazione e confronto degli impatti relativi alle unità funzionali e rapportati alle masse effettive dei copriwater - climate change....53
Figura 20 Valutazione e confronto degli impatti relativi alle unità funzionali e rapportati alle masse effettive dei copriwater – Particulate matter....53
Figura 21 Valutazione e confronto degli impatti relativi alle unità funzionali e rapportati alle masse effettive dei copriwater – Human toxicity....54
Figura 22 Valutazione e confronto degli impatti relativi alle unità funzionali e rapportati alle masse effettive dei copriwater - Acidification....56
Figura 23 Valutazione e confronto degli impatti relativi alle unità funzionali e rapportati alle masse effettive dei copriwater – Eutrophication, marine....56
Figura 24 Valutazione e confronto degli impatti relativi alle unità funzionali e rapportati alle masse effettive dei copriwater – Ecotoxicity, freshwater....56
Figura 25 Valutazione e confronto degli impatti relativi alle unità funzionali e rapportati alle masse effettive dei copriwater – Resource use, fossils; Water use; Land use....57

Indice Tabelle

Tabella 1 Inventario della fase di Wood Preparation per 1 m³ di MDF 29
Tabella 2 Inventario della fase di Board Shaping per 1 m³ di MDF.....30
Tabella 3 Invenentario della fase di Board Finishing per 1 m³ di MDF 30
Tabella 4 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1m3 di MDF) - confronto tra fasi 31
Tabella 5 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1m3 di MDF) – confronto tra fase di produzione dell'MDF e scenario di fine vita (discarica).....34
Tabella 6 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1m3 di MDF) – confronto tra fase di produzione dell'MDF e scenario di fine vita (incenerimento) 35
Tabella 7 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1m3 di MDF) - analisi contributi relativi alla fase di wood preparation, che è quella più impattante.....36
Tabella 8 Inventario per la produzione di 1kg di resina liquida al suo contenuto di solidi 44
Tabella 9 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1kg of liquid resin)- scenario di fine vita-discarica 48
Tabella 10 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1kg of liquid resin)- profilo elettrico .49
Tabella 11 Valutazione e confronto degli impatti relativi alle unità funzionali e rapportati alle masse effettive dei copriwater 52

Introduzione

Il cambiamento climatico è una realtà e sta già provocando impatti e fenomeni con una frequenza e un'intensità mai visti. I gas serra nell'atmosfera hanno raggiunto livelli senza precedenti e con essi il surriscaldamento globale, il quale sta portando ad uno sconvolgimento degli ecosistemi e della ricchezza di biodiversità che sono necessari per la nostra vita.
Per evitare che la situazione precipiti e che gli impatti del "*Climate change"* siano ancora più violenti è necessario limitare il riscaldamento globale a 1,5°C e per farlo è necessario azzerare le emissioni di CO2 entro il 2050.
Per salvare il nostro pianeta è indispensabile che l'attività dell'uomo si orienti verso azioni sempre più eco-sostenibili.
Definire cosa sia sostenibile per l'ambiente, valutare i potenziali impatti di un sistema, vedere in prospettiva futura scenari differenti, progettare in termini di efficienza e a basso impatto è quello di cui mi sono interessato nell'affrontare questo argomento.
Negli ultimi anni le problematiche legate all'inquinamento hanno spinto molte imprese, quali Eurocornici srl, alla produzione di modelli di prodotti sempre più ecosostenibili. Nel caso studio affrontato nella tesi, sono stati presi in considerazione due modelli di copriwater, uno in resina ureica termoindurente e l'altro in MDF poliesterato laccato, concentrandosi però per mancanza di dati sensibili, sullo studio degli impatti dei due materiali e sul loro trattamento a fine vita. I confini del sistema includono quindi il ciclo vita di un pannello MDF e quello della resina ureica ed escludono i processi di stampaggio a compressione e di fresatura e verniciatura, che subiscono rispettivamente la resina di urea formaldeide e i pannelli di MDF, nella produzione dei copriwater. Neanche i trasporti del prodotto finito agli eventuali clienti di riferimento sono stati presi in considerazione. Di conseguenza l'impatto degli eventuali processi e trattamenti, interni all'azienda, dovrà essere valutato in un secondo momento dall'azienda stessa, per eseguire quindi una valutazione complessiva dei propri prodotti.
Per realizzare un'analisi dettagliata ci affideremo alla metodologia di studio LCA (*Life Cycle Assessment*) che permette di associare ad ogni fase del ciclo vita di un prodotto i relativi impatti ambientali, al fine di identificare le maggiori criticità e di valutare i miglioramenti ottenibili attraverso soluzioni migliorative.

L’elaborato è stato così strutturato: nel primo capitolo viene sviluppato il tema della sostenibilità ambientale, attraverso i concetti di economia circolare ed ecodesign. Viene anche introdotta la teoria dell’analisi LCA, dagli strumenti e metodi per la valutazione del ciclo vita passando per i software che la supportano.
Nel secondo capitolo analizzeremo e valuteremo gli impatti del caso studio: analisi LCA di prodotti a base di MDF, mentre nel terzo quelli del caso studio: analisi LCA di prodotti a base di resina UF. Infine, faremo una comparazione degli impatti dei due materiali per le diverse categorie d’impatto.

1 Sostenibilità ambientale

Il termine “sostenibilità” è stato introdotto nel corso della Conferenza delle Nazioni Unite sull’ambiente del 1972, per poi essere codificato nel 1987 con la pubblicazione del rapporto Brundtland («Sostenibilità ambientale, lo sviluppo che rispetta il Pianeta,» 22 4 2020. [Online]. Available: https://corporate.enel.it., s.d.).
Il documento definisce sostenibile un modello di sviluppo in grado di soddisfare i bisogni del presente senza compromettere alle future generazioni le capacità di soddisfare i propri. Si tratta di una definizione nata dalla presa di coscienza che le risorse del pianeta non sono infinite ma vanno preservate con cura, senza sprechi, rispettando ambiente e biodiversità.
Il significato di sostenibilità ambientale, indica uno degli aspetti chiave del concetto più ampio di sviluppo sostenibile, dal quale nascono tutte le azioni che possono essere messe in campo da istituzioni, aziende e singole persone per preservare il nostro pianeta.
Possiamo definire la sostenibilità ambientale anche attraverso le tre condizioni di Herman Daly (C. Lobina, 26 6 2020. [Online]. Available: https://www.italiachecambia.org., s.d.).
Un sistema umano può essere eco-sostenibile solo se:

1. La velocità con cui si sfruttano le risorse rinnovabili è inferiore a quella con cui si rigenerano.
2. L’immissione di particelle inquinanti e scorie nell’ambiente non supera la sua capacità di assimilarle, cioè la sua capacità di carico.
3. L’esaurimento di risorse non rinnovabili si compensa passando a risorse rinnovabili sostitutive

La sostenibilità ambientale dipende molto dalla capacità di carico e autoregolazione dei sistemi naturali, quindi dalla loro resilienza.
Se lasciata sola la natura ha un’enorme capacità di autoregolarsi, risanarsi e rinnovarsi. Le cose si complicano quando gli ecosistemi si scontrano con il sistema antropico, cioè con la pressione esercitata dagli esseri umani.
Il primo obiettivo della sostenibilità ambientale è quello di preservare le risorse del pianeta in questo modo:

- Adottando fonti di energia sostenibili e rinnovabili, abbandonando le fonti fossili

- Permettere a tutti di avere le stesse possibilità, quindi consentire l'uguaglianza.
- Far rispettare le risorse dell'ecosistema creando comunità sostenibili
- Progettare città sostenibili in base ai criteri di rispetto ambientale e sociale
- Educare i cittadini ad un consumo sostenibile, consapevole, informato.
- Curare l'efficienza d'uso delle risorse, per un commercio sostenibile.

Secondo un'indagine dell'Istat, le imprese italiane con 50 e oltre addetti evidenziano chiari segnali di orientamento allo sviluppo sostenibile e di accresciuta attenzione all'ambiente naturale e sociale, sia interno che esterno.
Lo sviluppo sostenibile prevede un approccio globale che tenga conto non solo degli aspetti ambientali ma anche di quelli economici e sociali, in modo che le varie componenti si rafforzino reciprocamente.

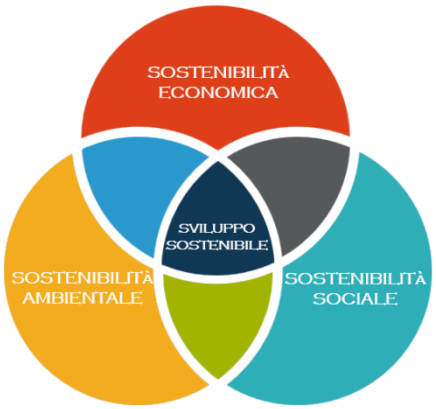


Figura 1 Le tre dimensioni dello sviluppo sostenibile

La sostenibilità sociale si realizza attraverso l'eliminazione della povertà e la realizzazione di condizioni di dignità di base per la vita di ogni uomo, tali da poter vivere in un contesto ambientale e socioeconomico che gli consenta di esprimere la propria individualità.
Il concetto di sostenibilità economica è legato alla verifica degli impatti economici verso i cittadini e le imprese. Si attua offrendo prodotti e servizi vicini a famiglie e aziende al fine di non gravare sui bilanci finanziari.

1.1 Economia circolare: principi e obiettivi

Il termine economia circolare definisce un sistema economico pensato per potersi rigenerare da solo garantendo dunque la sua sostenibilità («Economia circolare,» [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Economia_circolare., s.d.).
La transizione verso un'economia circolare richiede cambiamenti fondamentali nella produzione e nei sistemi di consumo, andando ben oltre l'efficienza delle risorse e il riciclaggio dei rifiuti.
Nel concetto di economia circolare, gioca dunque un ruolo fondamentale il ciclo vita dei prodotti che deve essere più lungo possibile e che sta spostando sempre di più la propria visione dai materiali al problema dei rifiuti (E. E. Agency, «Gestione del ciclo di vita del prodotto-M. Germani,» [Online]. Available: https://learn.univpm.it., s.d.).
Progettare i prodotti in modo più intelligente estendendone vite utili e cambiando il ruolo di tali prodotti all'interno del sistema è fondamentale per il raggiungimento di un'economia circolare.
La rigenerazione e la ristrutturazione che passano attraverso il riutilizzo e la riparazione hanno finora ricevuto meno attenzione rispetto alle questioni e alle strategie relative ai rifiuti.
Per aumentare la circolarità è necessario conoscere i driver, la forma e la funzione del prodotto, comprese le tendenze che possono cambiarle.
Attualmente il modello economico dell'economia lineare è profondamente radicato, anche se le tendenze emergenti indicano che il ruolo dei prodotti all'interno della società sta cambiando, ad esempio lo sviluppo di tecnologie di manifattura additiva può stimolare la riparazione dei prodotti se i pezzi di ricambio sono forniti su richiesta.
Una barriera per il riciclaggio può essere rappresenta dalla tecnologia stessa, se porta a complesse miscele di differenti materiali integrati in un unico prodotto.
La transizione verso un'economia circolare richiede migliori conoscenze dei collegamenti tra i prodotti, i loro modelli di business, la società, le infrastrutture e la governance.
L'uso circolare dei materiali, compreso il riciclaggio, il riutilizzo e la ristrutturazione, mira a ridurre la produzione di rifiuti così come la dipendenza della nostra economia dall'estrazione e importazione di materie prime.

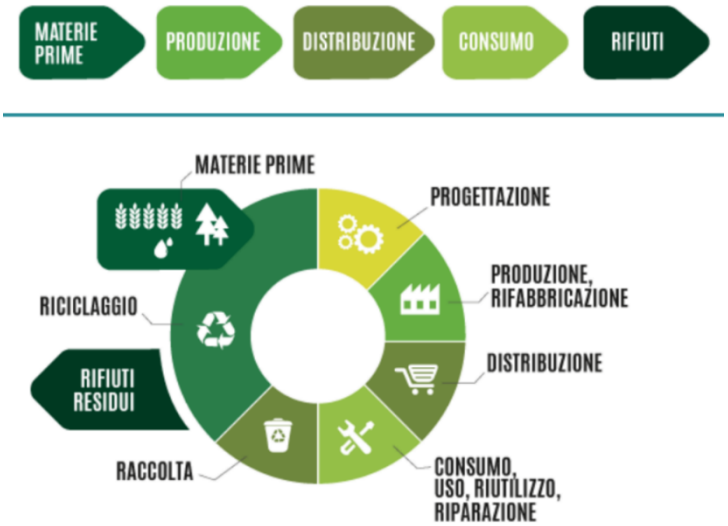


Figura 2 Esempi di sistemi ad economia lineare (sopra) e ad economia circolare (sotto)

Il concetto di economia circolare, garantisce che il valore dei prodotti e dei materiali sia mantenuto il più a lungo possibile riducendo al minimo la necessità di immissione di nuovo materiale ed energia, riducendo la pressione ambientale legata al ciclo di vita: dall'estrazione delle risorse, passando per la produzione fino alla fine del ciclo vita.

I vantaggi delle strategie di circolarità sono più efficaci negli approcci di riutilizzo, riparazione, ridistribuzione, rinnovamento e rigenerazione che per il riciclaggio e l'energia di recupero, a causa delle perdite durante la raccolta e lavorazione e al degrado della qualità dei materiali durante la raccolta differenziata.

I benefici dell'economia circolare inoltre dipendono da molti fattori, tra cui l'intensità di carbonio nel mix energetico ipotizzato. Incentivi per un'economia a basse emissioni di carbonio, come politiche in materia di efficienza energetica, energie rinnovabili o limiti di emissione, possono innescare o rafforzare la circolarità delle soluzioni economiche.

Ad esempio, l'aumento dei prezzi dei combustili fossili, attraverso l'imposizione di limiti alle emissioni di carbonio può portare a soluzioni più sostenibili.

Sebbene i recenti documenti strategici dell'UE siano incentrati su un'economia a basse emissioni di carbonio, efficienza delle risorse e riciclaggio dei rifiuti, c'è ancora del potenziale da sviluppare in merito alla riduzione delle emissioni di carbonio e sulle politiche di economia circolare.

Le sinergie tra economia circolare e basse emissioni sono rappresentate dal ruolo che i materiali svolgono nella generazione dei gas serra: dal punto di vista del ciclo

di vita, il 55%-65% delle emissioni di gas serra derivano dall'estrazione delle materie prime, dalla produzione, dal trasporto e dallo smaltimento dei prodotti finiti.

1.2 Ecodesign

Figura 3 Un modello semplificato di economia circolare per i materiali e l'energia

Nell'economia circolare, l'ecodesign risulta una scelta etica per la conservazione delle risorse del nostro pianeta e per la sua sopravvivenza, perché tiene in considerazione sia delle materie prime impiegate nei processi di produzione, sia dell'energia dissipata in ogni fase del ciclo vita del prodotto.
L'ecodesign associa la necessità di un continuo sviluppo economico alla corretta gestione e al corretto impiego delle risorse a nostra disposizione.
È un modello economico che coinvolge l'intero processo di ideazione, progettazione, vendita sul mercato e smaltimento di un prodotto che rispetti

l'ambiente attraverso la riduzione ai minimi livelli dell'impatto negativo che potrebbe avere sull'ecosistema.
L'Ecodesign deve basarsi su precise linee guida, applicabili a tutte le fasi del ciclo vita di un prodotto, con l'obiettivo finale di ridurre l'impatto ambientale complessivo di tutta la catena produttiva.
Queste linee guida riguardano:

- L'analisi dei materiali usati
- L'analisi del consumo di energia necessaria alla produzione
- L'analisi del ciclo vita del prodotto
- L'impiego di materiali riciclabili e riutilizzabili
- La riduzione di qualsiasi forma di spreco

La direttiva sulla progettazione ecocompatibile attualmente si applica solo ai prodotti che consumano energia, con l'obiettivo di allargare la cornice anche ad altri prodotti significativi dal punto di vista ambientale; in futuro l'ambito sarà esteso a tutti i prodotti legati all'energia, ad eccezione dei mezzi di trasporto che già sono soggetti a politiche e normative per la riduzione degli impatti ambientali.
Secondo le direttive UE, si implementeranno le misure per i prodotti con impatto ambientale significativo, con un potenziale miglioramento e significati volumi di vendite e scambi, tenendo conto della legislazione comunitaria esistente.
Oggi molte organizzazioni hanno sviluppato strumenti e approcci per aiutare le aziende a ripensare a come progettare e produrre prodotti per migliorare i profitti e la competitività e allo stesso tempo ridurre gli impatti ambientali. Come conseguenza dell'esperienza acquisita, l'Ecodesign si è evoluto per comprendere questioni più ampie come la componente sociale della sostenibilità legata alla necessità di sviluppare nuovi modi per soddisfare le esigenze dei consumatori.
Il *Design for Sustainability* (D4S) va oltre alla semplice realizzazione di un prodotto "verde", ora il concetto sta nel soddisfare le esigenze sociali, economiche e ambientali dei consumatori, tre elementi chiave della sostenibilità indicati anche come persone, profitto e pianeta.
Molte aziende hanno riconosciuto l'importanza dell'impatto ambientale dei loro prodotti ed hanno iniziato ad incorporare aspetti ambientali significativi nei processi di progettazione e sviluppo dei prodotti.
Ciò ha richiesto l'identificazione dei principali problemi ambientali relativi al prodotto durante l'intero ciclo vita. In passato i prodotti sono stati progettati senza considerare gli impatti negativi sull'ambiente. I fattori tipici considerati nella

progettazione del prodotto includevano funzione, qualità, costo, ergonomia e sicurezza.
L'industria manifatturiera è stata accusata di gestire un sistema che prende, produce e spreca, sebbene abbia il potenziale per diventare un creatore di prodotti che generano valore ecologico, sociale ed economico. Un modo possibile per migliorare questo punto di vista è che l'industria abbracci gli approcci di eco-efficienza. Nel caso specifico del processo di progettazione, ciò comporta l'adozione di tecniche di Ecodesign.
Quindi attraverso azioni che interessano l'intero ciclo di vita del prodotto come le attività, i processi e i materiali, partendo dall'acquisizione, produzione, distribuzione, utilizzo e smaltimento delle materie prime, le aziende dovrebbero sapere che l'adozione della progettazione ecocompatibile, nel loro processo di sviluppo dei prodotti, contribuirà ad aumentare la loro competitività e a differenziarsi dalla concorrenza attraverso una "immagine verde" che ha sempre più impatto sociale.

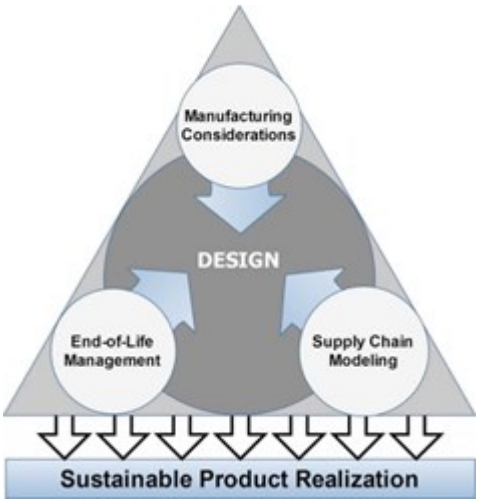


Figura 4 Fasi e considerazioni per l'Ecodesign

I principali benefici apportati dall'Ecodesign hanno carattere: ambientale, economico e sociale.
Si parla di vantaggi ambientali in quanto si ha un minore impatto nello sviluppo dei prodotti e una maggiore e migliore attuazione della legislazione ambientale.
Vantaggi economici dovuti all'ottimizzazione nell'uso delle risorse, come materie prime ed energia, e dei fattori produttivi per generare un minore impatto ambientale e ridurre l'impatto dei trasporti con minori consumi di carburante ed emissioni.
Vantaggi sociali grazie ad una migliore immagine dell'azienda e grazie alla sua risposta ai bisogni di una società con una crescente sensibilità ecologica.

1.3 La teoria dell'analisi LCA

Il *Life Cycle Assessment* è una metodologia che permette di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o attività.
L'LCA prende in esame l'intero ciclo di vita di un prodotto "dalla culla alla tomba" (from cradle to grave), e il potenziale impatto ambientale derivante dall'uso e consumo delle risorse naturali (estrazione, trattamento e lavorazione delle materie prime) dai rilasci dovuti alla trasformazione del prodotto, dal trasporto del prodotto sul mercato (logistica), dalla fase d'uso e riuso, dal fine vita fino al riciclo e alla sua collocazione finale dopo l'uso.
Con precisione la definizione sulla metodologia LCA, proposta dalla SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) e formalizzata nella ISO 14040 è la seguente:

"è un procedimento oggettivo di valutazione di carichi energetici e ambientali relativi a un processo o un'attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente.
La valutazione include l'intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale". (SETAC, «A Conceptual Framework for Life Cycle Assessment,» in workshop record, Sandestin, Florida, February, 1992.)

Figura 5 Fasi interessate dall'analisi LCA

1.3.1 Strumenti e metodi per il *Life Cycle Assessment*

L'analisi LCA è un mezzo che esprime in termini numerici il potenziale impatto ambientale sui diversi macrosistemi terrestri, attraverso l'identificazione e la quantificazione dei consumi di materia, energia e delle emissioni nell'ambiente. Permette inoltre di confrontare in modo quantitativo prodotti simili, di individuare e valutare le opportunità per diminuire gli impatti sull'ambiente.
L'analisi LCA può essere effettuata in qualunque fase del ciclo vita, soprattutto nella fase iniziale di progettazione: l'Ecodesign.
L'LCA è anche finalizzata al marketing, ha come obiettivo dare un messaggio al cliente per dimostrare come i prodotti venduti dall'azienda, sono più sostenibili rispetto ai prodotti venduti dai competitor.
Il suo utilizzo può aiutare a identificare opportunità per migliorare le prestazioni ambientali dei prodotti in vari punti del loro ciclo vita ed informare i decisori, nell'industria, nel governo o nelle organizzazioni non governative nella pianificazione strategica, nella definizione di priorità, nella progettazione di prodotti o processi; inoltre, l'LCA assiste nella selezione di indicatori rilevanti delle prestazioni ambientali e nelle tecniche di misurazione.

1.3.2 Metodologia e criteri LCA

Lo sviluppo dell'analisi LCA è strettamente legato alle normative ISO 14040 e ISO 14044. La ISO 14040 del 2006, contiene una introduzione ai concetti del Life Cycle Assessment e alle sue procedure. La ISO 14044 del 2006, include maggiori dettagli circa la procedura e costituisce una procedura guidata per lo svolgimento di una analisi LCA completa. («UNI EN ISO 14044. Environmental management, Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines». Ginevra: International Organization for Standardization (ISO) Brevetto ISO. (2006b).)

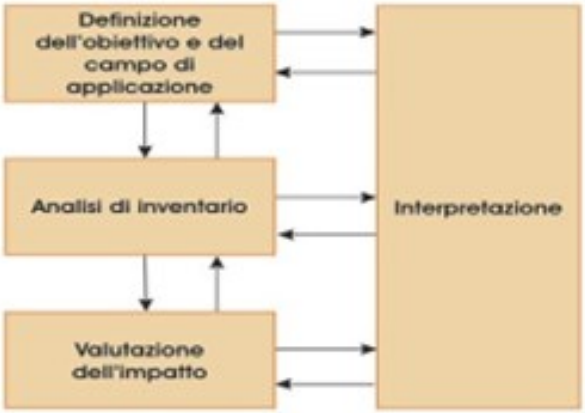


Figura 6 Fasi di uno studio Life Cycle Assessment (LCA)

Le fasi di esecuzione della metodologia LCA sono quattro:

I. la definizione dell'obiettivo, dell'unità funzionale e del campo di applicazione
II. l'analisi di inventario (LCI)
III. la valutazione degli impatti
IV. l'interpretazione dei risultati

Nella prima fase si definisce l'obiettivo dell'analisi e il suo campo di applicazione. In funzione dell'obiettivo, si definiscono i metodi di collezionamento dei dati, la loro presentazione, la loro specificità. Una volta definito l'obiettivo, si definisce l'UNITÀ FUNZIONALE, ovvero la funzione che sarà oggetto di analisi. L' UNITÀ FUNZIONALE è dotata di una unità di misura ed è il parametro di riferimento a cui tutta l'analisi sarà riferita. Inoltre vengono definiti in questa fase: Le categorie di impatto ambientale che si vogliono considerare; Le metodologie per il calcolo degli impatti ambientali secondo le categorie scelte che si vogliono considerare; Vengono fornite informazioni sulla qualità dei dati (se provengono da misurazioni dirette o indirette, da fonti dirette o indirette); Vengono esplicitate tutte le assunzioni fatte e le semplificazioni necessarie. Sempre nella prima fase, si definiscono i confini del sistema, ovvero le fasi del ciclo di via del sistema in oggetto che vogliamo includere nell'analisi.

La seconda fase è l'analisi di inventario (*Life Cycle Inventory*) che comprende la raccolta dei dati e dei procedimenti di calcolo che consentono di quantificare gli elementi in ingresso e in uscita di un sistema di prodotto. I dati per ogni processo unitario entro i confini identificati sono classificabili in:

- elementi in ingresso (energia, materie prime, materiali ausiliari)
- prodotti, coprodotti e rifiuti del processo
- emissioni in aria, nell'acqua e nel suolo
- altri aspetti ambientali

Dopo la raccolta dei dati questi devono poter essere validati, messi in relazione con i processi unitari e correlati al flusso di riferimento (unità funzionale).
I dati selezionati per LCA dipendono dall'obiettivo e dal campo di applicazione dello studio. Questi dati possono essere raccolti attraverso siti di produzione associati ai processi unitari entro i confini del sistema, oppure possono essere misurati, calcolati o stimati da altre fonti. Infine, si devono specificare i requisiti sulla qualità dei dati, al fine di rispettare l'obiettivo e il campo di applicazione dell'LCA.

Nella terza fase si determinano gli impatti ambientali dell'oggetto di valutazione. Si definiscono le categorie di impatto, la loro pesatura e si ricavano i risultati quantitativi. Tale fase è normalmente realizzata mediante software, commerciali e non, di analisi LCA. La fase LCIA (Life Cycle Impacts Assessment) converte i dati raccolti nel passaggio precedente in potenziali impatti ambientali. Possono essere scelte diverse categorie di impatto per la valutazione del carico ambientale di un prodotto/processo/servizio. Tra queste: la salute umana, la qualità dell'ecosistema e lo sfruttamento delle risorse.

La quarta ed ultima fase è l'interpretazione dei risultati.
I risultati delle fasi precedenti vengono sintetizzati, analizzati, controllati e discussi in accordo con l'obiettivo dello studio, per giungere a conclusioni ed indicazioni che permettano l'analisi delle maggiori criticità di prodotto e di identificare le cause degli impatti di ciascuna fase del ciclo vita al fine di migliorare le prestazioni ambientali del sistema-prodotto analizzato. Durante tale fase, possono essere

ipotizzate soluzioni migliorative i cui benefici possono poi essere valutati con successive analisi.

1.3.3 Software LCA

Tali strumenti hanno implementati al loro interno dei database. Queste banche dati, hanno la seguente funzione: supportare la modellazione di prodotto per la realizzazione di analisi LCA. Essi sono costituiti da DATASET ovvero processi/flussi unitari che permettono la modellazione di prodotto.

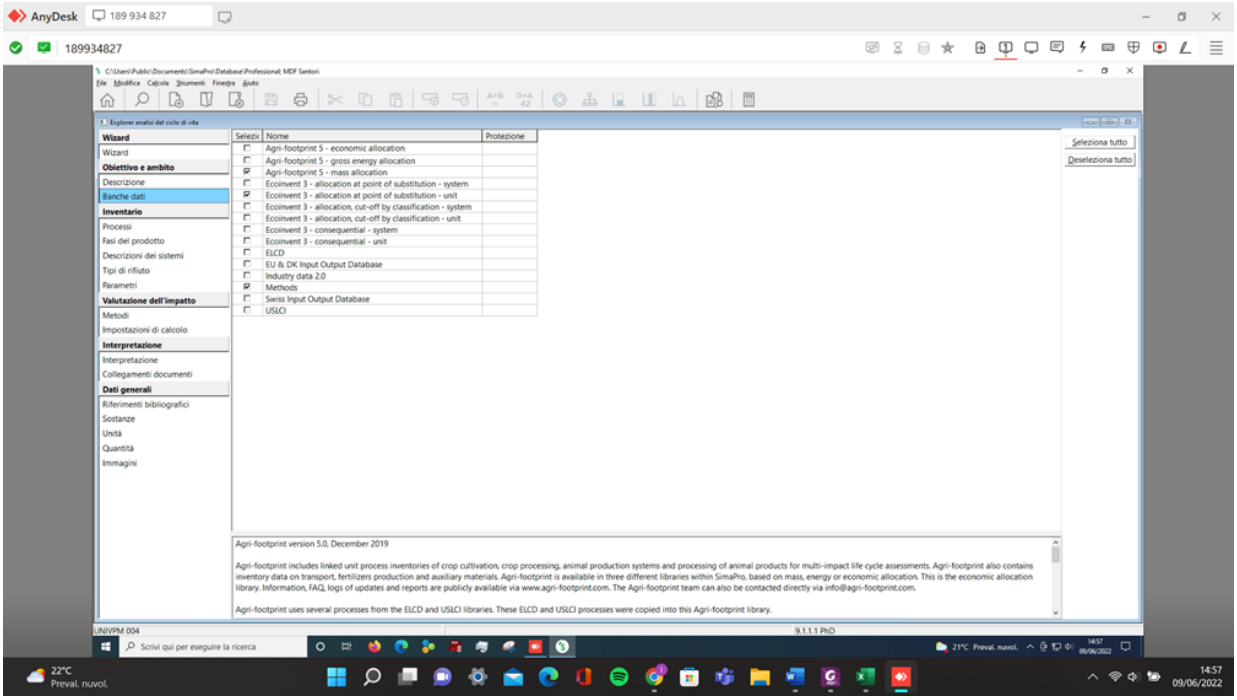
Sono numerosi i software e le banche dati messi a punto per consentire lo sviluppo agevole di studi LCA. I principali software che supportano l'analisi LCA sono Simapro e Gabi, il primo è stato sviluppato dalla PRE (Product Ecology Consultant-NL) per conto del ministero dell'ambiente olandese mentre il secondo, sempre di estrazione europea è un software tedesco. Sono strumenti simili che permettono di fare un uso rapido di informazioni alla base dell'analisi del ciclo vita, inoltre permettono di modellare in modo flessibile e parametrico il prodotto stesso.

Una volta costruito il modello questi software permettono di fare valutazioni d'impatto finali in modo quasi immediato in quanto i sistemi hanno inglobati determinati indicatori di impatto che sono calcolati sulla base del modello costruito.
Simapro nasce dall'esigenza del ministero di dotarsi di uno strumento di valutazione di impatto ambientale il più possibile accurato, oggettivo e versatile ed è da trent'anni il software leader mondiale per la valutazione del ciclo vita (LCA). È considerato un software affidabile dall'industria e dal mondo accademico in più di 80 paesi. È stato sviluppato per aiutare ad applicare efficacemente l'esperienza LCA al fine di guidare un cambiamento sostenibile.
Il software s'interfaccia con parecchie banche dati europee, con l'obiettivo di avere il maggior numero di dati a disposizione e la possibilità di scegliere il processo o materiale più vicino a quello che si vuole prendere in esame.
All'interno della banca dati comune, i materiali e i processi sono classificati secondo il contenuto (materiali da costruzione, energia, trasporti, ecc.) permettendo così la facile comparazione tra processi simili ma provenienti da database differenti.

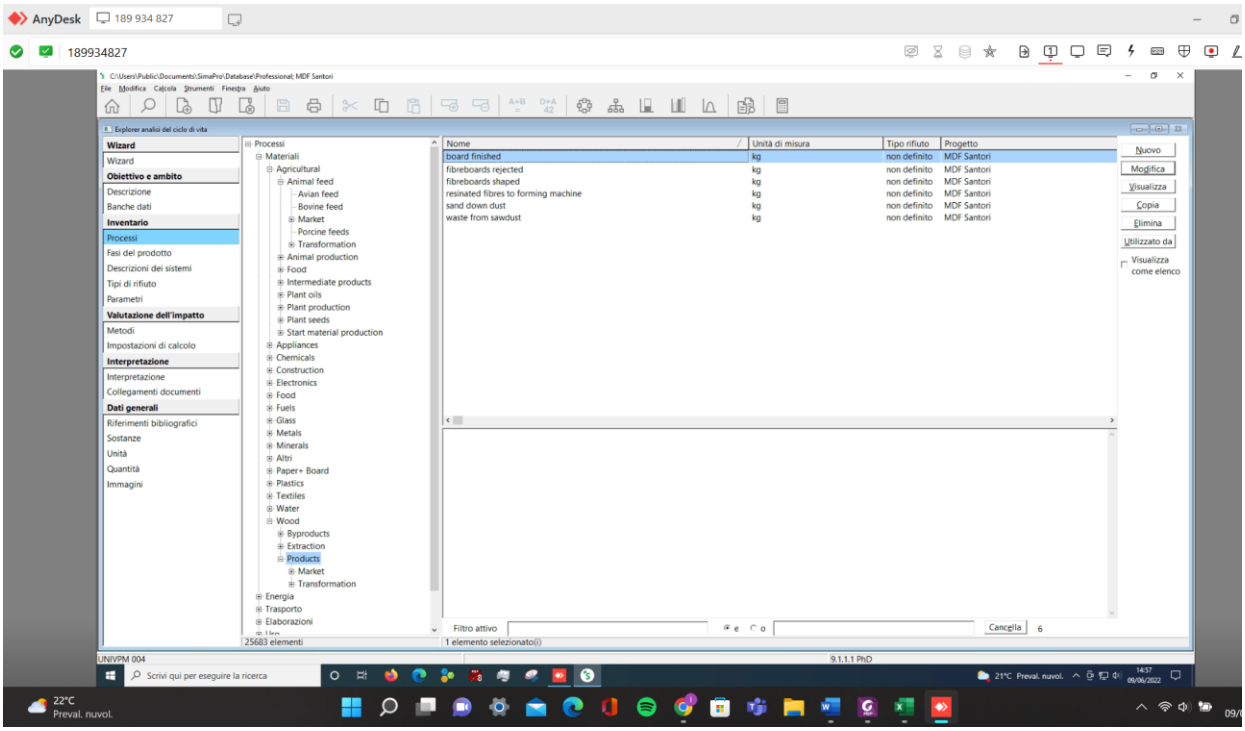
Ogni dato proveniente dalla banca dati può essere modificato secondo le proprie esigenze, qualora si disponga di dati specifici su alcuni prodotti.
Tra le banche dati disponibili è presente il database Ecoinvent 3.6 che risulta il più aggiornato e che è stato utilizzato nel caso studio.
Tale database, pubblicato dallo "*Swiss Centre for Life Cycle Inventories*" contiene dati di inventario internazionali sui processi industriali relativi ad approvvigionamento energetico, sfruttamento delle risorse, fornitura dei materiali, prodotti chimici, metalli, agricoltura, servizi di gestione dei rifiuti e servizi di trasporto.
Il software Simapro offre la possibilità di effettuare le valutazioni di impatto ambientale utilizzando diverse metodologie, permettendo di comparare i risultati su basi di valutazione differenti.
I diversi metodi hanno differenti pesi delle categorie di danno ambientale, in base alla filosofia con cui sono stati concepiti.
I principali metodi di valutazione del danno utilizzabili sono:

- ReCiPe
- CML 2 baseline
- CML 2001
- EPD
- Environmental Footprint (EF)

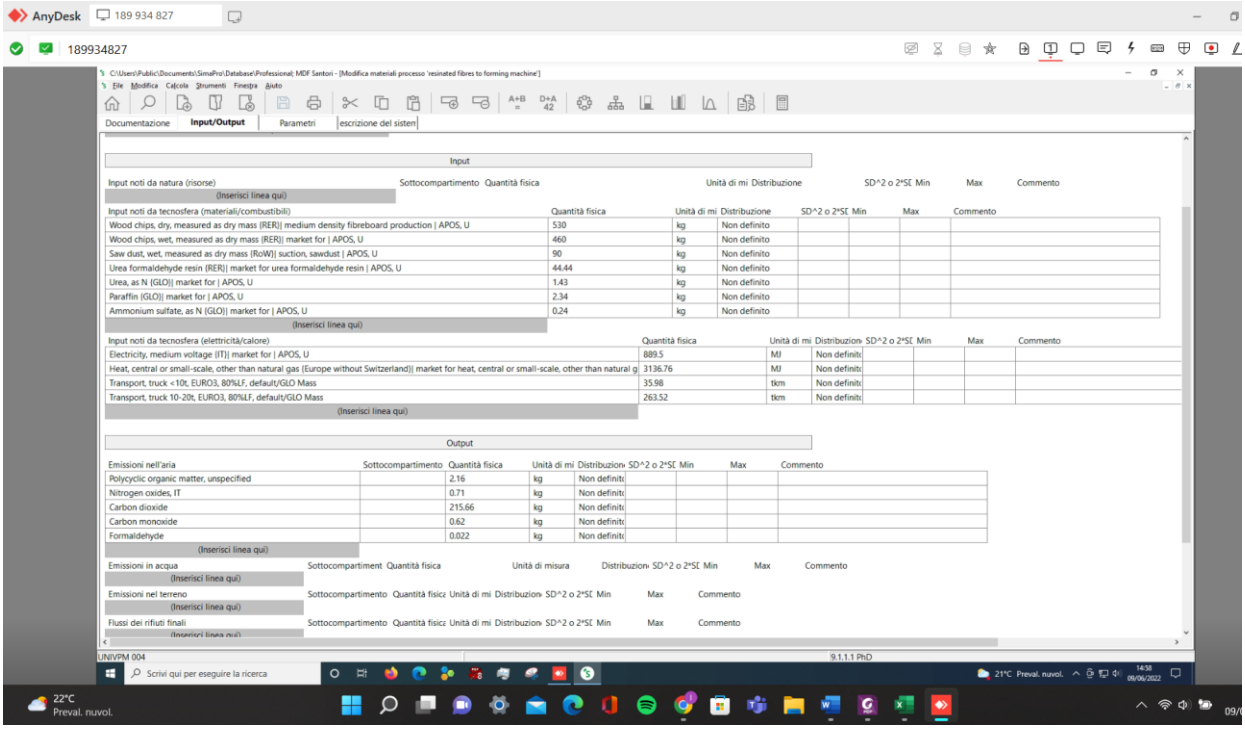
Quest'ultimo è stato proprio utilizzato nel caso studio, in particolare la versione EF 3.0 method (adapted).
Negli screen di seguito sono mostrati i passaggi principali in fase di modellazione.



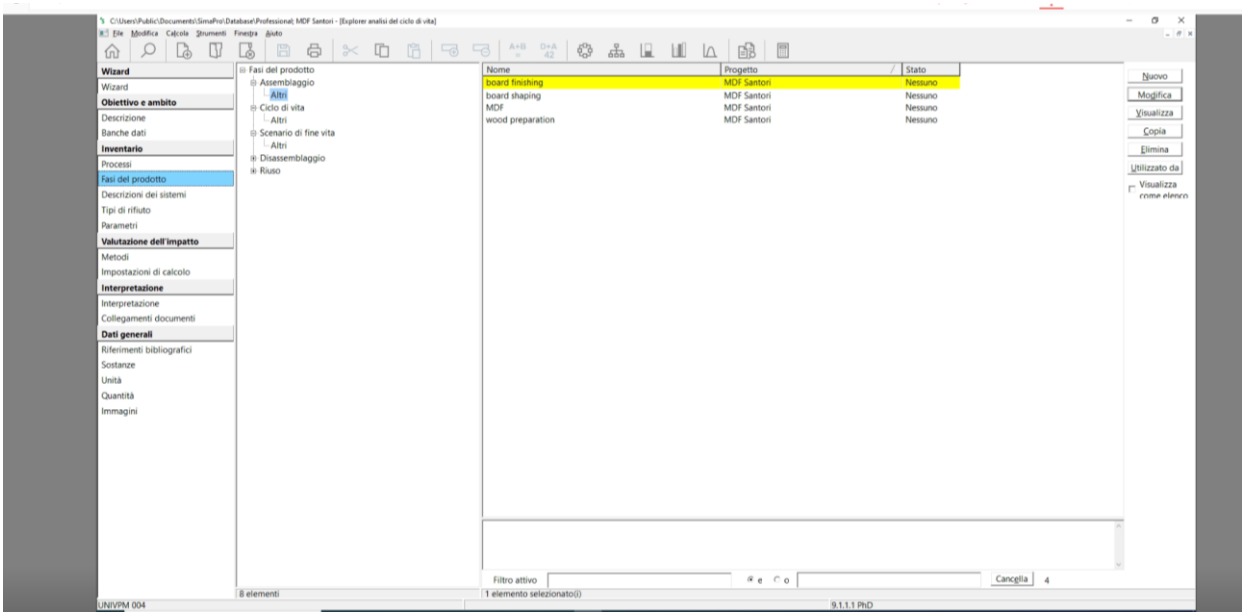
Scelta del database, nel nostro caso Ecoinvent 3- allocation at point of substitution, che è un allocazione in cui la responsabilità sui rifiuti (oneri) è condivisa tra produttori e successivi utilizzatori, che beneficiano dei processi di trattamento utilizzando prodotti di valore in essi generati.



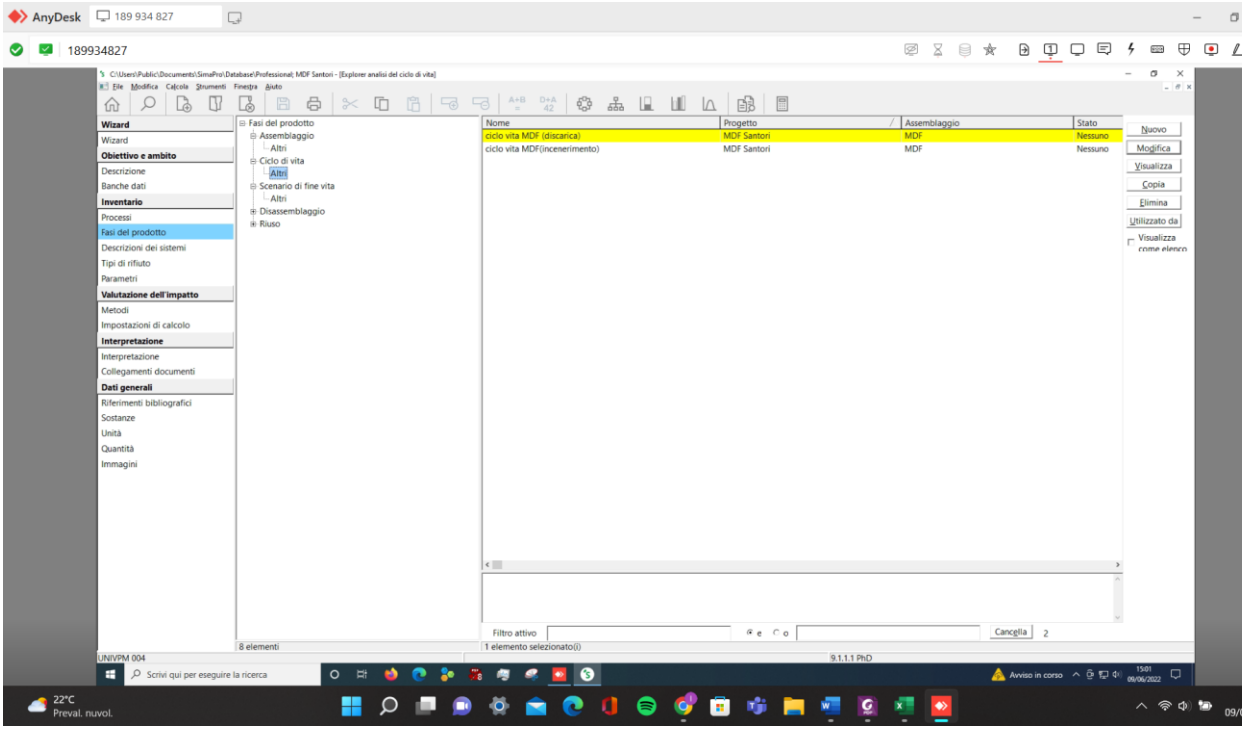
Creazione dei processi e quindi dei sottoprodotti coinvolti nelle fasi oggetto di analisi.



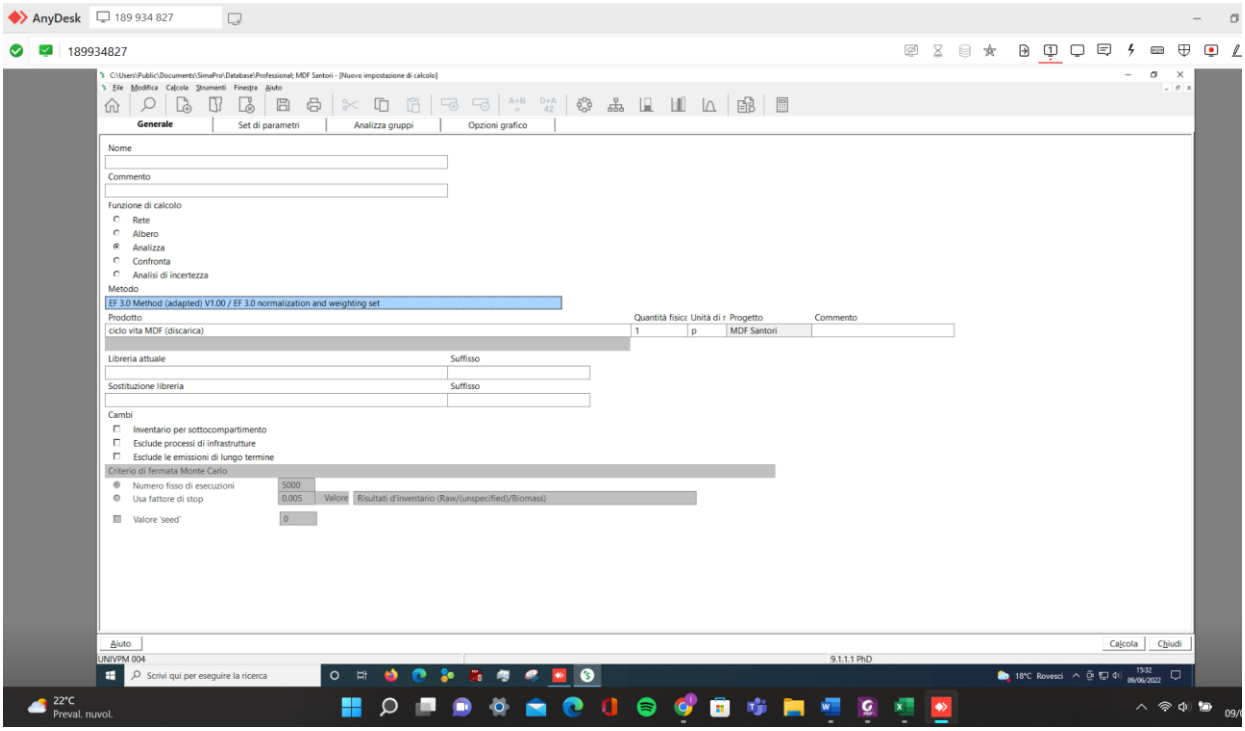
Modellazione, per ciascuno dei sottoprodotti, degli output, degli input (materiali, energia e risorse) e delle emissioni in aria, acqua e suolo.



Descrizione delle fasi del prodotto, a ciascuna delle quali sono associati i relativi sottoprodotti che abbiamo modellato in precedenza.



Descrizione del ciclo di vita del prodotto a cui sono associate tutte le fasi descritte in precedenza e a cui vengono associati degli scenari di fine vita.



Calcolo del ciclo di vita selezionato, scegliendo il metodo di calcolo più adatto (EF 3.0 Method (adapted) nel nostro caso).

2 Caso studio: analisi LCA di prodotti a base di MDF

2.1 Obiettivo e campi di applicazione

L'obiettivo di questa prima analisi è quello di valutare l'impatto ambientale, tramite analisi LCA, del medium density fibreboard (MDF), impiegato nella produzione di Copriwater, da parte dell'azienda Eurocornici srl. L'MDF è un derivato del legno e viene utilizzato per ricavare un'ampissima gamma di copriwater, sia per forme che per colori. Si ricava dalla miscela di resine e fibre di legno vergine di prima scelta ed è estremamente rispettoso dell'ambiente. È dalla sua qualità che dipende la durata stessa del copriwater. Per questo, vengono utilizzati solo ed esclusivamente MDF CARB certificato FSC, la cui provenienza viene tracciata in ogni fase della lavorazione. Prodotti in Italia e sottoposti sia a test in acqua che sotto pressa, i sedili WC in MDF resistono a sollecitazioni fino a 300kg di peso per garantire sempre il massimo del comfort e della durata.

Figura 7 Pannelli MDF

2.1.1 Unità funzionale

Questa unità fornisce un riferimento a cui si riferiscono gli ingressi e le uscite. L'unità funzionale scelta è stata di 1 m³ di MDF finito. La densità del materiale è di circa 615 kg/m3 con 8% di contenuto d'acqua.

2.1.2 Descrizione del sistema analizzato

La Composite Panel Association definisce l'MDF come un prodotto a pannello stampato a secco fabbricato con fibre lignocellulosiche combinate con una resina sintetica o altro legante. Il processo di raffinamento meccanico è effettuato ad alta temperatura. Viene aggiunto un legante di resina sintetica, tipicamente urea formaldeide, per fornire proprietà di resistenza e la cera di paraffina è integrata per la protezione contro gli agenti accidentali, quali fuoriuscita di acqua. La densità dei pannelli MDF oscilla da 496 a 801 chilogrammi per metro cubo (kg/m3). A differenza del truciolare, MDF ha una densità più uniforme su tutta la tavola e ha bordi lisci e stretti che possono essere lavorati. I pannelli MDF si caratterizzano per la loro uniformità e omogeneità in tutto il loro spessore, non presentano problemi nel momento del taglio e possono essere lavorati e modellati con estrema facilità. Dal punto di vista della resistenza all'umidità, questa è relativamente bassa dovuto alla capacità di assorbimento dell'acqua che hanno le fibre di cui è costituito. Tale resistenza può essere migliorata mediante l'utilizzo, durante il processo di produzione, di speciali prodotti che ne aumentano notevolmente la sopportazione all'umidità. Il contenuto di formaldeide nel materiale è classificato in E1 ed E2 dalla norma UNE-EN13986. Da alcuni anni i fabbricanti di pannelli MDF si sono impegnati a produrre materiale con basso contenuto di formaldeide, con valori addirittura inferiori a quelli richiesti dalla classe E1. I passaggi generali utilizzati per produrre MDF includono la meccanica di spappolamento di trucioli di legno in fibre (raffinazione), essiccazione, miscelazione di fibre con resina e talvolta cera, formazione del materiale resinato e pressatura a caldo. La catena di processo può

essere suddivisa in tre sottosistemi principali: preparazione del legno, sagomatura e finitura della tavola.

Sottosistema di Wood Preparation. Le principali fonti di biomassa sono normalmente i trucioli di legno. I trucioli di legno sono in genere consegnati su camion o ferrovia da luoghi fuori sede come segherie, impianti di compensato, impianti di produzione di mobili e segheria per operazioni di cippatura di alberi interi. I trucioli vengono lavati per rimuovere lo sporco. Una volta puliti sono ammorbiditi in un digestore pressurizzato a vapore e quindi trasportati in una camera di raffinazione pressurizzata. Nella camera di raffinazione, dischi girevoli singoli o doppi vengono utilizzati per ridurre i trucioli ammorbiditi in fibre adatte alla fabbricazione dei pannelli. Le fibre vengono prima mescolate con resina, cera e altri additivi in una linea di soffiatura, che è un canale che scarica le fibre resinate nell'essiccatore. Dopo l'essiccazione, le fibre vengono rimosse dal flusso di gas da un setaccio di fibre e quindi convogliate in un bidone di stoccaggio.

Sottosistema di Board Shaping. L'aria veicola le fibre resinate dal bidone di stoccaggio a secco alla macchina formatrice. Il materassino formato deve essere precompresso prima di essere caricato nella pressa a caldo. La pressa applica calore e pressione per innescare la resina e unire le fibre in un pannello solido. Il materassino potrebbe essere pressato in una pressa a caldo continua, o il materassino precompresso può essere tagliato da una troncatrice volante in singole stuoie che vengono quindi caricate in una pressa a caldo di tipo batch ad apertura multipla. Il riscaldamento a vapore o ad olio caldo delle piastre della pressa è comune negli impianti di MDF domestici.

Sottosistema di Board Finishing. Dopo la pressatura, le tavole vengono raffreddate, levigate, refilate e segate alla dimensione finale. Le tavole possono anche essere verniciate o laminate. Infine, il prodotto finito viene imballato per la consegna.

Attività accessorie:

• Sostanze chimiche. La produzione di UF e trasporto alla fabbrica sono stati considerati nel sottosistema della preparazione del legno.

• Trasporto. Trucioli e segatura vengono consegnati su camion da località vicine. La distribuzione del prodotto finito non è inclusa nei confini del sistema a causa della sua forte dipendenza geografica.

• Energia. Consumo di energia nei sottosistemi della preparazione del legno, della sagomatura e della finitura delle tavole sono state incluse nei rispettivi dati di inventario.

• Attività ausiliarie. Le attività ausiliarie nelle fabbriche sono calcolate tenendo conto dei consumi di acqua e dei rifiuti generati.

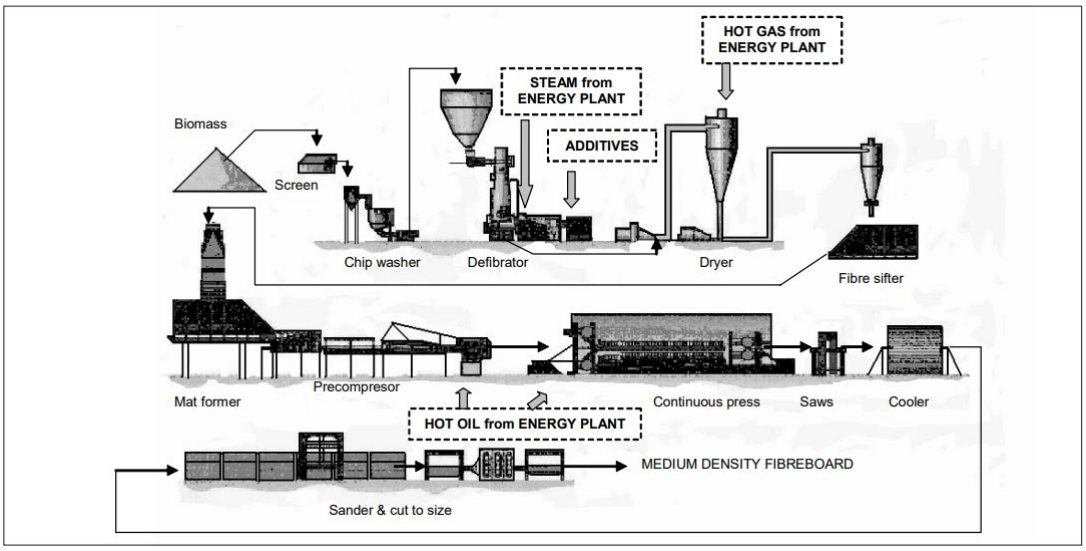


Figura 8 Diagramma di flusso della produzione di MDF

2.1.3 Data quality

Dati di alta qualità sono essenziali per effettuare una valutazione affidabile. Tutti i dati relativi agli ingressi e alle uscite dei processi sono stati ottenuti da un articolo del "*The International Journal of Life Cycle Assessment*" intitolato "Life Cycle Inventory of Medium Density Fibreboard" (Rivela B, Moreira MT, Feijoo G (2007): Life Cycle Inventory of Medium Density Fibreboard. Int J LCA 12 (3) 143–150). Per tutti gli input e output in questo inventario sono state fatte misurazioni in loco durante un periodo di un anno presso due impianti spagnoli ed uno cileno. Il sottosistema legato alla produzione di resina urea-formaldeide (UF) è stato inventariato dai dati bibliografici del PRé Consultants Database (IDEMAT database (2001): Faculty of Industrial Design Engineering of Delft University of Technology, The

Netherlands). Nella LCA dei prodotti a base di legno, le infrastrutture degli impianti di produzione non vengono generalmente prese in considerazione in quanto le differenze sono trascurabili rispetto agli impatti ambientali complessivi del ciclo di vita del prodotto.

2.2 Analisi di inventario

I trucioli e la segatura provenienti dalla segheria sono sottoprodotti del legno che possono essere utilizzati come materie prime e combustibili. Ai fini di questo lavoro, sono stati considerati rifiuti da altre attività. Inoltre, i rifiuti del legno non hanno un'allocazione dell'onere ambientale dai processi precedenti e sono stati calcolati solo il loro trasporto e l'ulteriore elaborazione. Per quanto riguarda gli input dei "chemicals", l'additivo più rilevante è quello della resina di urea formaldeide, che svolge la funzione di legante delle fibre e che verrà analizzata nello specifico nel capitolo 3 e la cera di paraffina, per la protezione contro gli agenti accidentali.

Tutti i dati relativi ai consumi dei sottosistemi di preparazione del legno, sagomatura della tavola e finitura della tavola sono ottenuti dalle aziende. In particolare, per ogni fase è stato modellato un profilo di energia elettrica a medio voltaggio, per il mercato italiano e un profilo di calore derivante dalla combustione di biomasse, per il mercato europeo. L'essiccatore a gas, il "defibrator" a vapore e le piastre della pressa, che vengono riscaldate a vapore o ad olio, assumono i contributi energetici maggiori e quindi più impattanti. Si fa notare che il riciclaggio dei rifiuti dal sottosistema di sagomatura e finitura del pannello (pannello scartato, polvere di carteggiatura e scarti di segatura) è stato considerato nell'analisi e questo riciclaggio interno è stato un input per l'impianto energetico (vedi Fig. 9).

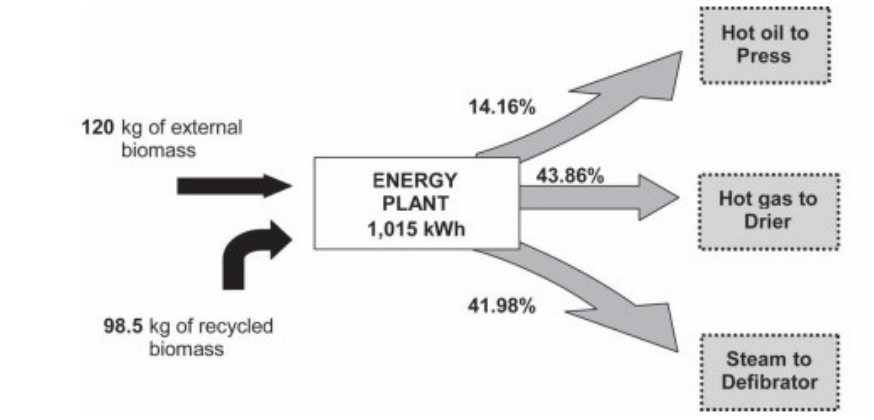


Figura 9 Bilancio dell'energia termica per 1m3 di MDF processato

Valori riportati in tab.1 e 2 riassumono i valori medi delle emissioni segnalate dalle fabbriche. Le emissioni primarie, per la produzione di pannelli MDF, derivano dall'essiccatore di fibre e dalla pressa. Le emissioni sono correlate al tipo e alla quantità di resina utilizzata per legare insieme le fibre di legno. Quando la stampa si apre, vapori con contenuto di formaldeide vengono rilasciati. Nel sottosistema Board Shaping, le emissioni di formaldeide dalla stampa sono state stimate sulla base dei fattori di emissione riportati da US-EPA (2002). L'altra principale fonte di emissione è la caldaia, che può essere alimentata con diversi combustibili e che va ad impattare molto, a causa del rilascio di elevate quantità di CO_2.

Sono stati modellati inoltre i trasporti medi delle materie prime, che avvengono tutti tramite camion. Ho ipotizzato motori meno recenti del tipo EURO 3, che quindi avranno più impatti rispetto a quelli di nuova generazione.

Nelle tabelle seguenti sono riportati tutti i valori di input e output, per ciascuna delle tre fasi che caratterizzano la produzione di pannelli MDF.

Tabella 1 Inventario della fase di Wood Preparation per 1 m³ di MDF

Documentazione | **Input/Output** | Parametri | escrizione del sisten

Prodotti

Output noti a tecnosfera. Prodotti e coprodotti	Quantità fisica	Unità di misura	Quanti
resinated fibres to forming machine	713.48	kg	Mass
(Inserisci linea qui)			

Output noti a tecnosfera. Prodotti evitati	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SI	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)							

Input

Input noti da natura (risorse)	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzione
(Inserisci linea qui)				

Input noti da tecnosfera (materiali/combustibili)	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzione	S
Wood chips, dry, measured as dry mass {RER}| medium density fibreboard production | APOS, U	530	kg	Non definito	
Wood chips, wet, measured as dry mass {RER}| market for | APOS, U	460	kg	Non definito	
Saw dust, wet, measured as dry mass {RoW}| suction, sawdust | APOS, U	90	kg	Non definito	
Urea formaldehyde resin {RER}| market for urea formaldehyde resin | APOS, U	44.44	kg	Non definito	
Urea, as N {GLO}| market for | APOS, U	1.43	kg	Non definito	
Paraffin {GLO}| market for | APOS, U	2.34	kg	Non definito	
Ammonium sulfate, as N {GLO}| market for | APOS, U	0.24	kg	Non definito	

Input noti da tecnosfera (elettricità/calore)	Quantità fisica	Unità di n
Electricity, medium voltage {IT}| market for | APOS, U	889.5	MJ
Heat, central or small-scale, other than natural gas {Europe without Switzerland}| market for heat, central or small-scale, other than natural g	3136.76	MJ
Transport, truck <10t, EURO3, 80%LF, default/GLO Mass	35.98	tkm
Transport, truck 10-20t, EURO3, 80%LF, default/GLO Mass	263.52	tkm
(Inserisci linea qui)		

Output

Emissioni nell'aria	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SI	Min	Max	Comm
Polycyclic organic matter, unspecified		2.16	kg	Non definit				
Nitrogen oxides, IT		0.71	kg	Non definit				
Carbon dioxide		215.66	kg	Non definit				
Carbon monoxide		0.62	kg	Non definit				
Formaldehyde		0.022	kg	Non definit				

Tabella 2 Inventario della fase di Board Shaping per 1 m³ di MDF

Output noti a tecnosfera. Prodotti e coprodotti	Quantità fisica	Unità di misura	Quantità fisica	% Allocazione	Tipo rifiut
fibreboards shaped	705.44	kg	Mass	100 %	non defini
fibreboards rejected	8.04	kg	Mass	0 %	non defini
(Inserisci linea qui)					

Output noti a tecnosfera. Prodotti evitati	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)							

Input

Input noti da natura (risorse)	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzione	SD^2 o 2*SD	Min
(Inserisci linea qui)						

Input noti da tecnosfera (materiali/combustibili)	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzione	SD^2 o 2*SD	Min	Max
resinated fibres to forming machine	713.48	kg	Non definito			
(Inserisci linea qui)						

Input noti da tecnosfera (elettricità/calore)	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min
Electricity, medium voltage {IT}| market for | APOS, U	25.541	MJ	Non definito		
Heat, central or small-scale, other than natural gas {Europe without Switzerland}| market for heat, central or small-scale, other than natural g	517.43	MJ	Non definito		
(Inserisci linea qui)					

Output

Emissioni nell'aria	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	Max	Commento
Polycyclic organic matter, unspecified		0.044	kg	Non definito				
Formaldehyde		0.023	kg	Non definito				
(Inserisci linea qui)								

Emissioni in acqua	Sottocompartiment	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)								

Emissioni nel terreno	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)								

Flussi dei rifiuti finali	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)								

Emissioni non materiali	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)								

Tabella 3 Invenentario della fase di Board Finishing per 1 m³ di MDF

Documentazione | **Input/Output** | Parametri | escrizione del sisten

Prodotti

Output noti a tecnosfera. Prodotti e coprodotti	Quantità fisica	Unità di misura	Quantità fisica	% Allocazione	Tipo rifiuto	Categor
board finished	615	kg	Mass	100 %	non definito	Wood\
sand down dust	53.76	kg	Mass	0 %	non definito	Wood\
waste from sawdust	36.76	kg	Mass	0 %	non definito	Wood\
(Inserisci linea qui)						

Output noti a tecnosfera. Prodotti evitati	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)							

Input

Input noti da natura (risorse)	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzione	SD^2 o 2*SD	Min	Max
(Inserisci linea qui)							

Input noti da tecnosfera (materiali/combustibili)	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzione	SD^2 o 2*SD	Min	Max	Commento
fibreboards shaped	705.44	kg	Non definito				
(Inserisci linea qui)							

Input noti da tecnosfera (elettricità/calore)	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	Max
Electricity, medium voltage {IT}| market for | APOS, U	355.79	MJ	Non definito			
(Inserisci linea qui)						

Output

Emissioni nell'aria	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)								

Emissioni in acqua	Sottocompartiment	Quantità fisica	Unità di misura	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)								

Emissioni nel terreno	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)								

Flussi dei rifiuti finali	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)								

Emissioni non materiali	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)								

Temi sociali	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)								

Temi economici	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	Max	Commento

2.3 Valutazione degli impatti e interpretazione dei risultati

Le categorie d'impatto considerate sono: Climate change, Ozone depletion, Ionising radiation, Photochemical ozone formation, Particulate matter, Human toxicity, Acidification, Eutrophication, Land use, Water use, Resource use. La modellazione e la stima di un indicatore ambientale per ciascuna categoria o tematica viene effettuata in questa fase. La fase di caratterizzazione analizza il contributo dei diversi sottosistemi alle categorie di impatto. I risultati sono riportati nelle tabelle seguenti. Il sottosistema di preparazione del legno mostra i contributi nettamente più elevati per tutte le categorie analizzate (a titolo esemplificativo in Fig. 10 è mostrato l'impatto nella categoria del "climate change"). Il contributo principale a queste categorie è relativo al consumo di energia. Pertanto, la preparazione del legno ha l'impatto maggiore sulle categorie menzionate, poiché questo sottosistema è maggiormente dipendente dall'uso dell'energia elettrica e da quella termica. Inoltre, il danno all'ecosistema, misurato attraverso l'indicatore dell'"ecotossicità", è causato principalmente dall'urea formaldeide, utilizzata nel sottosistema di preparazione del legno.

Tabella 4 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1m3 di MDF) - confronto tra fasi

Categoria d'impatto	Unità	Totale	wood preparation	board shaping	board finishing
Climate change	kg CO2 eq	1115,079554	1003,885355	66,34473476	44,84946472
Ozone depletion	kg CFC11 eq	7,5118E-05	6,56865E-05	2,64071E-06	6,79083E-06
Ionising radiation	kBq U-235 eq	51,07930361	44,13844006	1,361554552	5,579308995
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	4,616981187	4,211930347	0,301001707	0,104049134
Particulate matter	disease inc.	4,71965E-05	4,35725E-05	2,75337E-06	8,70595E-07
Human toxicity, non-cancer	CTUh	3,55004E-05	3,08078E-05	4,41307E-06	2,79589E-07
Human toxicity, cancer	CTUh	2,31143E-06	1,97316E-06	3,28385E-07	9,89377E-09
Acidification	mol H+ eq	5,326846158	4,736809875	0,362600936	0,227435346
Eutrophication, freshwater	kg P eq	0,256006145	0,221955227	0,021359437	0,012691481
Eutrophication, marine	kg N eq	1,096124751	1,025710443	0,034778648	0,03563566
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	11,19053867	10,43152318	0,366784147	0,392231338
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	21262,43638	18411,41954	2089,168437	761,8484033
Land use	Pt	69964,86492	67411,92331	1343,00058	1209,941028
Water use	m3 depriv.	481,4422178	433,0342327	12,78675371	35,62123145
Resource use, fossils	MJ	10994,00321	9780,423737	548,223002	665,3564679
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	0,00677614	0,006539839	9,59241E-05	0,000140377

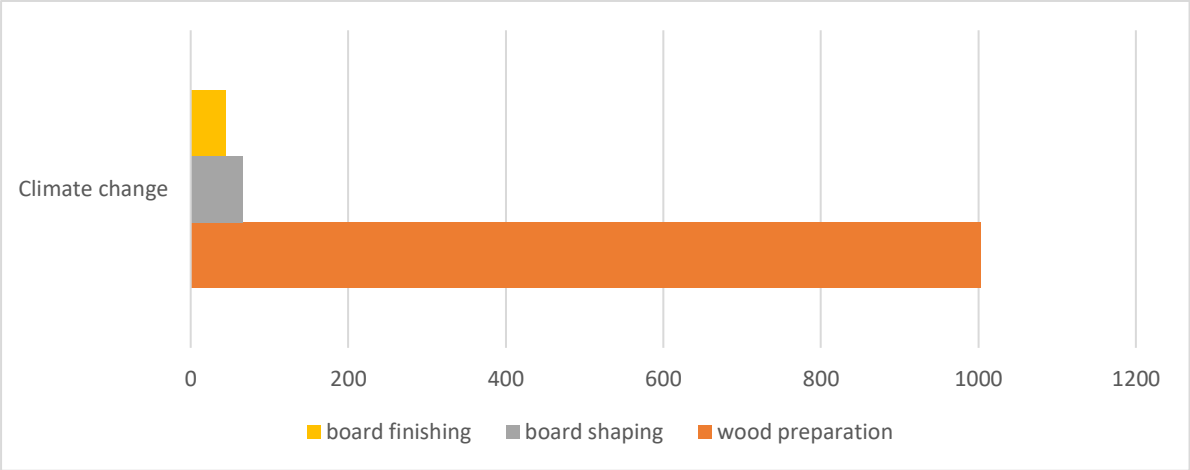


Figura 10 Valutazione della categoria d'impatto "climate change", relativa all'unità funzionale (1m3 di MDF) - confronto tra fasi

2.3.1 Valutazione impatti degli scenari di fine vita

Durante la fase di modellazione su Simapro, sono stati modellati due scenari alternativi di fine vita per il pannello MDF, uno smaltimento in discarica ed uno per incenerimento.

I grafici riportati in Fig.11 e Fig.12 mostrano come in generale l'impatto dello scenario di fine vita e quindi dello smaltimento sia poco impattante in termini percentuali rispetto alla fase stessa di produzione di MDF. Si può osservare, tuttavia, che sia nel caso di smaltimento in discarica, sia in quello di incenerimento l'impatto rispetto alla categoria "Climate change", espressa in kg di CO2 equivalente, assume un valore intorno al 50% del totale.
Da notare che, i fattori di conversione in CO2 equivalente derivano dai potenziali di riscaldamento globale di ogni gas serra; in questo caso il metano (CH4) che è il gas climalterante maggiormente prodotto dal settore "Rifiuti".
Esso è emesso, infatti, dalla degradazione dei rifiuti smaltiti nelle discariche e i principali parametri che influenzano la stima delle emissioni sono, oltre alla quantità di rifiuti smaltiti, la composizione dei rifiuti, la frazione di metano nel gas di discarica e la quantità di gas di discarica raccolta e trattata.

Per quanto riguarda l'incenerimento sono considerate le emissioni di CO2 risultanti dall'ossidazione, durante l'incenerimento e la combustione a cielo aperto dei rifiuti di origine fossile (ad esempio plastica, alcuni tessuti, gomma, solventi liquidi e oli usati).

Un altro parametro altamente impattante, nel caso di smaltimento in discarica, è l' "Eutrophication, marine" che influisce per più del 75% nell'impatto totale. Esso rappresenta l'accrescimento degli organismi vegetali, che si ha per effetto della presenza nell'ecosistema acquatico di dosi troppo elevate di sostanze nutritive come azoto, fosforo o zolfo, provenienti da fonti naturali o antropiche.
Infine, nel caso di incenerimento, si osserva che il "Resource use, minerals and metals" influisce per circa il 55% rispetto al circa 5% nel caso di smaltimento in discarica.

Tabella 5 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1m3 di MDF) – confronto tra fase di produzione dell'MDF e scenario di fine vita (discarica)

Categoria d'impatto	Unità	Totale	MDF	scenario fine vita MDF- discarica
Climate change	kg CO2 eq	2737,836815	1115,079556	1622,757259
Ozone depletion	kg CFC11 eq	8,28451E-05	7,5118E-05	7,72709E-06
Ionising radiation	kBq U-235 eq	55,70770721	51,07930391	4,628403304
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	5,365698981	4,616981193	0,748717788
Particulate matter	disease inc.	5,16969E-05	4,71965E-05	4,50042E-06
Human toxicity, non-cancer	CTUh	3,88096E-05	3,55004E-05	3,30915E-06
Human toxicity, cancer	CTUh	2,37837E-06	2,31143E-06	6,69384E-08
Acidification	mol H+ eq	5,71015166	5,326846167	0,383305493
Eutrophication, freshwater	kg P eq	0,291006548	0,256006145	0,035000403
Eutrophication, marine	kg N eq	4,907437083	1,096124753	3,81131233
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	12,23378351	11,19053869	1,043244821
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	32206,9706	21262,43642	10944,53419
Land use	Pt	71492,40662	69964,86506	1527,541556
Water use	m3 depriv.	507,0703463	481,4422194	25,62812686
Resource use, fossils	MJ	11720,12766	10994,00325	726,1244184
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	0,007134472	0,00677614	0,000358332

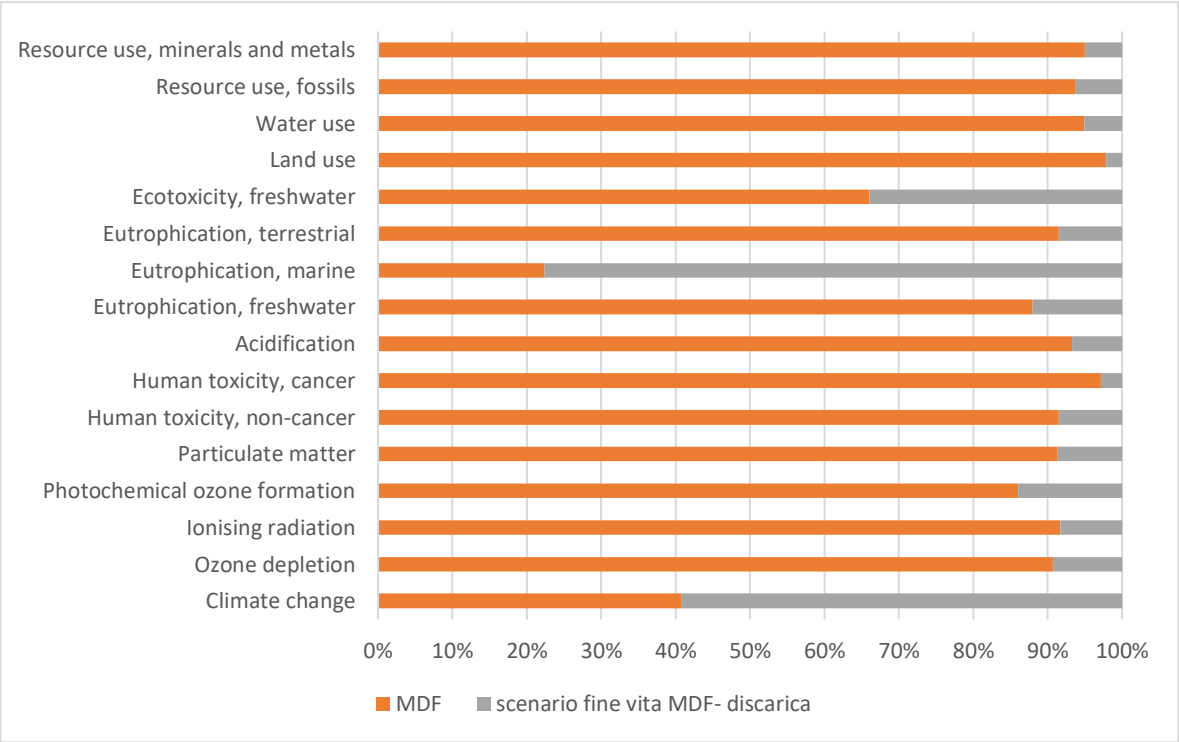


Figura 11 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1m3 di MDF) – confronto tra fase di produzione dell'MDF e scenario di fine vita (discarica)

Tabella 6 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1m3 di MDF) – confronto tra fase di produzione dell'MDF e scenario di fine vita (incenerimento)

Categoria d'impatto	Unità	Totale	MDF	scenario fine vita MDF- incenerimento
Climate change	kg CO2 eq	2227,043	1115,079552	1111,963119
Ozone depletion	kg CFC11 eq	8,42E-05	7,5118E-05	9,05862E-06
Ionising radiation	kBq U-235 eq	54,16452	51,07930338	3,085220443
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	5,34662	4,61698118	0,729639208
Particulate matter	disease inc.	5,29E-05	4,71965E-05	5,65433E-06
Human toxicity, non-cancer	CTUh	4,74E-05	3,55004E-05	1,18926E-05
Human toxicity, cancer	CTUh	2,62E-06	2,31143E-06	3,04603E-07
Acidification	mol H+ eq	6,001142	5,326846141	0,674295815
Eutrophication, freshwater	kg P eq	0,340887	0,256006143	0,084881261
Eutrophication, marine	kg N eq	1,441225	1,09612475	0,345100145
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	14,14325	11,19053864	2,952708148
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	27097,7	21262,43636	5835,267638
Land use	Pt	70799,5	69964,86493	834,6318688
Water use	m3 depriv.	586,1602	481,4422158	104,7179808
Resource use, fossils	MJ	11700,92	10994,00318	706,9150604
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	0,014967	0,00677614	0,008191299

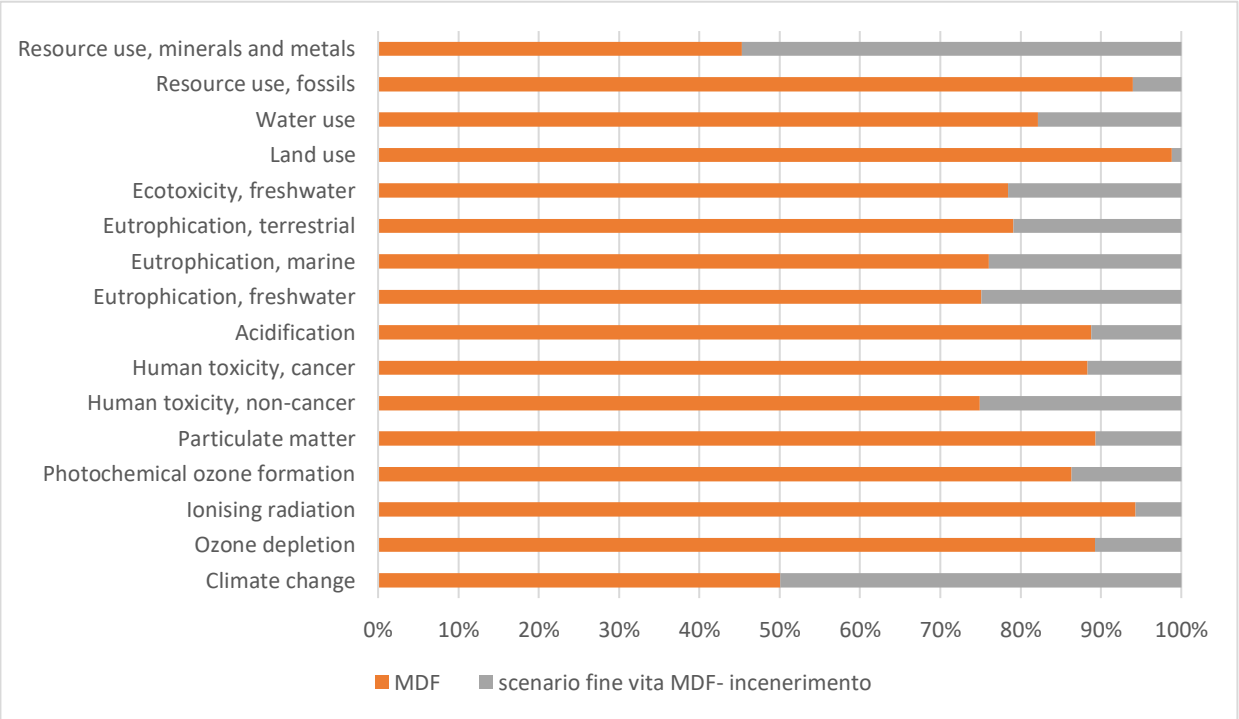


Figura 12 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1m3 di MDF) – confronto tra fase di produzione dell'MDF e scenario di fine vita (incenerimento)

2.3.2 Valutazione impatti dei contributi relativi alla fase di wood preparation

Tabella 7 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1m3 di MDF) - analisi contributi relativi alla fase di wood preparation, che è quella più impattante

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	O	P	Q	R
1	XC	Unità	Totale	resinated fibres	Wood chips	Wood chips	Saw dust,	Urea form	Urea, as N	Paraffin {G	Ammoniur	Electricity,	Heat,	Transport, truck 10-20t, EURO3, 80%LF			
2	Climate change	kg CO2 eq	1003,885354	216,6334	97,235364	17,583558	1,961165	113,178	4,765913	1,747632	0,450319	112,1268	383	46,40081			
3	Ozone depletion	kg CFC11 eq	6,56865E-05	0	1,156E-05	3,574E-06	2,91E-07	1,93E-05	7,42E-07	7,42E-08	4,07E-08	1,7E-05	0	7,17E-08			
4	Ionising radiation	kBq U-235 eq	44,1384403	0	15,998133	1,3167485	0,182888	6,429562	0,234057	0,042576	0,023461	13,94866	5,83	0,113943			
5	Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	4,211930342	0,729294	0,430464	0,1681704	0,017808	0,314383	0,010072	0,0093	0,001403	0,26013	1,66	0,528584			
6	Particulate matter	disease inc.	4,35725E-05	0,000001136	8,351E-06	7,359E-07	1,41E-07	1,24E-05	6,28E-07	1,42E-07	3,13E-08	2,18E-06	0	1,3E-06			
7	Human toxicity, non-cancer	CTUh	3,08078E-05	3,59898E-09	1,148E-06	3,524E-07	4,3E-08	1,59E-06	5,72E-08	2,07E-08	1,18E-08	6,99E-07	0	2,2E-07			
8	Human toxicity, cancer	CTUh	1,97316E-06	2,90752E-07	2,876E-07	1,432E-08	1,89E-09	1,19E-06	2,23E-09	8,12E-10	4,03E-10	2,47E-08	0	1,34E-08			
9	Acidification	mol H+ eq	4,736809868	0,04615	0,6210499	0,0824132	0,011661	0,783029	0,034952	0,014748	0,003252	0,568604	2,1	0,405492			
10	Eutrophication, freshwater	kg P eq	0,221955227	0	0,03847	0,0040371	0,000656	0,02186	0,000692	0,00036	0,000167	0,03173	0,12	1,75E-05			
11	Eutrophication, marine	kg N eq	1,025710442	0,27619	0,1032138	0,0298263	0,003813	0,092767	0,003666	0,00255	0,000399	0,089092	0,2	0,197192			
12	Eutrophication, terrestrial	mol N eq	10,43152318	1,0508	1,2996753	0,3054194	0,040062	2,063031	0,097429	0,027705	0,004367	0,980606	2,05	2,162032			
13	Ecotoxicity, freshwater	CTUe	18411,41952	3,95692	1768,994	203,20346	33,67853	2017,757	70,56051	37,16104	17,39907	1904,675	####	37,77186			
14	Land use	Pt	67411,9234	0	9555,8483	42425,214	3632,577	1096,4	35,21405	18,27021	8,482576	3024,938	7615	0			
15	Water use	m3 depriv.	433,0342327	0	57,246368	2,3080099	0,347799	209,537	11,10388	1,148942	0,060054	89,05558	62	0,177653			
16	Resource use, fossils	MJ	9780,423731	0	1679,4896	240,06191	26,0724	2153,023	76,79064	120,7267	5,851276	1663,438	3034	652,6063			
17	Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	0,006539839	0	0,0018199	0,000207	4,21E-05	0,002945	9,18E-05	4,31E-05	0,000518	0,000351	0	1,84E-06			

Gli impatti nel "climate change" mostrati in Fig.13 sono rappresentativi del trand generale degli impatti di ciascun contributo, relativo alla fase di wood preparation, che è quella più impattante nella produzione di pannelli MDF.
Possiamo quindi notare che i contributi più significativi sono quelli dell'energia termica ed elettrica necessari al processo e i trasporti medi che abbiamo preso in considerazione. Mentre per quanto riguarda le risorse e le materie prime, sono i trucioli di legno e la resina di urea formaldeide (quest'ultima verrà studiata nello specifico nel capitolo 3).

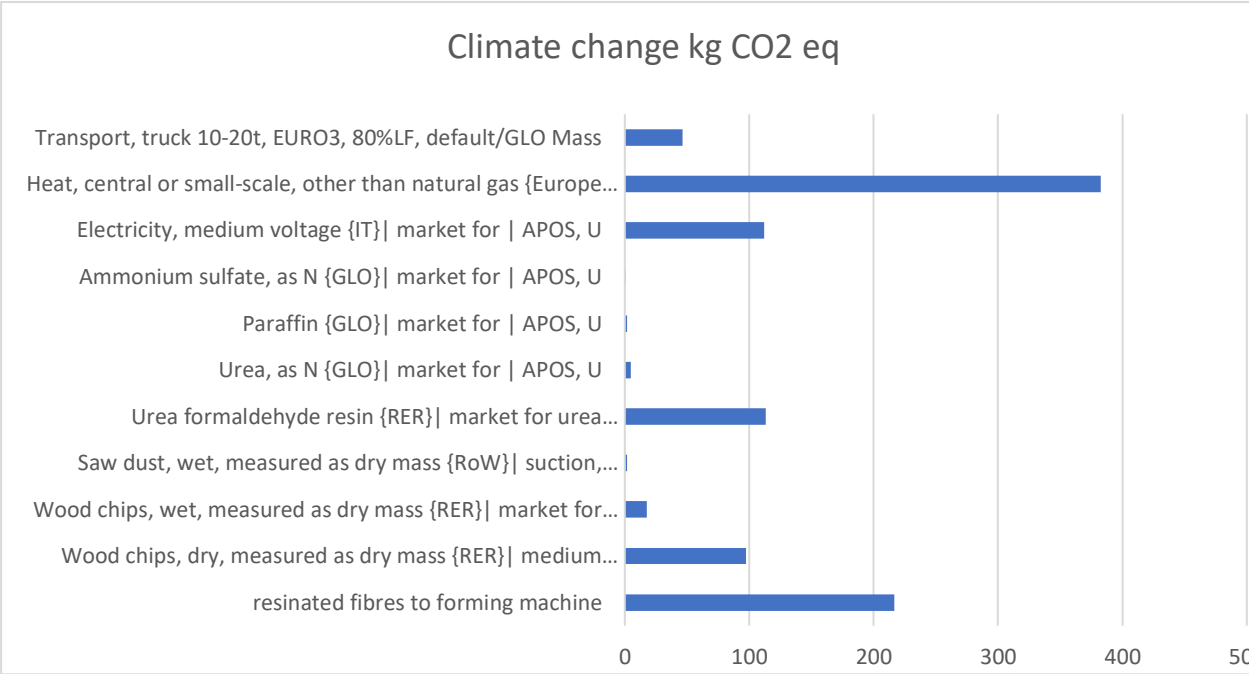


Figura 13 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1m3 di MDF) - analisi contributi relativi alla fase di wood preparation, che è quella più impattante – "climate change"

3 Caso studio: analisi LCA di prodotti a base di resina UF

3.1 Obiettivo e campi di applicazione

L'obiettivo di questa seconda analisi è quello di valutare l'impatto ambientale, tramite analisi LCA, della resina di urea formaldeide (UF), impiegata nella produzione di Copriwater in UF, da parte dell'azienda Eurocornici srl. L'urea termoindurente resiste a prove di rottura estreme, a graffi e abrasioni. È impermeabile e non infiammabile. Rende la superficie del sedile WC estremamente rigida e liscia. In più, grazie alla sua non porosità garantisce sempre il massimo dell'igiene. Tutto ciò assicura ai copriwater realizzati con questo materiale una qualità che rimane inalterata anche dopo anni di frequente utilizzo.

In figura è mostrato il processo di stampaggio a compressione mediante il quale sono realizzati questi copriwater.

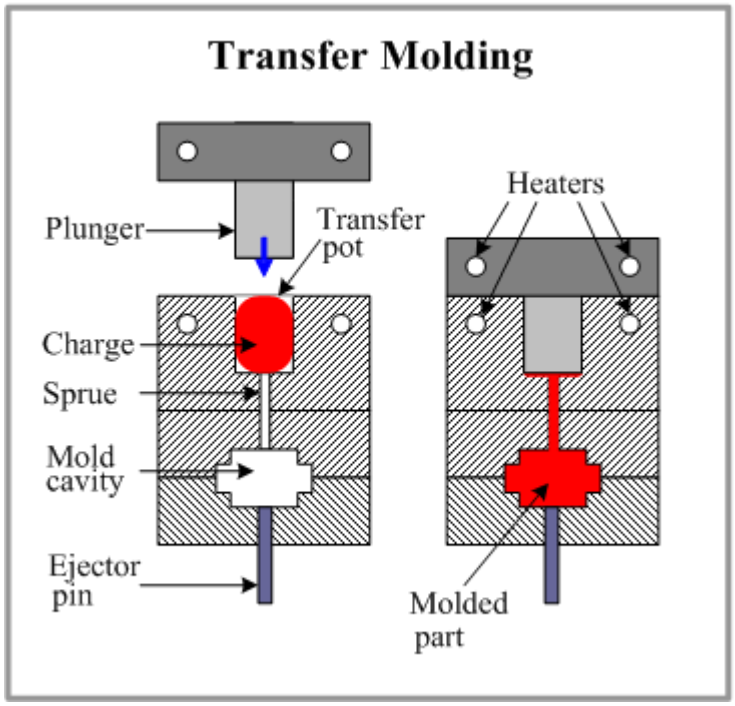


Figura 14 Processo di stampaggio a compressione che subisce la resina UF

3.1.1 Unità funzionale

L'unità funzionale per tutti i dati è 1,0 kg di resina liquida al suo contenuto di solidi non volatili dichiarato; l'unità funzionale per la resina UF è di 1,0 kg al 65% di solidi.

3.1.2 Descrizione del sistema analizzato

La resina urea formaldeide (UF) è una resina termoindurente opaca prodotta riscaldando urea e formaldeide in una soluzione di ammoniaca o piridina. È ampiamente utilizzato come materiale da stampaggio e componente di adesivi e finiture protettive. L'industria dei pannelli di fibra è un grande consumatore di questa resina, dove viene utilizzata come legante. Le resine di formaldeide sono polimeri estremamente tenaci e resistenti ai graffi che si prestano idealmente a una serie di applicazioni domestiche e industriali. La resina UF possiede un'eccellente resistenza alla trazione, flessibilità e resistenza alla distorsione termica. Nonostante i suoi numerosi attributi positivi, può rilasciare gas di formaldeide in determinate condizioni. Queste resine sono disponibili come liquidi viscosi o come polveri essiccate a spruzzo che richiedono l'aggiunta di acqua prima dell'uso. Catalizzatore, calore e pressione possono essere necessari per indurire le resine UF.

I processi di produzione delle resine iniziano con la conversione del metanolo tramite ossidazione catalitica, in un recipiente del reattore, per produrre una forma acquosa di formaldeide (Fig. 15). Il metanolo viene vaporizzato mediante riscaldamento, miscelato con aria e quindi introdotto in un recipiente contenente un catalizzatore metallico di argento o molibdeno-ossido di ferro in quantità molto piccole. All'uscita dal reattore, la formaldeide viene raffreddata e quindi inviata all'assorbitore per produrre una soluzione acquosa. Il calore viene recuperato durante questo processo e utilizzato altrove all'interno del processo. La resina di formaldeide viene quindi prodotta in un reattore batch facendo reagire formaldeide con urea, melamina, fenolo, resorcinolo o una combinazione di questi. Il processo di reazione prevede il riscaldamento della miscela e il controllo della temperatura, del pH, del rapporto molare e della velocità di carica fino al raggiungimento del grado di polimerizzazione desiderato. L'acido formico, il solfato di ammonio e

l'idrossido di sodio vengono utilizzati durante il processo di UF e MUF principalmente per regolare il pH; La reazione viene cessata e quindi raffreddata. Se necessario, l'acqua viene rimossa per fornire la percentuale desiderata di solidi di resina. La maggior parte dell'acqua di processo viene riciclata e utilizzata all'interno del processo di produzione; ad esempio, l'acqua in eccesso generata nella produzione di resina UF può essere utilizzata per la resina PF. All'interno di questi processi integrati viene utilizzata una quantità significativa di acqua e vapore in eccesso, ne risulta un uso molto efficiente delle risorse e ridotte emissioni. Nella produzione di resina vengono generati pochissimi rifiuti. Gli impianti di produzione generalmente utilizzavano strumenti di controllo delle emissioni - ossidanti termici rigenerativi (RTO), ossidanti catalitici rigenerativi (RCO) e scrubber a umido - per ridurre il tipo e la percentuale di alcune emissioni. RTO e RCO richiedono l'uso aggiuntivo di elettricità e gas naturale per il loro funzionamento.

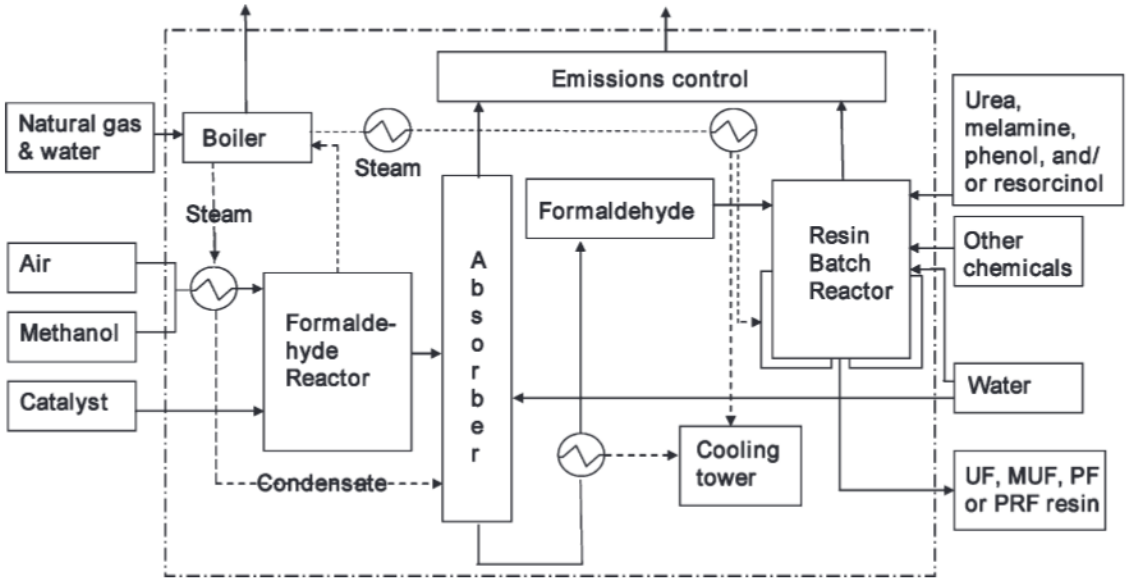


Figura 15 Un diagramma di flusso di processo generico per la produzione di urea–formaldeide (UF), melamina–urea–formaldeide (MUF), fenolo–formaldeide (PF) e fenolo–resorcina–formaldeide

La figura 16 fornisce il confine del sistema (dalla culla alla tomba) che va dalle risorse interrate al prodotto finito, includendo tutti gli input e le emissioni in loco.

Vengono presi in considerazione tutti gli impatti, compresi quelli per la produzione e la consegna di sostanze chimiche in ingresso, combustibili ed elettricità da risorse grezze. La produzione di vari input per il processo della resina può comportare molte fasi di lavorazione.

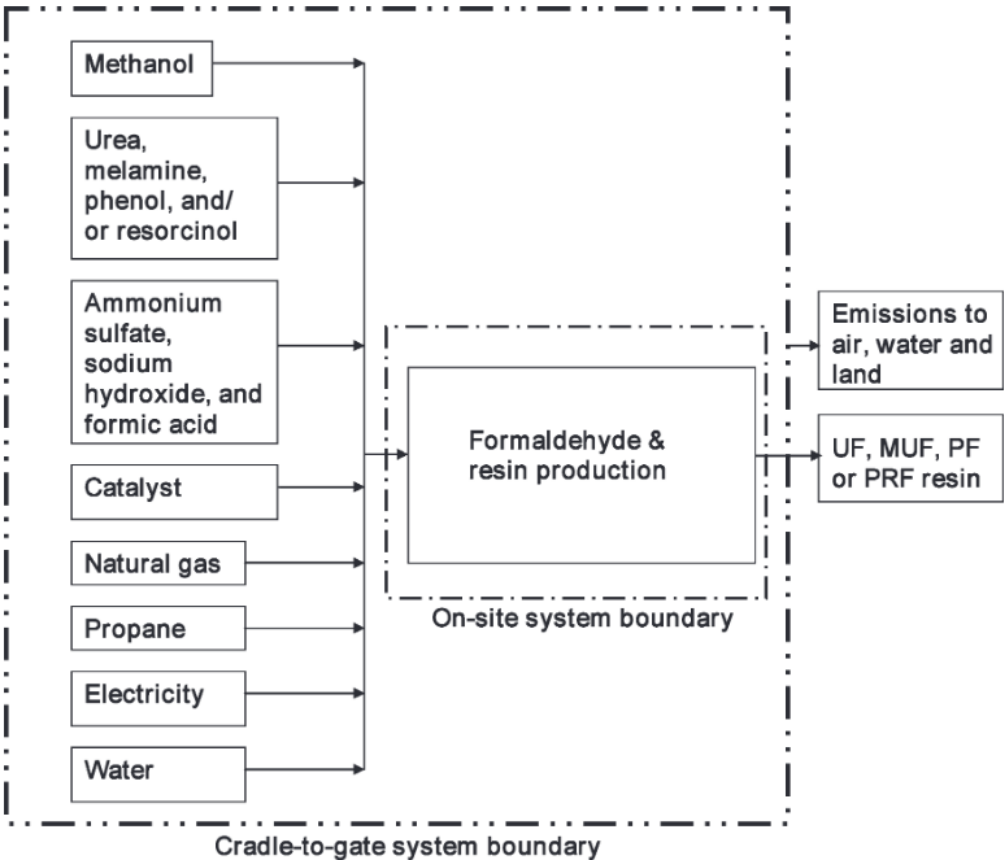


Figura 16 Un diagramma di flusso di processo generico per la produzione di urea–formaldeide (UF), melamina–urea–formaldeide (MUF), fenolo–formaldeide (PF) e fenolo–resorcina–formaldeide - confini del sistema

L'LCI di molte delle sostanze chimiche in ingresso e dell'elettricità inizia con gas naturale o petrolio greggio (entrambe fonti di combustibili fossili) come materia prima. Le sostanze chimiche primarie per le resine includono metanolo, urea, fenolo, melamina e resorcina. Il metanolo, CH3OH, il più semplice degli alcoli, è prodotto dalla materia prima gas naturale. L'urea, (NH2)2CO, è prodotta dall'ammoniaca che a sua volta si basa sulla materia prima gas naturale. Il fenolo, C6H5OH, inizia con il petrolio greggio come materia prima, ma passa attraverso diverse fasi di produzione dall'olio al benzene, dal benzene al cumene e dal cumene

al fenolo per completare il processo. Anche la melamina, C3H6N6, è a base di gas naturale come materia prima perché è prodotta dall'urea.
Il resorcinolo, C6H4(OH)2, è prodotto dalla materia prima del petrolio greggio. Oltre all'uso di gas naturale e petrolio greggio come materia prima per la produzione di questi prodotti chimici, vengono utilizzati combustibili fossili aggiuntivi per il trasporto, il calore di processo e la generazione di elettricità utilizzata nella loro fabbricazione.

3.1.3 Data quality

Tutti i dati relativi agli ingressi e alle uscite dei processi sono stati ottenuti dall' articolo "LIFE-CYCLE INVENTORY OF FORMALDEHYDE-BASEDRESINS USED IN WOOD COMPOSITES IN TERMS OF RESOURCES, EMISSIONS, ENERGY AND CARBON" (Wood and Fiber Science, 42(CORRIM Special Issue), 2010, pp. 125–143 by the Society of Wood Science and Technology). In questo articolo è stato condotto un LCI per la produzione di resine UF, MUF, PF e PRF negli Stati Uniti per l'uso nell'industria dei compositi in legno; tuttavia, alcuni dati sulla produzione canadese possono essere inclusi perché l'industria della resina è strettamente legata tra i due paesi. Questo studio copre gli impatti ambientali dalle risorse di materie prime come gas naturale e petrolio greggio nel terreno fino alla produzione della resina nella sua forma liquida spedita al cliente. I dati di produzione per ciascuna resina sono stati raccolti da un'indagine dell'industria; i dati includevano anche il trasporto delle sostanze chimiche in ingresso ai loro impianti di produzione. Questo studio considera gli impatti nella produzione di resine, documentando tutti gli input di materiali, combustibili ed elettricità e tutte le uscite del prodotto e le emissioni nell'aria, nell'acqua e nel suolo. I dati primari sono stati raccolti tramite questionario di indagine diretta dei produttori di resine. Sono stati ottenuti dati secondari supplementari per gli impatti associati alla fabbricazione, consegna e consumo di elettricità, combustibili e trasporti (FAL 2004; PRe´ Consultants 2007; USDOE 2007).

3.2 Analisi di inventario

È stato condotto un questionario di indagine sui produttori di resine per raccogliere dati sulla produzione del 2005, in termini di sostanze chimiche in ingresso, elettricità, consumo di carburante e output di resina ed emissioni (Wilson 2009). I dati sulla resina UF riguardavano 16 impianti e rappresentavano il 70% della produzione totale degli Stati Uniti.
Le tabelle seguenti forniscono le materie prime e le risorse di input di energia e le emissioni di output nell'aria, nell'acqua e nel terreno per l'inventario dalla culla alla tomba. Le materie prime interrate includono carbone, gas naturale, calcare, petrolio greggio, uranio, uso dell'acqua e altri. I materiali di quantità inferiori a 1,0E-06 kg/kg di resina non sono inclusi nell'elenco. Poiché gli studi sul ciclo di vita implicano il risalire dall'uso delle risorse alle materie prime, alcuni materiali o sostanze possono comportare molti passaggi per tornare alla loro fonte, che si traducono nell'uso di un gran numero di sostanze, molte di quantità insignificanti. Per questo studio è stato utilizzato un filtro per rimuovere le sostanze insignificanti dall'elenco. Il filtro variava a seconda che l'emissione fosse nell'aria, nell'acqua o nel terreno. L'eccezione riguardava le sostanze che sono altamente tossiche come uranio, piombo e mercurio (generalmente dalla produzione di elettricità) dove sono stati mostrati valori inferiori al valore limite. Alcune fonti di energia o combustibili non possono essere ricondotte alla loro risorsa originale nel terreno. Tali energie comprendono l'energia idroelettrica, l'elettricità da altri gas e l'elettricità da fonti rinnovabili, che non sono definite in termini di combustibili identificabili e sono espresse in MJ/kg di resina. Le emissioni per lo scenario cradle-to-gate sono elencate nelle tabelle. Le emissioni nell'aria e nell'acqua utilizzavano un valore limite di 1,0E-06 kg/kg di resina e le emissioni di tipo irraggiamento avevano un valore limite di 1,0E+00 Bq/kg di resina. Le emissioni sulla terraferma hanno utilizzato un cutoff di 1,0E-06 kg/kg di resina. Vengono inoltre riportate alcune emissioni a causa della loro tossicità, sebbene in quantità inferiori al valore di cutoff. Le materie prime e le emissioni per un inventario dalla culla alla tomba sono in generale molto maggiori di quelle risorse ed emissioni che si verificano nel vero e proprio sito di produzione della resina; questo vale per tutti i processi.
L'energia incorporata per produrre le varie resine può essere fornita in diversi formati. Per questo studio è utile esaminare la scomposizione dell'energia sia in termini di fonte di combustibile e materie prime nel terreno, sia in termini di contributo energetico delle varie sostanze in ingresso. Ad esempio, la produzione

di 1,0 kg di resina UF richiede 29,35 MJ di energia incorporata basata sul potere calorifico dei vari combustibili e materie prime. Il gas naturale fornisce il 71% dell'energia seguita dal greggio (22%) e dal carbone (6,1%); tutte le altre fonti sono minori. Più gas naturale viene utilizzato per le resine ureiche perché è la principale materia prima e fonte di combustibile.

Tabella 8 Inventario per la produzione di 1kg di resina liquida al suo contenuto di solidi

Output noti a tecnosfera. Prodotti e coprodotti	Quantità fisica	Unità di n
liquid urea formaldehyde resin	1	kg
(Inserisci linea qui)		

Output noti a tecnosfera. Prodotti evitati	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	Max	Commento
(Inserisci linea qui)							

Input			
Input noti da natura (risorse)	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi
Aluminium		4.69E-5	kg
Barite		1.33E-6	kg
Calcite		9.66E-4	kg
Carbon dioxide, in air		2.74E-5	kg
Clay, unspecified		2.02E-4	kg
Coal, 26.4 MJ per kg		6.79E-2	kg
Coal, brown		1.88E-4	kg
Coal, hard		1.53E-4	kg
Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crude ore		1.04E-6	kg
Copper, 1.18% in sulfide, Cu 0.39% and Mo 8.2E-3% in crude ore		5.79E-6	kg
Copper, 1.42% in sulfide, Cu 0.81% and Mo 8.2E-3% in crude ore		1.53E-6	kg
Copper, 2.19% in sulfide, Cu 1.83% and Mo 8.2E-3% in crude ore		7.61E-6	kg
Energy, gross calorific value, in biomass		2.81E-4	MJ
Energy, kinetic (in wind), converted		7.61E-5	MJ
Energy, potential (in hydropower reservoir), converted		7.86E-3	MJ
Energy, solar, converted		1.12E-6	MJ
Fluorspar		1.62E-6	kg
Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3		1.15E-6	m3
Gas, natural, 46.8 MJ per kg		3.84E-1	kg
Gas, natural/kg		7.83E-5	kg
Gravel		7.72E-3	kg
Iron ore		8.35E-6	kg
Limestone		3.92E-3	kg
Molybdenum, 0.022% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.22% in crude ore		3.00E-6	kg
Molybdenum, 0.11% in sulfide, Mo 0.41% and Cu 0.36% in crude ore		6.05E-6	kg
Nickel, 1.13% in sulfides, 0.76% in crude ore		2.63E-4	kg

Nickel, 1.15% in sulfides, 0.76% in crude ore		2.65E-4	kg
Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore		1.30E-6	kg
Oil, crude		1.42E-1	kg
Oil, crude, 42 MJ per kg		3.06E-4	kg
Sodium chloride		4.76E-4	kg
Uranium		2.90E-7	kg
Uranium, 2291 GJ per kg		8.45E-9	kg
Water, cooling, unspecified natural origin, IT		2.76E0	m3
Water, lake, IT		9.40E-5	m3
Water, process, drinking		2.93E-1	kg
Water, process, unspecified natural origin/kg		4.20E-1	kg
Water, process, well		8.00E-2	kg
Water, river, IT		1.29E-2	m3
Water, salt, ocean		6.62E-4	m3
Water, salt, sole		2.23E-4	m3
Water, unspecified natural origin, IT		6.52E-1	m3
Water, well, IT		3.45E-2	m3
Wood and wood waste, 9.5 MJ per kg		2.83E-4	kg
Wood, hard, standing		2.06E-6	m3
Wood, soft, standing		1.15E-5	m3
Zinc		1.11E-5	kg
(Inserisci linea qui)			

Input noti da tecnosfera (materiali/combustibili)	Quantità fisica	Unità di mi	Dist
(Inserisci linea qui)			

Input noti da tecnosfera (elettricità/calore)	Quantità fisica
Electricity, medium voltage {IT}| market for | APOS, U	8.43E-2
(Inserisci linea qui)	

Output

Emissioni nell'aria	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SD	Min	M
Acetic acid		4.84E-6	kg	Non definit			
Aldehydes, unspecified		1.93E-5	kg	Non definit			
Aluminium		4.56E-6	kg	Non definit			
Ammonia		1.64E-3	kg	Non definit			
Benzene		5.43E-6	kg	Non definit			

Butane		9.50E-6	kg
Carbon dioxide, biogenic		4.53E-4	kg
Carbon dioxide, fossil		1.52E0	kg
Carbon disulfide		1.92E-6	kg
Carbon monoxide		2.03E-3	kg
Carbon monoxide, fossil		1.40E-3	kg
Dimethyl ether		2.18E-5	kg
Dinitrogen monoxide		1.04E-5	kg
Ethanol		1.41E-6	kg
Formaldehyde		1.13E-5	kg
Heat, waste		2.21E1	MJ
Hydrocarbons, aliphatic, alkenes, unspecified		2.82E-6	kg
Hydrogen chloride		1.91E-5	kg
Hydrogen fluoride		2.38E-6	kg
Lead		3.00E-9	kg
Mercury		6.77E-9	kg
Methane		2.82E-3	kg
Methane, biogenic		2.14E-6	kg
Methane, fossil		6.81E-4	kg
Methanol		1.73E-4	kg
Methyl formate		1.25E-6	kg
Nickel		3.24E-6	kg
Nitrogen oxides		3.40E-3	kg
NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified o		4.48E-3	kg
Noble gases, radioactive, unspecified		1.42E2	kBq
Organic substances, unspecified		6.40E-5	kg
Particulates		2.31E-6	kg
Particulates, < 10 um		1.54E-4	kg
Particulates, < 2.5 um		5.51E-4	kg
Particulates, > 10 um		4.28E-4	kg
Particulates, > 2.5 um, and < 10um		2.17E-4	kg
Particulates, unspecified		2.11E-4	kg
Pentane		1.63E-5	kg
Propane		2.87E-6	kg
Radioactive species, unspecified		3.24E3	kBq
Radon-222		2.71E2	kBq

Propane		2.87E-6	kg
Radioactive species, unspecified		3.24E3	kBq
Radon-222		2.71E2	kBq
Sodium		3.52E-6	kg
Sulfur dioxide		2.99E-4	kg
Sulfur oxides		1.44E-2	kg
Toluene		2.85E-6	kg
Vanadium		1.22E-5	kg
VOC, volatile organic compounds, unspecified origin		5.14E-5	kg
Water		6.53E-6	kg
(Inserisci linea qui)			

Emissioni in acqua	Sottocompartiment	Quantità fisica	Unità di misu
Aluminium		3.54E-6	kg
Ammonia, as N		1.21E-4	kg
Ammonium, ion		1.71E-4	kg
BOD5, Biological Oxygen Demand		7.03E-4	kg
Boron		6.95E-6	kg
Calcium		3.20E-5	kg
Chloride		1.01E-3	kg
COD, Chemical Oxygen Demand		3.87E-4	kg
DOC, Dissolved Organic Carbon		8.91E-5	kg
Formaldehyde		1.04E-4	kg
Heat, waste		1.26E-1	MJ
Hydrogen-3, Tritium		6.33E0	kBq
Iron		14.19E-6	kg
Lead		6.08E-8	kg
Manganese		5.34E-6	kg
Mercury		2.82E-10	kg
Metallic ions, unspecified		3.32E-6	kg
Methanol		9.30E-6	kg
Nickel		1.40E-6	kg
Nitrogen		5.78E-5	kg
Oils, unspecified		3.64E-4	kg
Organic substances, unspecified		5.94E-5	kg
Phenol		3.11E-6	kg
Phosphorus		2.10E-6	kg

Hydrogen-3, Tritium		6.33E0		kBq	
Iron		14.19E-6		kg	
Lead		6.08E-8		kg	
Manganese		5.34E-6		kg	
Mercury		2.82E-10		kg	
Metallic ions, unspecified		3.32E-6		kg	
Methanol		9.30E-6		kg	
Nickel		1.40E-6		kg	
Nitrogen		5.78E-5		kg	
Oils, unspecified		3.64E-4		kg	
Organic substances, unspecified		5.94E-5		kg	
Phenol		3.11E-6		kg	
Phosphorus		3.10E-6		kg	
Silicon		3.41E-4		kg	
Sodium		2.89E-5		kg	
Solids, inorganic		2.24E-4		kg	
Solved substances, inorganic		2.04E-2		kg	
Sulfate		8.49E-4		kg	
Sulfuric acid		1.73E-6		kg	
Suspended solids, unspecified		6.63E-4		kg	
(Inserisci linea qui)					
Emissioni nel terreno	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^
Oils, unspecified		1.24E-6	kg	Non definit	
(Inserisci linea qui)					
Flussi dei rifiuti finali	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^
Waste, solid		6.77E-2	kg	Non definit	
(Inserisci linea qui)					
Emissioni non materiali	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^
(Inserisci linea qui)					
Temi sociali	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^
(Inserisci linea qui)					
Temi economici	Sottocompartimento	Quantità fisica	Unità di mi	Distribuzion	SD^
(Inserisci linea qui)					
Output noti a tecnosfera. Rifiuto ed emissioni al trattamento					
(Inserisci linea qui)					

3.3 Valutazione degli impatti e interpretazione dei risultati

3.3.1 Valutazione impatti degli scenari di fine vita

	A	B	C	D	E
13	Sorted on item:	Categoria d'impatto			
14	Sort order:	Ascendente			
15					
16	Categoria d'impatto	Unità	Totale	urea	scenario fine vita urea
17	Climate change	kg CO2 eq	2,430131775	1,669127803	0,761003972
18	Ozone depletion	kg CFC11 eq	5,23268E-09	1,609E-09	3,62368E-09
19	Ionising radiation	kBq U-235 eq	0,312567933	0,31039741	0,002170524
20	Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	0,009612624	0,009261507	0,000351117
21	Particulate matter	disease inc.	2,9965E-07	2,97539E-07	2,11051E-09
22	Human toxicity, non-cancer	CTUh	4,47141E-09	2,91956E-09	1,55185E-09
23	Human toxicity, cancer	CTUh	2,7071E-10	2,39319E-10	3,13912E-11
24	Acidification	mol H+ eq	0,026958132	0,026778378	0,000179754
25	Eutrophication, freshwater	kg P eq	2,25208E-05	6,10709E-06	1,64137E-05
26	Eutrophication, marine	kg N eq	0,003402304	0,001614961	0,001787343
27	Eutrophication, terrestrial	mol N eq	0,037156972	0,036667734	0,000489237
28	Ecotoxicity, freshwater	CTUe	7,993093625	2,860573688	5,132519937
29	Land use	Pt	1,003032294	0,286680428	0,716351866
30	Water use	m3 depriv.	155,3857985	155,37378	0,012018499
31	Resource use, fossils	MJ	26,59878576	26,25826436	0,340521395
32	Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	4,07502E-07	2,3946E-07	1,68042E-07
33					
34					

Tabella 9 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1kg of liquid resin)-scenario di fine vita-discarica

Durante la fase di modellazione su Simapro, è stato modellato uno scenario di fine vita, ovvero uno smaltimento in discarica. Nel caso di produzione di resina UF vediamo come, a differenza del caso dell'MDF, lo scenario di fine vita è molto impattante in termini percentuali rispetto agli impatti totali della fabbricazione della resina. Questo è dovuto al fatto che i rifiuti dovuti allo smaltimento della resina sono molto nocivi per la "qualità dell'ecosistema", infatti categorie quali "Land use", "Ecotoxicity" e "Eutrophication" si aggirano attorno al 70%. Inoltre incidono molto gli impatti nelle categorie "Ozone depletion" e "Climate Change". Ciò è dovuto al fatto che il metano (CH4) è il gas climalterante maggiormente prodotto dal settore "Rifiuti" e in quanto tale va ad incidere nei fenomeni di riduzione dell'ozonosfera e di riscaldamento del sistema climatico dovuto alle attività umane.

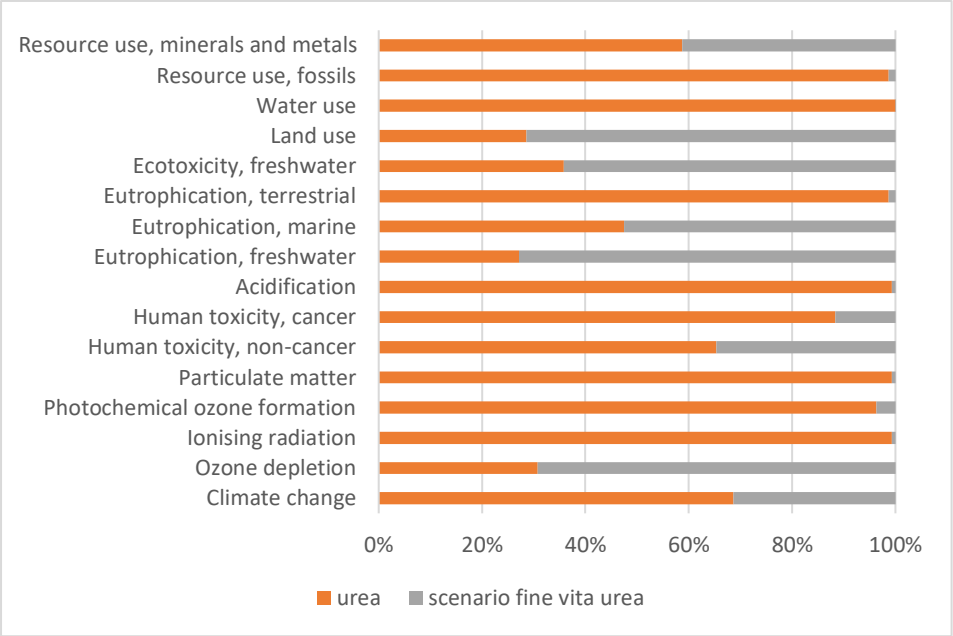


Figura 17 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1kg of liquid resin)- scenario di fine vita-discarica

3.3.2 Valutazione impatti-analisi profilo elettrico

Tabella 10 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1kg of liquid resin)- profilo elettrico

16	Categoria d'impatto	Unità	Totale	liquid urea formaldehyde resin	Electricity, medium voltage {IT}| market for | APOS, U
17	Climate change	kg CO2 eq	1,669127803	1,658501282	0,010626521
18	Ozone depletion	kg CFC11 eq	1,609E-09	0	1,609E-09
19	Ionising radiation	kBq U-235 eq	0,31039741	0,309075462	0,001321948
20	Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	0,009261507	0,009236854	2,46531E-05
21	Particulate matter	disease inc.	2,97539E-07	2,97333E-07	2,06277E-10
22	Human toxicity, non-cancer	CTUh	2,91956E-09	2,85331E-09	6,62452E-11
23	Human toxicity, cancer	CTUh	2,39319E-10	2,36974E-10	2,34421E-12
24	Acidification	mol H+ eq	0,026778378	0,02672449	5,3888E-05
25	Eutrophication, freshwater	kg P eq	6,10709E-06	0,0000031	3,00709E-06
26	Eutrophication, marine	kg N eq	0,001614961	0,001606518	8,44342E-06
27	Eutrophication, terrestrial	mol N eq	0,036667734	0,0365748	9,29343E-05
28	Ecotoxicity, freshwater	CTUe	2,860573688	2,680063217	0,180510471
29	Land use	Pt	0,28668043	0	0,28668043
30	Water use	m3 depriv.	155,37378	155,36534	0,008440006
31	Resource use, fossils	MJ	26,25826436	26,10061645	0,157647911
32	Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	2,3946E-07	2,062E-07	3,32605E-08

L'energia elettrica necessaria al processo di produzione di resina è poco impattante in percentuale nel processo stesso, eccetto che per tre categorie d'impatto. Tra questi abbiamo "Land use", ossia l'uso del suolo che implica la gestione e la modifica dell'ambiente naturale, dovuto chiaramente alla presenza di impianti di generazione e distribuzione di energia elettrica; l'altro è "Ozone depletion", ossia la riduzione dell'ozonosfera, dovuto al rilascio dei gas serra in atmosfera, in particolare quelli prodotti dalla combustione di combustibili fossili in centrali termoelettriche.

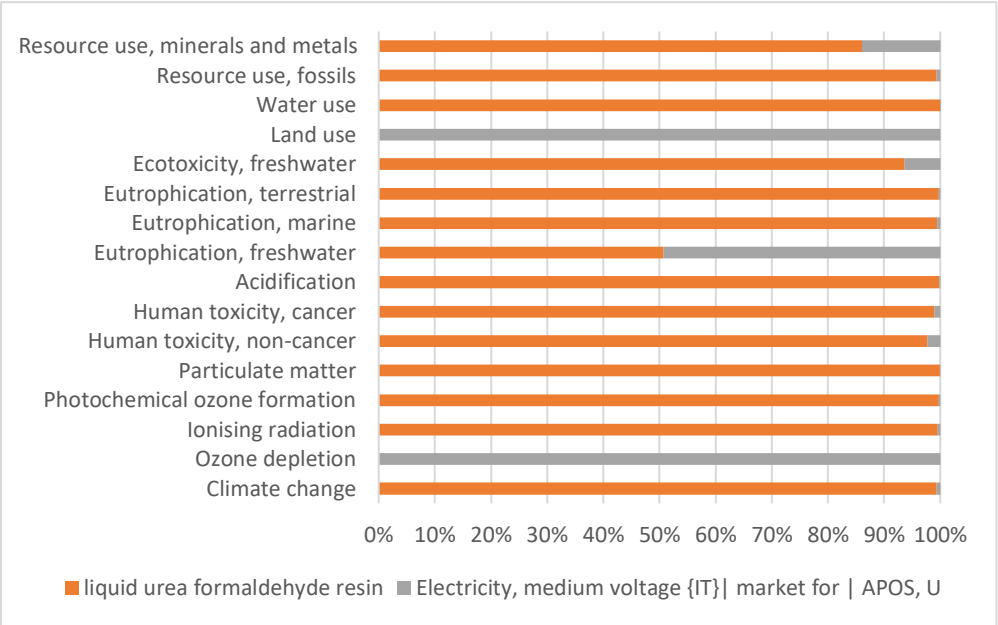


Figura 18 Valutazione degli impatti relativi all'unità funzionale (1kg of liquid resin)- profilo elettrico

4 Comparazione degli impatti dei due materiali

4.1 Valutazione e confronto degli impatti dei due materiali

Rapportando i risultati, che sopra sono stati riportati, alla massa effettiva del copriwater in MDF (2,7kg) e a quella del copriwater in resina UF (2,2Kg), otteniamo i valori nelle due colonne evidenziate nella tabella 11, che ci permettono di confrontare gli impatti dei due materiali per ciascuna categoria d'impatto. È da specificare che per confrontare al meglio i due materiali, sono stati presi in considerazione gli stessi scenari di fine vita, ovvero lo smaltimento in discarica. Inoltre, per facilitare la comprensione di quest'analisi e confronto, è stata fatto un raggruppamento dei parametri più significativi in tre macrocategorie:

- "Climate change", misurato in kg di CO2 eq., "particulate matter", ovvero l'insieme delle sostanze solide o liquide sospese in aria e "human toxicity", misurato in CTuh (Comparative Toxic Unit for human) rientrano nella categoria "**salute umana**".
- "Acidification", ovvero l'acidificazione degli oceani dovuta alla decrescita del valore del pH oceanico causato dall'assunzione di anidride carbonica di origine antropica dall'atmosfera; "Eutrophication", che è l'accrescimento degli organismi vegetali, che si ha per effetto della presenza nell'ecosistema acquatico di dosi troppo elevate di sostanze nutritive come azoto, fosforo o zolfo, provenienti da fonti naturali o antropiche; "Ecotoxicity", misurato in CTUe (comparative toxic unit ecotoxicity). Questi sono i tre parametri che misurano la "**qualità dell'ecosistema**".
- "Land use", "Water use" e "Resource use, fossils" sono le "**risorse**".

Tabella 11 Valutazione e confronto degli impatti relativi alle unità funzionali e rapportati alle masse effettive dei copriwater

Categoria d'impatto	Unità	totale urea	urea	scenario fine vita urea	UF resin	MDF	totale MDF	MDF	scenario fine vita MDF- discarica
Climate change	kg CO2 eq	2,430131775	1,669127803	0,761003972	5,34629	12,01977	2737,836815	1115,08	1622,757
Ozone depletion	kg CFC11 eq	5,23268E-09	1,609E-09	3,62368E-09	1,15E-08	3,64E-07	8,28451E-05	7,51E-05	7,73E-06
Ionising radiation	kBq U-235 eq	0,312567933	0,31039741	0,002170524	0,687649	0,24457	55,70770721	51,0793	4,628403
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	0,009612624	0,009261507	0,000351117	0,021148	0,023557	5,365698981	4,616981	0,748718
Particulate matter	disease inc.	2,9965E-07	2,97539E-07	2,11051E-09	6,59E-07	2,27E-07	5,16969E-05	4,72E-05	4,5E-06
Human toxicity, non-cancer	CTUh	4,47141E-09	2,91956E-09	1,55185E-09	9,84E-09	1,7E-07	3,88096E-05	3,55E-05	3,31E-06
Human toxicity, cancer	CTUh	2,7071E-10	2,39319E-10	3,13912E-11	5,96E-10	1,04E-08	2,37837E-06	2,31E-06	6,69E-08
Acidification	mol H+ eq	0,026958132	0,026778378	0,000179754	0,059308	0,025069	5,71015166	5,326846	0,383305
Eutrophication, freshwater	kg P eq	2,25208E-05	6,10709E-06	1,64137E-05	4,95E-05	0,001278	0,291006548	0,256006	0,035
Eutrophication, marine	kg N eq	0,003402304	0,001614961	0,001787343	0,007485	0,021545	4,907437083	1,096125	3,811312
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	0,037156972	0,036667734	0,000489237	0,081745	0,053709	12,23378351	11,19054	1,043245
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	7,993093625	2,860573688	5,132519937	17,58481	141,3965	32206,9706	21262,44	10944,53
Land use	Pt	1,003032294	0,286680428	0,716351866	2,206671	313,8691	71492,40662	69964,87	1527,542
Water use	m3 depriv.	155,3857985	155,37378	0,012018499	341,8488	2,226162	507,0703463	481,4422	25,62813
Resource use, fossils	MJ	26,59878576	26,25826436	0,340521395	58,51733	51,45422	11720,12766	10994	726,1244
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	4,07502E-07	2,3946E-07	1,68042E-07	8,97E-07	3,13E-05	0,007134472	0,006776	0,000358

4.2 Valutazione e confronto degli impatti dei due materiali in termini di "salute umana"

Nelle categorie della "salute umana" l'MDF risulta più impattante dell'urea per quanto riguarda il "Climate change" e l'"Human toxicity", mentre in termini di "Particulate Matter" risulta più impattante l'urea formaldeide. Facendo una valutazione complessiva possiamo dire, quindi, che i processi di produzione e smaltimento di MDF determinano un valore di CO2 equivalente (che è una misura che esprime l'impatto sul riscaldamento globale di una certa quantità di gas serra rispetto alla stessa quantità di anidride carbonica) in misura più che raddoppiata rispetto ai processi e smaltimenti di resina UF. Per quanto riguarda il valore del "Human toxicity" (che riflette il potenziale danno di un'unità di sostanza chimica rilasciata nell'ambiente) i risultati non sono neanche confrontabili, infatti i processi di produzione di MDF sono nettamente più impattanti, sia nel caso di tossicità cancerogena che non. Unico dato che va a sfavore dell'urea è quello del "particulate matter", per cui risulta un valore triplicato di sostanze solide o liquide sospese in aria, rispetto all'MDF.

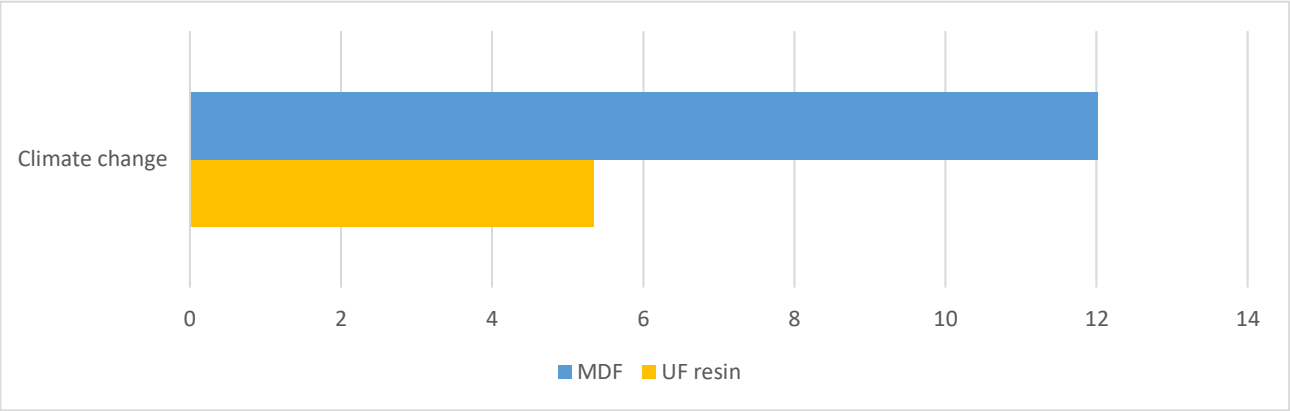


Figura 19 Valutazione e confronto degli impatti relativi alle unità funzionali e rapportati alle masse effettive dei copriwater - climate change

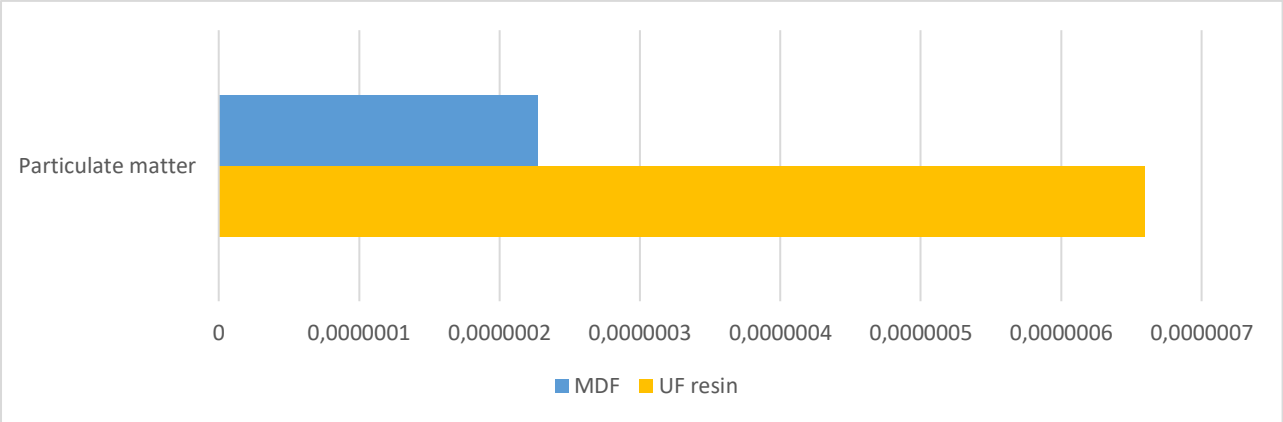


Figura 20 Valutazione e confronto degli impatti relativi alle unità funzionali e rapportati alle masse effettive dei copriwater – Particulate matter

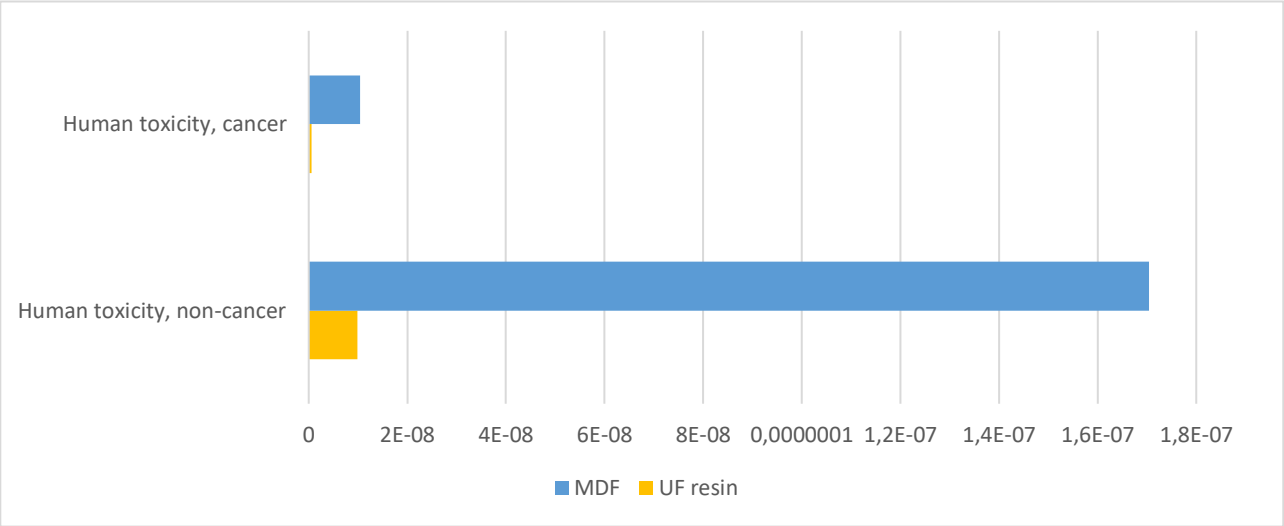


Figura 21 Valutazione e confronto degli impatti relativi alle unità funzionali e rapportati alle masse effettive dei copriwater – Human toxicity

4.3 Valutazione e confronto degli impatti dei due materiali in termini di "qualità dell'ecosistema"

Nelle categorie che descrivono la «qualità dell'ecosistema", l'MDF impatta molto di più dell'UF in termini di "Eutrophication, marine" e "Ecotixicity, freshwater. Azoto e fosforo sono i principali nutrienti inorganici responsabili dell'eutrofizzazione delle acque marine. L'azoto e il fosforo si trovano naturalmente nelle acque marine, trasferiti dalla terraferma attraverso corsi d'acqua, fiumi e deflusso dell'acqua piovana e anche dal degrado del materiale organico all'interno dell'acqua. Tuttavia, l'apporto umano di nutrienti nell'ambiente ha aumentato il carico di azoto e fosforo negli oceani. L

'eutrofizzazione indotta dall'uomo dovrebbe essere ridotta al minimo, e in particolare gli effetti negativi che ha sull'ambiente marino, come la perdita di biodiversità, il degrado dell'ecosistema, la proliferazione di alghe nocive e la carenza di ossigeno nelle acque di fondo (https://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-5/index_en.htm, s.d.).

L'ecotossicità delle acque dolci è un'altra importante categoria di impatto ambientale. L'acqua dolce, infatti, è una componente vitale nell'ecosistema globale. L'acqua dolce è un habitat ambientale unico e anche essenziale per la vita umana. L'inquinamento dell'acqua dolce non solo rappresenta un rischio per l'ambiente, ma può anche avere un impatto sulla salute umana. Pertanto, è importante mantenere l'inquinamento antropico al di sotto di una soglia che caratterizzerebbe un rischio (https://www.ecetoc.org/task-force/freshwater-ecotoxicity-as-an-environmental-impact-category-to-guide-the-selection-of-chemical-based-products/, s.d.).

La resina di urea formaldeide impatta di più dell'MDF in un altro aspetto, ovvero l' "Acidification". Dalla rivoluzione industriale, la concentrazione di anidride carbonica (CO2) nell'atmosfera è aumentata a causa della combustione di combustibili fossili e del cambiamento dell'uso del suolo. L'oceano assorbe circa il 30% della CO2 rilasciata nell'atmosfera e, con l'aumento dei livelli di CO2 atmosferica, aumentano anche i livelli nell'oceano. Quando la CO2 viene assorbita dall'acqua di mare, si verificano una serie di reazioni chimiche con conseguente aumento della concentrazione di ioni idrogeno. Questo aumento fa sì che l'acqua di mare diventi più acida e fa sì che gli ioni carbonato siano relativamente meno abbondanti. Gli ioni carbonato sono un importante elemento costitutivo di strutture come conchiglie marine e scheletri di corallo. La diminuzione degli ioni carbonato può rendere difficile la costruzione e il mantenimento di conchiglie e altre strutture di carbonato di calcio per la calcificazione di organismi come ostriche, vongole, ricci di mare, coralli e plancton. Questi cambiamenti nella chimica oceanica possono influenzare anche il comportamento degli organismi non calcificanti. La capacità di alcuni pesci di rilevare i predatori è ridotta in acque più acide. Quando questi organismi sono a rischio, anche l'intera catena alimentare può essere a rischio. L'acidificazione degli oceani sta colpendo gli oceani di tutto il mondo, compresi gli estuari costieri e i corsi d'acqua. Molte economie dipendono da pesce e crostacei e le

persone in tutto il mondo fanno affidamento sul cibo proveniente dall'oceano come fonte primaria di proteine (https://oceanservice.noaa.gov/facts/acidification.html, s.d.).

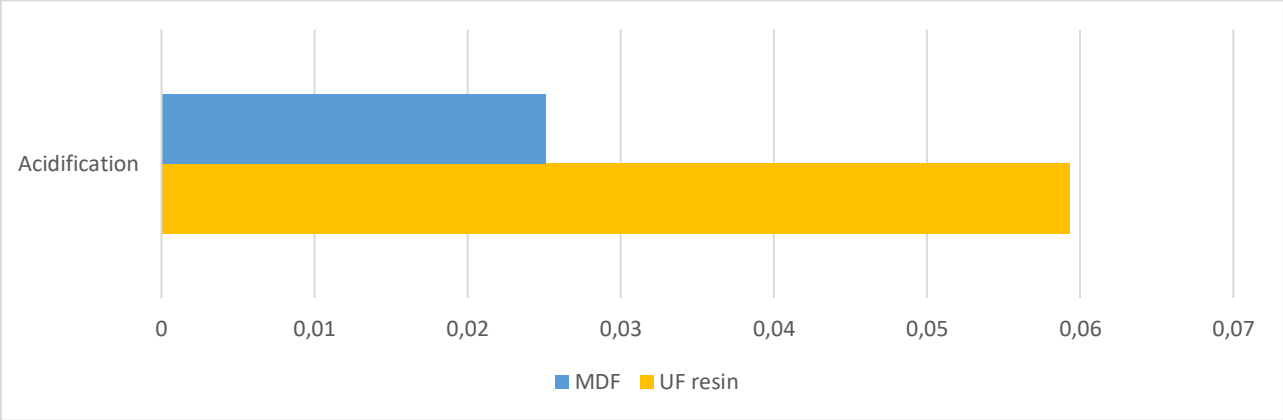


Figura 22 Valutazione e confronto degli impatti relativi alle unità funzionali e rapportati alle masse effettive dei copriwater - Acidification

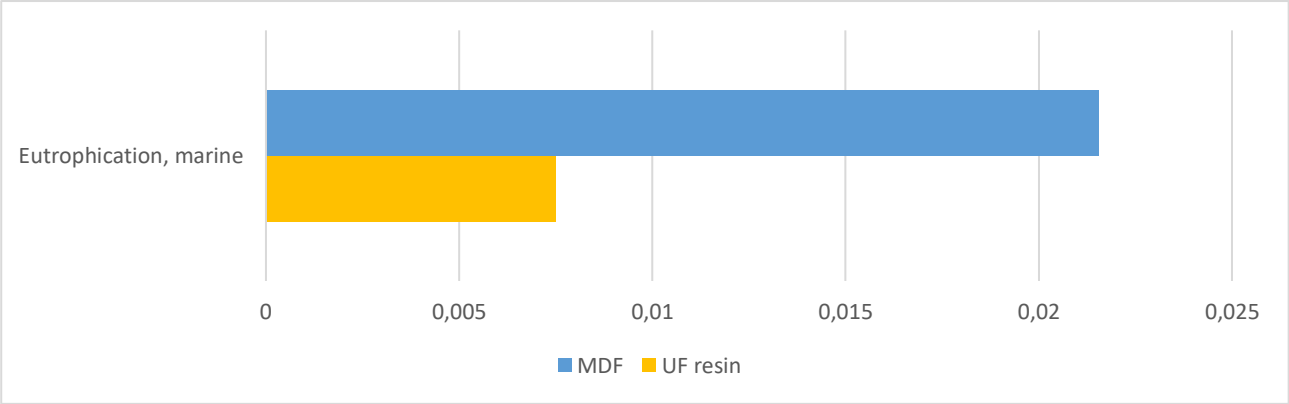


Figura 23 Valutazione e confronto degli impatti relativi alle unità funzionali e rapportati alle masse effettive dei copriwater – Eutrophication, marine

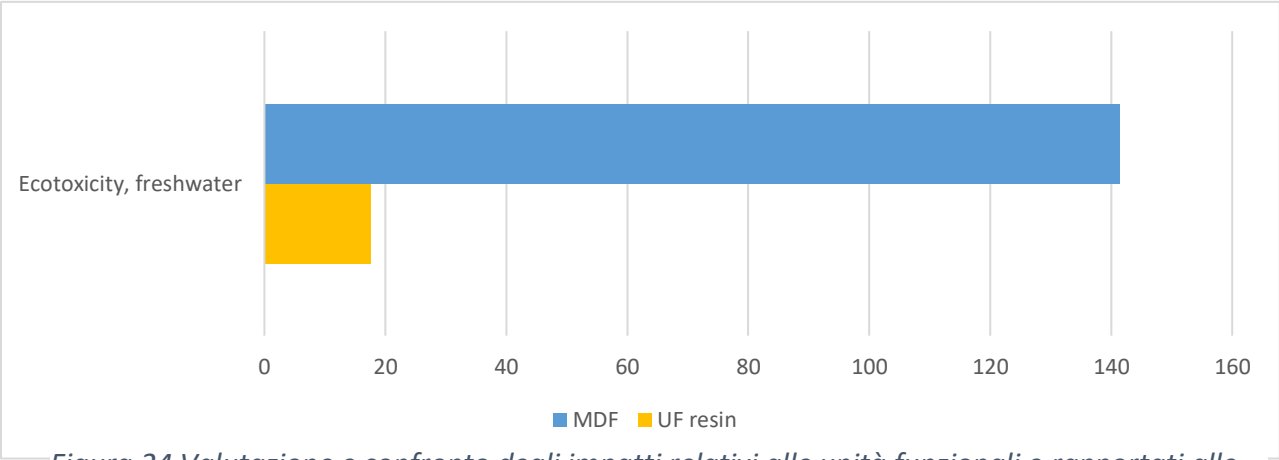


Figura 24 Valutazione e confronto degli impatti relativi alle unità funzionali e rapportati alle masse effettive dei copriwater – Ecotoxicity, freshwater

4.4 Valutazione e confronto degli impatti dei due materiali in termini di "risorse"

Per quanto riguarda le "risorse", c'è un netto impatto nel "Water use" (utilizzo dell'acqua) per l'urea rispetto all'MDF e un netto impatto nel "Land use" (utilizzo del suolo) per l'MDF rispetto all'urea. Invece i valori del "Resource use, fossils" (utilizzo delle risorse di origine fossile) risultano confrontabili, anche se la resina UF è leggermente più impattante.

Quella dello sfruttamento delle risorse è un'altra importante e complessa tematica e problematica dei nostri giorni, non solo per l'impatto che ha sull'ambiente e sulla biodiversità, ma anche per l'impatto sulla stessa salute umana. A tal proposito, L' "International Resource Panel", ospitato dallo "United Nations Environment Programme" (https://www.unep.org/, s.d.) ha il compito di costruire e condividere la conoscenza necessaria per aumentare la sostenibilità dell'uso delle risorse in tutto il mondo. L'International Resource Panel mira a sviluppare modi migliori per promuovere il benessere umano e la crescita economica, riducendo al minimo il degrado ambientale e l'esaurimento delle risorse.

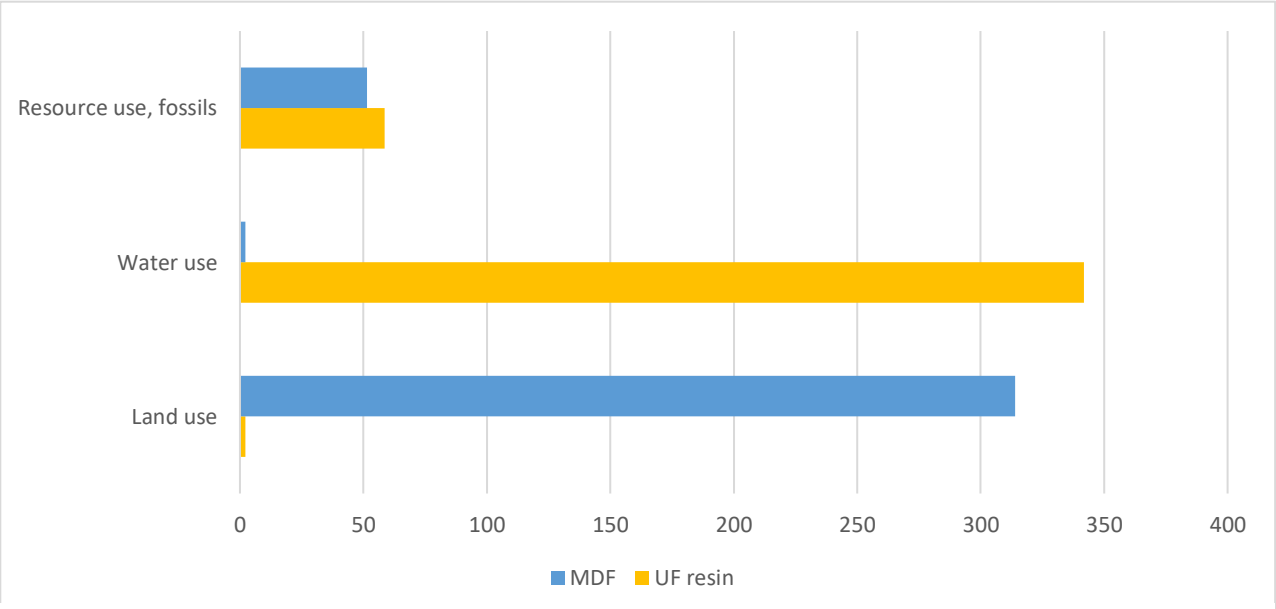


Figura 25 Valutazione e confronto degli impatti relativi alle unità funzionali e rapportati alle masse effettive dei copriwater – Resource use, fossils; Water use; Land use

Conclusioni

Realizzare un modello di società eco-sostenibile è di fondamentale importanza per la salvaguardia del pianeta e della vita stessa dell'umanità. In questo contesto gioca un ruolo decisivo l'economia circolare che si basa sul ciclo vita dei prodotti, partendo dall'estrazione delle risorse primarie, passando per la fase di produzione ed uso fino alla fine del ciclo vita. Per valutare gli impatti ambientali di un prodotto, processo o attività sull'intero ciclo vita risulta preziosa la metodologia LCA (*Life Cycle Assessment*). L'analisi LCA è un mezzo che esprime in termini numerici il potenziale impatto ambientale sui diversi macrosistemi terrestri attraverso l'identificazione e la quantificazione dei consumi di materia, energia e delle emissioni nell'ambiente; permette inoltre di confrontare in modo quantitativo prodotti simili, di individuare e valutare le opportunità per diminuire gli impatti.

Nel caso studio si è usata la metodologia LCA per valutare gli impatti di due modelli di copriwater, prodotti da Eurocornici srl, uno in resina ureica termoindurente e l'altro in MDF poliesterato laccato, al fine di confrontare i valori per le diverse categorie d'impatto e quindi comprendere quali siano le criticità di ciascun materiale e quali invece i punti di forza. I risultati ricavati mostrano che nelle categorie della "salute umana" l'MDF risulta più impattante dell'urea per quanto riguarda il "Climate change" e l'"Human toxicity", mentre in termini di "Particulate Matter" risulta più impattante l'urea formaldeide. Nelle categorie che descrivono la «qualità dell'ecosistema", l'MDF impatta molto di più dell'UF in termini di "Eutrophication, marine" e "Ecotixicity, freshwater". Per quanto riguarda le "risorse", c'è un netto impatto nel "Water use" per l'urea rispetto all'MDF e un netto impatto nel "Land use" per l'MDF rispetto all'urea. Invece i valori del "Resource use, fossils" risultano confrontabili, anche se la resina UF è leggermente più impattante.

In prima battuta sono state fatte, inoltre, per l'MDF una valutazione degli impatti che confrontasse le tre fasi produttive principali, una valutazione degli impatti degli scenari di fine vita ed una che valutasse i contributi più significativi della fase di wood preparation, che è quella più impattante. Per la resina UF, invece, una valutazione degli impatti degli scenari di fine vita ed una degli impatti dell'energia elettrica utilizzata nei processi.

Infine, si sottolinea che uno studio LCA non determina in assoluto quale sia il prodotto migliore, ma fornisce solamente informazioni che possono essere utilizzate per prendere decisioni in modo maggiormente consapevole.

Per mancanza di dati, questo studio prende in considerazione solamente il ciclo di vita dell'MDF e della resina UF, di conseguenza l'impatto degli eventuali processi e trattamenti interni all'azienda dovranno essere valutati in un secondo momento dall'azienda stessa, per eseguire quindi una valutazione complessiva dei propri prodotti.

Questo studio può rappresentare il punto di partenza per valutare altri materiali, le cui caratteristiche siano adatte alla produzione di copriwater, ma con impatti ambientali ancor più limitati. Una di queste potrebbe essere la plastica **PET**, polietilene tereftalato, che è riconosciuta a livello mondiale come materiale sicuro, non tossico, resistente, flessibile **e** riciclabile al 100%. Ed inoltre possono essere studiati per questi o altri materiali degli scenari di fine vita alternativi, che siano meno impattanti di quelli convenzionali di smaltimento in discarica e di incenerimento.

Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento alla Prof.ssa Marta Rossi per avermi guidato nel percorso di tirocinio e per i suoi preziosi consigli in fase di raccolta dati, modellazione sul software e scrittura della tesi.

Ringrazio il Prof. Michele Germani per avermi dato l'opportunità di svolgere questo lavoro di tesi, per la disponibilità e professionalità dimostrata.

Ringrazio tutti i miei amici, mio fratello, mio zio, mia nonna, i miei cuginetti solamente per volermi bene a prescindere da tutto.

Un ringraziamento speciale a mia madre che ha creduto in me, anche quando io stesso non lo facevo e che mi ha supportato nel momento massimo di bisogno. Anche grazie a lei ho raggiunto questo traguardo importante e per questo le sarò grato per sempre.

Bibliografia

«Economia circolare,» [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Economia_circolare. (s.d.).

«Sostenibilità ambientale, lo sviluppo che rispetta il Pianeta,» 22 4 2020. [Online]. Available: https://corporate.enel.it. (s.d.).

«UNI EN ISO 14044. Environmental management, Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines». Ginevra: International Organization for Standardization (ISO) Brevetto ISO. (2006b). (s.d.).

C. Lobina, 26 6 2020. [Online]. Available: https://www.italiachecambia.org. (s.d.).

E. E. Agency, «Gestione del ciclo di vita del prodotto-M. Germani,» [Online]. Available: https://learn.univpm.it. (s.d.).

FAL 2004; PRe´ Consultants 2007; USDOE 2007. (s.d.).

https://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-5/index_en.htm. (s.d.).

https://oceanservice.noaa.gov/facts/acidification.html. (s.d.).

https://www.ecetoc.org/task-force/freshwater-ecotoxicity-as-an-environmental-impact-category-to-guide-the-selection-of-chemical-based-products/. (s.d.).

https://www.unep.org/. (s.d.).

IDEMAT database (2001): Faculty of Industrial Design Engineering of Delft University of Technology, The Netherlands. (s.d.).

Rivela B, Moreira MT, Feijoo G (2007): Life Cycle Inventory of Medium Density Fibreboard. Int J LCA 12 (3) 143–150. (s.d.).

SETAC, «A Conceptual Framework for Life Cycle Assessment,» in workshop record, Sandestin, Florida, February, 1992. (s.d.).

SETAC, «A Conceptual Framework for Life Cycle Assessment,» in workshop record, Sandestin, Florida, February, 1992. . (s.d.).

Wood and Fiber Science, 42(CORRIM Special Issue), 2010, pp. 125–143 by the Society of Wood Science and Technology. (s.d.).