



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica

ANALISI LCA: IL CASO DI STUDIO DELLA  
POLTRONA ARCHIBALD DI POLTRONA FRAU

LCA ANALYSIS: THE CASE STUDY OF THE  
ARCHIBALD ARMCHAIR BY POLTRONA FRAU

Relatore:  
Prof. Michele Germani

Tesi di Laurea di:  
Federico Principi

Correlatrice:  
Ing. Marta Rossi

A.A. 2020/2021



# Indice

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUZIONE</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE</b> .....  | <b>3</b>  |
| 2.1      | STORIA .....   | 3         |
| 2.1.1    | <i>Anni Sessanta</i> .....   | 3         |
| 2.1.2    | <i>Anni Settanta</i> .....   | 3         |
| 2.1.3    | <i>Anni Ottanta</i> .....  | 5         |
| 2.1.4    | <i>Anni Novanta</i> .....  | 8         |
| 2.1.5    | <i>Anni Novanta e anni Duemila</i> .....                                       | 9         |
| 2.2      | IMPATTO AMBIENTALE .....   | 11        |
| 2.3      | ECONOMIA CIRCOLARE.....  | 13        |
| 2.3.1    | <i>Vantaggi dell'economia circolare</i> .....                                  | 13        |
| 2.4      | ECODESIGN.....   | 15        |
| 2.5      | CICLO DI VITA DI UN PRODOTTO. ....   | 16        |
| 2.5.1    | <i>Sostenibilità ambientale dei prodotti</i> .....                             | 18        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA E GLI STRUMENTI LIFE CYCLE ASSESSMENT</b> .....                 | <b>20</b> |
| 3.1      | LA NORMATIVA.....  | 20        |
| 3.2      | LE FASI DELL'ANALISI LCA .....   | 22        |
| 3.2.1    | <i>Definizione di obiettivo e campo di applicazione (Goal and Scope)</i> ..... | 24        |
| 3.2.2    | <i>Analisi di inventario</i> .....   | 25        |
| 3.2.3    | <i>Valutazione degli impatti</i> .....   | 26        |
| 3.2.4    | <i>Interpretazione dei risultati</i> .....                                     | 29        |
| 3.3      | CARATTERISTICHE PRINCIPALI E LIMITI DELLA LCA.....                             | 31        |
| 3.4      | CATEGORIE E INDICATORI DI IMPATTO .....  | 33        |
| 3.5      | SOFTWARE LCA: SIMAPRO .....  | 39        |
| 3.5.1    | <i>Banche dati</i> .....   | 42        |
| 3.5.2    | <i>Metodo di calcolo e valutazione degli impatti</i> .....                     | 43        |
| <b>4</b> | <b>IMPATTI AMBIENTALI POLTRONA ARCHIBALD</b> .....                             | <b>44</b> |
| 4.1      | POLTRONA FRAU .....  | 44        |
| 4.1.1    | <i>Poltrona Archibald</i> .....  | 45        |
| 4.2      | OBIETTIVO E CAMPO DI APPLICAZIONE.....   | 46        |
| 4.3      | ANALISI DI INVENTARIO .....  | 48        |
| 4.4      | RISULTATI.....   | 52        |
| 4.4.1    | <i>Struttura:</i> .....  | 54        |

|          |                                       |           |
|----------|---------------------------------------|-----------|
| 4.4.2    | <i>Rivestimento</i> .....             | 55        |
| 4.4.3    | <i>Imbottitura</i> .....              | 56        |
| 4.4.4    | <i>Altri impatti: materiali</i> ..... | 57        |
| 4.4.5    | <i>Manufacturing</i> .....            | 58        |
| 4.4.6    | <i>Trasporti</i> .....                | 59        |
| 4.5      | INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI .....   | 60        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSIONE</b> .....              | <b>61</b> |
| <b>6</b> | <b>RINGRAZIAMENTI</b> .....           | <b>65</b> |
| <b>7</b> | <b>BIBLIOGRAFIA</b> .....             | <b>66</b> |

# Indice Figure

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1 SVILUPPO SOSTENIBILE                  | 6  |
| FIGURA 2 L'IMPRONTA ECOLOGICA                  | 12 |
| FIGURA 3 ECONOMIA CIRCOLARE                    | 13 |
| FIGURA 4 CICLO DI DEMING                       | 17 |
| FIGURA 5 FASI LCA                              | 23 |
| FIGURA 6 LOGO SIMAPRO                          | 39 |
| FIGURA 7 LOGO EPD                              | 43 |
| FIGURA 8 LOGO POLTRONA FRAU                    | 44 |
| FIGURA 9 POLTRONA ARCHIBALD                    | 45 |
| FIGURA 10 DISTINTA COMPONENTI                  | 48 |
| FIGURA 11 MATERIALI POLTRONA                   | 49 |
| FIGURA 12 CONSUMI ENERGIA                      | 50 |
| FIGURA 13 GRAFICO IMPATTI TOTALI POLTRONA      | 52 |
| FIGURA 14 GRAFICO IMPATTI POLTRONA SENZA PELLE | 53 |
| FIGURA 15 GRAFICO IMPATTI STRUTTURA            | 54 |
| FIGURA 16 GRAFICO IMPATTI RIVESTIMENTO         | 55 |
| FIGURA 17 GRAFICO IMPATTI IMBOTTITURA          | 56 |
| FIGURA 18 GRAFICO IMPATTI MANUFACTURING        | 58 |
| FIGURA 19 GRAFICO IMPATTI TRASPORTI            | 59 |
| FIGURA 20 GRAFICO CONFRONTO PELLE-TESSUTO      | 62 |
| FIGURA 21 GRAFICO CONFRONTO FUSTI              | 63 |
| FIGURA 22 GRAFICO CONFRONTO MOLLEGGI           | 64 |

# Indice Tabelle

|   |    |
|---|----|
| TABELLA 1 CATEGORIE D'IMPATTO                           | 36 |
| TABELLA 2 IMPATTI TOTALI POLTRONA                       | 52 |
| TABELLA 3 IMPATTI TOTALI MATERIALI POLTRONA SENZA PELLE | 53 |
| TABELLA 4 IMPATTI STRUTTURA                             | 54 |
| TABELLA 5 IMPATTI MANUFACTURING                         | 58 |
| TABELLA 6 IMPATTI TRASPORTI                             | 59 |
| TABELLA 7 CONFRONTO PELLE-TESSUTO                       | 61 |
| TABELLA 8 CONFRONTO FUSTI                               | 62 |
| TABELLA 9 CONFRONTO MOLLEGGI                            | 63 |

# 1 Introduzione

La lotta e la presa di coscienza delle problematiche ambientali moderne sono l'evoluzione di un percorso spolitico e sociale causato da eventi storici, crisi energetiche dovute alla limitatezza di risorse e teorie economiche nate nel passato. Già negli anni '60 alcune industrie iniziano ad applicare delle tecniche di analisi energetica e si interessano allo studio del proprio prodotto per evitare sprechi di energia e risorse. Questo processo va via via evolvendosi negli anni poiché le aziende iniziano spostare l'interesse dai singoli passaggi critici produttivi, all'intero sistema nella sua complessità per ottenere una determinazione più accurata di sprechi e impatti sul sistema cercando di analizzare l'impatto ambientale del prodotto in tutto il suo ciclo di vita. Si iniziano ad ottenere le prime analisi della LCA.

Attualmente l'analisi LCA è normalizzata e ben consolidata rispetto al passato grazie alle norme UNI EN ISO 14040 e UN EN ISO 14044 e questo ci permette di ottenere un'analisi accurata ed oggettiva degli impatti ambientali di prodotti e servizi.

L'obiettivo dello studio è analizzare gli impatti ambientali di ogni materiale e lavorazione di un oggetto di arredo in ogni sua fase del ciclo di vita quindi dall'estrazione dei materiali, trasporto, lavorazione delle materie prime e semilavorati, assemblaggio fino ad arrivare all'uso e al fine vita.

Nel caso di studio è stata presa in considerazione una poltrona dell'azienda Poltrona Frau e con l'analisi LCA si associa ad ogni fase del ciclo di vita del prodotto i vari impatti ambientali, si identificano le maggiori criticità e si trovano soluzioni per

eliminare o limitare il più possibile i vari danni ambientali. L'analisi LCA permette di comprendere a pieno, attraverso indicatori quali fasi del ciclo di vita del prodotto impattano maggiormente sull'ambiente permettendo all'azienda per cui è stata svolta l'analisi di avere un punto di partenza per la progettazione futura.



## 2 Sostenibilità ambientale

### 2.1 Storia

A partire dal secolo scorso si è iniziata ad acquisire una collettiva e piena consapevolezza sulla limitatezza delle risorse e sugli impatti ambientali generati dai modelli di sviluppo utilizzati.

#### 2.1.1 Anni Sessanta

Negli anni Sessanta l'economista Boulding introdusse per primo l'idea che il pianeta terra non poteva essere considerato, sotto un profilo economico ed ambientale, un sistema a aperto, cioè un ambiente illimitato nel quale possono entrare risorse dall'esterno ed uscire prodotti senza generare impatti sul sistema stesso, ma invece è un sistema chiuso, cioè un ambiente nel quale gli output generati in un luogo, necessariamente generano input su altre parti dell'ambiente, Boulding scrisse: *«...L'economia chiusa del futuro dovrà assomigliare invece a quella dell'astronauta. La terra va considerata una navicella spaziale, nella quale la disponibilità di risorse ha un limite, per quanto riguarda sia la possibilità d'uso sia la capacità di accogliere i rifiuti, e nella quale perciò bisogna comportarsi come in un sistema ecologico chiuso capace di rigenerare continuamente i materiali, pur mantenendo un apporto esterno di energia...»*

#### 2.1.2 Anni Settanta

Negli anni Settanta ci fu una crisi energetica innescata dai paesi associati all' OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) decisero di

sostenere l'Egitto e la Siria contro l'Israele aumentando il prezzo del barile nei confronti dei paesi filoisraeliani. Questa misura portò un aumento repentino dei prezzi del petrolio e di conseguenza un'interruzione del flusso dell'approvvigionamento di petrolio verso le nazioni acquirenti con delle pesanti conseguenze nei settori produttivi delle nazioni colpite.

In questa decade ci fu un incremento di conferenze e di saggi indirizzati a favorire la presa di coscienza delle problematiche ambientali e del loro rapporto con i temi economici.

Il 22 aprile del 1970 ci fu il primo Earth Day (manifestazione in difesa della terra), nel 1971 le prime attività di Greenpeace e nel 1972 si tenne a Stoccolma la prima conferenza delle Nazioni Unite dove per la prima volta le questioni ambientali furono discusse a livello globale da 112 stati e si approvò:

- Dichiarazione sull'ambiente umano: è diviso in 26 principi e considera la relazione tra benessere sociale e tutela del patrimonio ambientale con una ripartizione delle risorse anche per le generazioni future;
- Viene istituito UNEP, programma delle Nazioni Unite per l'ambiente: è un importante riferimento per lo sviluppo sostenibile a livello mondiale;
- Proclamazione del 5 giugno come giornata mondiale dell'ambiente.

Questa maggiore presa di coscienza portò alla ricerca di nuove fonti di approvvigionamento per limitare l'uso del greggio e quindi anche la dipendenza energetica dei paesi detentori e iniziarono ad entrare nel

vocabolario comune nuove parole: ecologia e risparmio energetico, sinonimo di un cambio di mentalità mondiale.

### 2.1.3 Anni Ottanta

Nel 1987 dalla commissione mondiale per l'ambiente e sviluppo istituita dalle Nazioni Unite con il rapporto Brundtland recita e fornisce la prima definizione di sostenibilità ambientale o più precisamente di sviluppo sostenibile:

*«Lo sviluppo sostenibile, lungi dall'essere una definitiva condizione di armonia, è piuttosto processo di cambiamento tale per cui lo sfruttamento delle risorse, la direzione degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico e i cambiamenti istituzionali siano resi coerenti con i bisogni futuri oltre che con gli attuali [...] Lo sviluppo sostenibile impone di soddisfare i bisogni fondamentali di tutti e di estendere a tutti la possibilità di attuare le proprie aspirazioni ad una vita migliore (...) Il soddisfacimento di bisogni essenziali esige non solo una nuova era di crescita economica per nazioni in cui la maggioranza degli abitanti siano poveri ma anche la garanzia che tali poveri abbiano la loro giusta parte delle risorse necessarie a sostenere tale crescita. Una siffatta equità dovrebbe essere coadiuvata sia da sistemi politici che assicurino l'effettiva partecipazione dei cittadini nel processo decisionale, sia da una maggior democrazia a livello delle scelte internazionali».*

Lo sviluppo sostenibile ruota attorno a tre componenti fondamentali:

- Sostenibilità economica: capacità di generare lavoro e reddito per il sostentamento della popolazione;
- Sostenibilità sociale: capacità di garantire condizioni di benessere umano;
- Sostenibilità ambientale: capacità di mantenere qualità e riproducibilità delle risorse naturali.



*Figura 1 sviluppo sostenibile*

L'area che si ottiene dall'intersezione delle tre componenti coincide con lo sviluppo sostenibile.

Quindi deve essere un obiettivo comune volto alla crescita economica che migliori la qualità della vita ma senza danneggiare l'ecosistema. Il modello da seguire è quello di un'economia circolare: cioè inseguire un miglioramento basandoci sulle risorse che ci vengono offerte dalla natura con moderazione senza produrre sprechi di risorse non necessarie e rendere il prodotto da realizzare il più riciclabile e riutilizzabile possibile così da non

produrre un rifiuto a fine vita del prodotto, negli anni passati e ancora tutt'oggi generalmente non è così e c'è uno sfruttamento non sostenibile delle risorse ambientali e delle materie prime, senza preoccuparsi dei bisogni futuri o della fine vita del prodotto.

Gli obiettivi dello sviluppo sostenibile sono:

- Rimodulazione e contrazione dei consumi attuali del mercato;
- Utilizzo di energia sostenibile cioè con l'impiego di fonti rinnovabili con l'abbandono di combustibili fossili;
- Creazioni di comunità in grado di rispettare l'ecosistema circostante;
- Sensibilizzazione di ogni individuo al consumo non eccessivo delle risorse;
- Riduzione degli interventi artificiali;
- Riduzione della produzione e dell'utilizzo di sostanze dannose per l'atmosfera.

Come si può evincere non si può escludere la tutela dell'ambiente circostante dal benessere economico e dal progresso sociale. I principali ambiti dove si parla di sostenibilità ambientale sono:

- Inquinamento atmosferico: che peggiora la qualità dell'aria e principalmente causato da una mobilità non sostenibile o di una produzione di energia elettrica tramite materiali fossili;
- Urbanizzazione e deforestazione;
- Perdita della biodiversità;

- Cambiamento climatico: dovuto principalmente dall'utilizzo massivo di risorse non rinnovabili e combustibili fossili;
- Gestione delle risorse rinnovabili e non rinnovabili.

#### 2.1.4 Anni Novanta

Nel 1992 si tenne la più grande conferenza mondiale dei capi di stato sull'ambiente a Rio de Janeiro, un evento con un grande impatto mediatico, con scelte politiche e di sviluppo senza precedenti; vengono redatti documenti basilari che ancora oggi sono un punto di riferimento:

- Dichiarazione di Rio sull'ambiente e lo sviluppo: definisce i diritti, le responsabilità e i doveri delle nazioni sullo sviluppo sostenibile;
- Convenzione sui cambiamenti climatici: che porto alcuni anni dopo alla stesura del protocollo di Kyoto;
- Agenda 21: è un manuale per lo sviluppo sostenibile del pianeta, costituito da 40 capitoli e divisi in 4 parti:
  - 1) dimensione economica e sociale: povertà, sanità, ambiente, aspetti demografici, produzione;
  - 2) conservazione e gestione delle risorse: atmosfera, foreste, deserti, montagne, acqua, prodotti chimici, rifiuti;
  - 3) rafforzamento del ruolo dei gruppi più significativi: donne, giovani, anziani, Ong, agricoltori, sindacati, settori produttivi, comunità scientifica;

- 4) mezzi di esecuzione del programma: strumenti scientifici, formazione, informazione, cooperazione internazionale, strumenti finanziari, strumenti giuridici.

### 2.1.5 Anni Novanta e anni Duemila

Negli anni Novanta ci furono le prime conferenze europee sulle città sostenibili e il famoso protocollo di Kyoto nel 1997, entrato in vigore nel 2005, è un trattato internazionale riguardante il surriscaldamento globale e prevede che i paesi industrializzati riducano del cinque per cento le proprie emissioni del gas serra. L'unione europea è la principale sostenitrice internazionale e l'Italia nel marzo del 2012 ha attuato il fondo rotativo per Kyoto da 600 milioni di euro per finanziare, con tassi agevolati di interesse, gli investimenti in efficienza energetica, le energie rinnovabili, tecnologie di cogenerazione e trigenerazione.

La più recente conferenza è la 24<sup>a</sup> Conferenza delle Parti (COP26) della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, a cui hanno partecipato 200 delegazioni degli Stati membri; hanno raggiunto un accordo finale sugli impegni e le strategie condivise da applicare per contrastare il riscaldamento globale. È il primo accordo di questo tipo in cui è indicato esplicitamente un piano per ridurre l'utilizzo del carbone, il combustibile fossile più inquinante; tuttavia, è stato giudicato carente sia da molti paesi partecipanti, sia dai gruppi ambientalisti: l'accordo promette che l'obiettivo di contenere l'aumento delle temperature globali medie sotto

1,5 °C rispetto ai livelli preindustriali rimane raggiungibile, ma concretamente sembra ancora molto distante e tutti i paesi partecipanti si sono impegnati a rafforzare i propri obiettivi di riduzione delle emissioni da qui al 2030 e a rivederli ogni anno.



## 2.2 Impatto ambientale

La Terra è un sistema chiuso e quindi ha una sua capacità di carico cioè la capacità da parte dell'ambiente di fornire risorse e assorbire rifiuti prodotti dall'attività umana; ovviamente il ciclo della capacità di carico si dice in equilibrio se la velocità di prelievo e rigenerazione è la stessa e la velocità di scarto e quella di smaltimento sono le stesse.

La capacità di carico aiuta a definire i limiti di un certo territorio di sostenere l'attività umana, i fattori che influenzano la capacità di carico sono:

- Fattori limitanti di tipo chimico (variazione di ossigeno, alterazione del ph);
- Fattori limitanti di tipo fisico (variazioni della temperatura e della luce);
- Fattori limitanti di tipo biologico (scarsità di cibo).

L'impronta ecologica è un indicatore che ci viene in aiuto per rilevare il peso che ha una comunità o un'attività sull'ambiente circostante ed è in base al consumo di risorse del lavoro richiesto all'ambiente per il ripristino delle risorse impiegate.

Quantifica la superficie che si impiega per assorbire tutte le emissioni prodotte.



*Figura 2 L'impronta ecologica*

L'impronta ecologica planetaria è stimata intorno ai 20 miliardi di ettari contro i 12 miliardi di ettari di biocapacità planetaria ovviamente essendo in esubero il sistema è in squilibrio e si manifesta in diverse forme (precipitazioni abbondanti, accumulo di anidrite carbonica in atmosfera e così via). Avendo un'impronta ecologica maggiore, rispetto alla capacità di carico del nostro sistema, si può definire "Overshoot day" come il giorno in cui si supera la biocapacità del pianeta e quest'anno l'overshoot day era il 29 luglio.

Se suddividiamo i 12 miliardi di superficie fertile totale per i 7,8 miliardi di persone che abitano sul pianeta si scopre che ogni persona ha a disposizione 1,5 ettari e questa sarebbe l'impronta ecologica sostenibile per individuo, ma nella realtà utilizziamo 20 miliardi di ettari e l'impronta ecologica reale è pari a 2,5 ettari a testa.

## 2.3 Economia circolare

L'economia circolare è un modello di produzione e consumo che implica condivisione, prestito, riutilizzo, riparazione, ricondizionamento e riciclo dei materiali e prodotti esistenti il più a lungo possibile, così da estendere il ciclo di vita dei prodotti contribuendo a ridurre i rifiuti e reintroducendo i materiali all'interno del ciclo produttivo generando ulteriore valore.



*Figura 3 Economia circolare*

Si può notare che l'economia circolare va in contrasto con il modello tradizionale e obsoleto dell'estrarre, produrre, utilizzare e gettare.

### 2.3.1 Vantaggi dell'economia circolare

Trovandoci di fronte ad un aumento della domanda di materie prime dovuto anche ad un aumento della popolazione mondiale e ad una scarsità delle risorse, i processi di estrazione e utilizzo delle materie prime producono un grande impatto sull'ambiente e aumentano il consumo di energia e le

emissioni di anidride carbonica. Un uso più razionale delle materie prime può contribuire a diminuire le emissioni di CO<sub>2</sub>.

Grazie a misure come prevenzione dei rifiuti, ecodesign e riutilizzo dei materiali, le imprese europee otterrebbero un risparmio e ridurrebbero allo stesso tempo le emissioni totali annue di gas serra. Al momento la produzione dei materiali che utilizziamo ogni giorno è responsabile del 45% delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

La transizione verso un'economia circolare può portare numerosi vantaggi, tra cui:

- Riduzione della pressione sull'ambiente;
- Maggiore sicurezza circa la disponibilità di materie prime;
- Aumento della competitività;
- Impulso all'innovazione e alla crescita economica (un aumento del PIL dello 0,5%);
- Incremento dell'occupazione – si stima che nell'UE grazie all'economia circolare potrebbero esserci 700.000 nuovi posti di lavoro entro il 2030;
- Prodotti più durevoli e innovativi in grado di far risparmiare e migliorare la qualità della vita.

## 2.4 Ecodesign

Nell'economia circolare, si parla di ecodesign ed è la progettazione di un prodotto di un sistema sociale o economico che elimina l'impatto negativo sull'ambiente con una progettazione intelligente e sensibile; quindi, risulta una scelta per preservare le risorse e la sopravvivenza del pianeta perché tiene in considerazione tutte le materie impiegate e l'energia utilizzata in ogni fase del ciclo di vita del prodotto.

L'ecodesign ha dei principi generali e sono:

- Materiali sostenibili e risorse rinnovabili;
- Minore quantità di materia prima nei prodotti per facilitare lo smontaggio e il recupero dei materiali;
- Qualità e durabilità (maggiore resistenza all'usura e quindi durabilità nel tempo);
- Riciclo.

La Direttiva 2009/125/CE è la direttiva dell'ecodesign e regola i requisiti dei prodotti che utilizzano energia eccetto i trasporti. La direttiva ha lo scopo di migliorare l'efficienza energetica e prende in considerazione l'intero ciclo di vita del prodotto:

- Acquisizione;
- Produzione;
- Trasporto;
- Commercio;
- Uso e manutenzione;
- Riciclo.

## 2.5 Ciclo di vita di un prodotto.

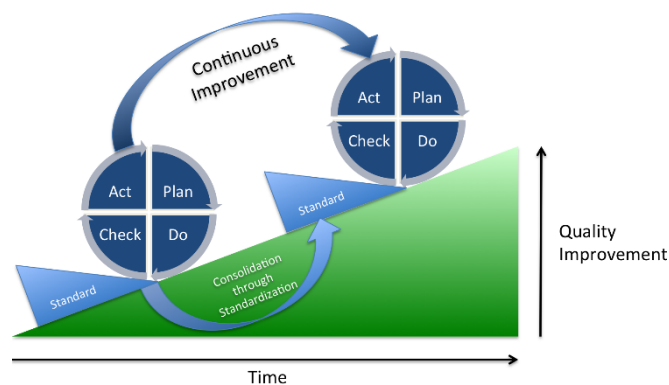
È definito Life Cycle Thinking (L.C.T.) *“l’approccio per la valutazione degli impatti che un prodotto ha nel suo intero ciclo di vita, andando a proporre come obiettivi l’ottimizzazione delle risorse, degli impatti ambientali e sociali includendo i costi di produzione”*, cioè l’obiettivo principale del Life Cycle Thinking è quello di ottimizzare le risorse, ridurre l’uso delle materie di produzione di un prodotto e di conseguenza abbassare le emissioni inquinanti per l’ambiente che si rilasciano durante la sua creazione e trasformazione, contribuendo così al concetto di economia circolare.

Applicare questo approccio significa che per ogni prodotto si andranno a valutare l’insieme di operazioni che lo compongono cioè:

- Materie prime;
- Processi produttivi per ottenere il prodotto finito;
- Trasporti;
- Uso;
- Fine vita (Discarica, smaltimento o riciclo).

L’idea di gestione dell’intero ciclo di vita di un prodotto viene reso possibile grazie al Life Cycle Management (LCM) che è un approccio di gestione che mette in pratica gli strumenti e le metodologie del pensiero del Life Cycle Thinking. Quindi si tratta di un sistema di gestione del prodotto, che viene ridisegnato e ripensato per aiutare le aziende ad ottimizzare gli impatti ambientali, sociali connessi alla produzione e ai costi, si basa su una filosofia circolare cioè:

- Pianificare (plan): stabilire gli obiettivi e i processi necessari per fornire risultati in accordo con i risultati attesi;
- Fare (do): Raccogliere i dati per la creazione di grafici e analisi da destinare alla fase da verificare;
- Verificare (check): Test e controllo, studio e raccolta dei risultati e dei riscontri. Studiare i risultati, misurati e raccolti nella fase del "fare" confrontandoli con i risultati attesi, obiettivi del "pianificare", per verificarne le eventuali differenze;
- Agire (act): Azione per rendere definitivo e/o migliorare il processo.



*Figura 4 Ciclo di Deming*

Questo processo è conosciuto anche come ciclo di Deming e fornisce una base anche per un miglioramento continuo e infinito nel tempo.

Un approccio del ciclo di vita fornisce:

- dei vantaggi per le industrie: inserendo questi approcci nella gestione e nello sviluppo dei prodotti aziendali si hanno dei miglioramenti in termini di immagine dell'azienda e del marchio, aumenta il valore dell'azienda sul mercato e ovviamente si raccolgono dei benefici ambientali, gestendo le

risorse in modo più diligente si possono avere dei riscontri economici positivi;

- Vantaggi per i governi: queste iniziative potrebbero servire a rafforzare il proprio settore industriale e dei servizi. Impegnandosi in programmi ed iniziative di sostegno dell'attuazione di approcci al ciclo di vita, i governi possono mostrare responsabilità globale e aumentare la propria governance, attraverso la condivisione e la diffusione di opzioni di sostenibilità a livello mondiale;
- Vantaggi per i consumatori: applicare il ciclo di vita del prodotto sposterà i consumatori in una direzione più sostenibile, offrendo maggiori informazioni sulle fonti di energia, una migliore informazione sull'acquisto, sui sistemi di trasporto, per orientare i consumatori sulla miglior scelta.

### 2.5.1 Sostenibilità ambientale dei prodotti

Ogni bene o servizio ha un costo ambientale, economico, sociale. Per definire la sostenibilità bisogna ricordarsi che il ciclo di vita è l'insieme dei processi di produzione, consegna, riutilizzo, consumo fino al fine vita cioè scarica e smaltimento o riciclo. Per ogni fase del ciclo di vita vengono raccolte tutte le informazioni riguardanti emissioni, consumo di energia o risorse, alla fine si ottiene un quadro completo dell'interazione ambiente-prodotto e scenari tra sostenibilità e impatto ambientale. La riduzione dell'impatto ambientale è ottenuta da chi realizza il prodotto mediante dei miglioramenti dei processi e tecnologie produttive.



L' Italia deve ancora muoversi verso un'economia circolare e dovrebbe velocizzare questa transizione per essere promotrice in Europa; ovviamente porterebbe vari vantaggi dal punto di vista ambientale (preservazione del capitale naturale e degli ecosistemi, ridotta pressione sulle risorse e il minore utilizzo di territorio per lo smaltimento dei rifiuti in discarica) portando un crescente turismo sostenibile e culturale e dal punto di vista economico (stimolare la creatività del sistema imprenditoriale in funzione della valorizzazione del riuso di materia). Inoltre, l'Italia è un paese povero di materie prime, utilizzare e riutilizzare un materiale riciclato permette di essere più indipendente dai paesi esteri che approvvigionano le materie prime e meno vulnerabile alle oscillazioni dei prezzi.

Un report stilato dal centro studi Confindustria ed essi evidenziano che: l'Italia emette meno gas serra rispetto alla media in Europa 203,4 tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente per miliardo di euro di valore aggiunto rispetto alla media europea di 257,2, consumando meno materie prime 286,8 tonnellate per miliardo di euro di valore aggiunto rispetto alla media Europea di 446,5, consuma meno energia 87,4 di 10 alla quattordicesima joule per miliardo di euro di valore aggiunto rispetto a 203,4 e recupera e ricicla più rifiuti cioè 83,4 percento del totale dei rifiuti rispetto alla media europea del 53 percento.

## 3 Metodologia e gli strumenti Life Cycle Assessment

### 3.1 La normativa

Negli ultimi decenni è aumentata la percezione dell'importanza ambientale e sono state sviluppate tecniche per la valutazione dei carichi ambientali associati a servizi e beni.

Concepita a partire da analisi energetiche, la metodologia Life Cycle Assessment (LCA) si è sviluppata negli anni '90 dove ci furono diverse pubblicazioni scientifiche, manuali, banche dati e strumenti di calcolo per standardizzarla, fino ad arrivare nel 1997 per ottenere la prima norma di regolamentazione della LCA cioè la ISO 14040:1997- Principles and framework dove seguirono tra il 1998 e il 2000 le norme specifiche di prodotto cioè ISO 14041:1998 -goal and scope definition and inventory analysis, ISO14042:2000-Life Cycle Impact Assessment e ISO14043:2000-Life Cycle Interpretation.

Attualmente le normative di riferimento sono la ISO 14040:2006- Principle and framework si occupa di gestione ambientale e quindi dell'impatto che il bene o servizio avrà rispetto ad una logica ambientale e la ISO 14044:2018 -Requirements and guideline (che ha sostituito la precedente ISO 14044:2006) che è dedicata maggiormente al comprendere il ciclo della vita di un prodotto o di un servizio specifico. Negli ultimi anni l'interesse crescente rivolto all'analisi energetica e all'ecosostenibilità ha portato strutture ben delimitate dello studio LCA e un procedimento consolidato, anche se i database e i modelli di calcolo sono in continuo sviluppo e aggiornamento.

Un supporto per l'applicazione di tali standard è fornito da ulteriori norme ISO (ISO 14047:2012 e ISO14049:2012) e l'international reference life cycle data system (ILCD) handbook, con le sudette norme ISO hanno redatto una serie di manuali che costituiscono una guida tecnica per lo svolgimento di analisi del ciclo di vita, che è un processo iterativo che comprende quattro fasi principali.

Il metodo LCA è un procedimento oggettivo di valutazione dei carichi energetici ambientali relativi ad un processo o ad un'attività effettuato attraverso l'identificazione di energia dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente durante l'intero ciclo di vita del processo o attività.

Queste procedure sono utili per:

- Descrivere l'impatto ambientale complessivo di un prodotto;
- Confrontare gli impatti ambientali di prodotti diversi aventi la stessa funzione;
- Identificare lo stadio di ciclo di vita di un prodotto con maggiore impatto dal punto di vista ambientale;
- Indicare strategie da adottare per un miglioramento ambientale.

## 3.2 Le fasi dell'analisi LCA

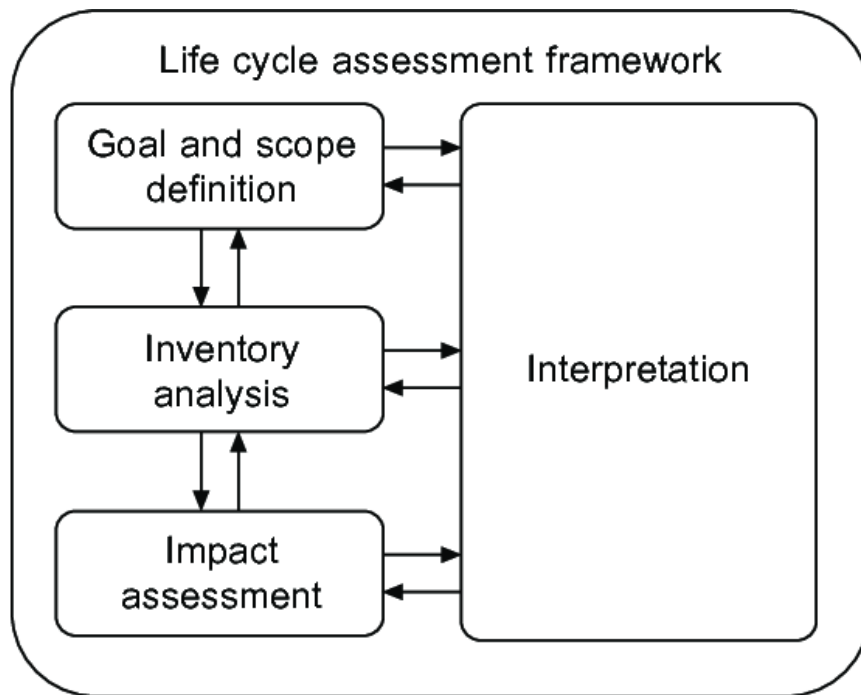
I passi che bisogna seguire nello svolgimento di una analisi LCA sono contenuti all'interno della normativa ISO14040:2006 che definisce la LCA come *“compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita degli elementi in ingresso e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema prodotto”*.

È importante sottolineare che questa analisi non include fattori di carattere economico e sociale quindi non garantisce la sostenibilità economica del prodotto, ma è una tecnica utilizzata per analizzare i flussi di energia, materiale e risorse in entrata nel sistema in esame e i flussi in uscita cioè produzione, produzioni di energia e calore, rifiuti e stima dell'impatto ambientale. Quindi si utilizza solo ed esclusivamente per determinare l'impatto sull'ambiente dell'intero ciclo di vita di un servizio, attività o prodotto.

Le quattro fasi sono:

- Definizione degli Scopi e degli Obiettivi (Goal definition and Scoping): è la fase preliminare in cui vengono definiti le finalità dello studio, l'unità funzionale, i confini del sistema studiato, il fabbisogno di dati, le assunzioni ed i limiti;
- Analisi di inventario (Life Cycle Inventory, LCI): è la prima parte del lavoro, dedicata allo studio del ciclo di vita del processo o attività. Lo scopo principale è quello di ricostruire la via attraverso cui il fluire dell'energia e dei materiali permette il funzionamento del sistema produttivo in esame tramite tutti i processi di trasformazione e trasporto;

- Valutazione degli Impatti (Life Cycle Impact Assessment, LCIA): è lo studio dell'impatto ambientale provocato dal processo o attività ed ha lo scopo di evidenziare l'entità delle modificazioni generate a seguito dei consumi di risorse e dei rilasci nell'ambiente calcolati nell'inventario;
- Interpretazione dei risultati (Life Cycle Interpretation): è la parte conclusiva di una LCA ed ha lo scopo di proporre i cambiamenti necessari a ridurre l'impatto ambientale dei processi o attività considerati.



*Figura 5 fasi LCA*

### 3.2.1 Definizione di obiettivo e campo di applicazione (Goal and Scope)

In questa fase si definisce l'obiettivo dell'analisi e il suo campo di applicazione, in funzione dell'obbiettivo e si definiscono i metodi di raccolta dei dati; da un punto di vista normativo. La ISO14040 introduce così la definizione degli scopi ed obiettivi:

*“Gli obiettivi e gli scopi dello studio di una LCA devono essere definiti con chiarezza ed essere coerenti con l'applicazione prevista. L'obiettivo di una LCA deve stabilire senza ambiguità quali siano l'applicazione prevista, le motivazioni che inducono a realizzare lo studio e il tipo di pubblico a cui è destinato, cioè a quali persone si intendono comunicare i risultati dello studio”.*

- Lo scopo dello studio: che definisce l'applicazione dello studio, le motivazioni per effettuare lo studio e il tipo di pubblico a cui è destinato;
- Unità funzionale: permette il confronto con sistemi differenti, ma funzionalmente equivalenti determinando i flussi di energia e di materia rapportati alla prestazione richiesta.

È il riferimento per normalizzare tutti i dati in ingresso e in uscita dal sistema in esame

- Confini del sistema: determinano processi unitari che devono essere inclusi in LCA, si deve decidere quali processi unitari includere e la selezione del confine del sistema deve essere coerente con lo studio: il

sistema è l'insieme di dispositivi o operazioni delimitato da confini fisici caratterizzati da input e output;

- Categorie di dati e qualità: i dati selezionati per LCA dipendono dall'obiettivo e dal campo di applicazione dello studio, devono avere diverse qualità: copertura tecnologica, copertura geografica, precisione, rappresentatività, riproducibilità, fonti di dati, incertezza di informazione.

Le categorie invece sono gli elementi in ingresso: prodotti, coprodotti e rifiuti, emissioni in aria, acqua e suolo e, infine, altri aspetti ambientali.

### 3.2.2 Analisi di inventario

L'analisi di inventario è detta anche Life Cycle Inventory, la definizione fornita dalla norma ISO 14040 è: in questa fase che vengono *“individuati e quantificati i flussi in ingresso e in uscita da un sistema di prodotto, lungo tutta la sua vita”* quindi costituisce la fase di reperimento di tutti i dati necessari per lo svolgimento dell'analisi a seconda dell'obiettivo precedentemente definito e i metodi di calcolo che permettono di quantificare i dati in ingresso e in uscita da un sistema prodotto. Questa fase, che normalmente richiede il maggior tempo e le maggiori risorse, è svolta in stretta collaborazione con i soggetti che richiedono l'analisi, dove si ricavano tutte le informazioni sul prodotto, processo o servizio e tutti i dati necessari per lo svolgimento dell'analisi LCA. Quindi, l'analisi di inventario si divide in:

- Confini del sistema: bisogna delimitarli e devono essere coerenti con i dati che si otterranno e soprattutto riferiti tutti all'unità funzionale definita in partenza;
- Raccolta dati inventario: quantificazione di flussi in ingresso e in uscita dei confini del sistema e in base al tipo di raccolta dei dati si parla di primary data quando i dati sono ricavati direttamente e secondary data quando sono ricavati da banche dati (dove molti software hanno banche dati riconosciute a livello internazionale o fornite da gruppi di ricerca);
- Allocazione: quando in uno stabilimento avvengono più processi produttivi in contemporanea e sarebbe difficile senza l'allocazione stabilire input e output di ogni linea. Si effettua ripartendo in peso, in consumi ed impatti;
- Procedimento di calcolo: si raccolgono i dati misurando gli input e gli output, si stila l'inventario e si calcolano le quantità specifiche di tutti i componenti usati nel sistema e si sommano le quantità attraverso software di calcolo. Le stime o le semplificazioni di dati vanno specificate e giustificate.

### 3.2.3 Valutazione degli impatti

Dalle informazioni di inventario si determinano l'entità delle modificazioni ambientali che si generano a seguito dell'emissione in ambiente e del consumo. La valutazione degli impatti trasforma ogni flusso di output della tabella inventario in un contributo agli impatti secondo specifiche categorie



di impatto; è una valutazione relativa perché quantificata rispetto all'unità funzionale.

La trasformazione dei dati dall'inventario all'impatto potenziale è fatta assegnando a ciascuna sostanza una categoria di impatto e moltiplicando il suo valore per un fattore equivalente o di caratterizzazione.

Fasi:

- Selezione delle categorie di impatto di interesse degli indicatori corrispondenti a ciascuna categoria di impatto e dei metodi di valutazione;
- Assegnazione dei dati dell'inventario alle categorie (classificazione);
- Calcolo degli indicatori di impatto (caratterizzazione);
- Eventuale normalizzazione dei risultati;
- Eventuale raggruppamento e ponderazione dei risultati;
- Eventuale analisi di qualità dei dati.

Quindi tali fasi sono descritte dalla norma ISO14044, le prime delle quali obbligatorie e le ultime opzionali. Le fasi obbligatorie del Life Cycle Impact Assessment sono:

- Classificazione: è l'assegnazione di ciascun flusso elementare alla o alle rispettive categorie di impatto, in funzione degli effetti che può provocare sull'ambiente. Le categorie di impatto ambientale possono essere: esaurimento delle risorse, salute umana e conservazione dell'ambiente;

- Caratterizzazione: permette il calcolo dei risultati dell'indicatore di categoria. Ciascuna sostanza contribuisce in maniera differente allo stesso problema ambientale per questo la qualità di ciascuna sostanza viene moltiplicata per un fattore di caratterizzazione che misura l'intensità dell'effetto della specifica sostanza sul problema ambientale. Viene eseguita la somma dei valori pesati.

Le fasi opzionali:

- Normalizzazione: in questa fase, i valori ottenuti da ciascun impatto ambientale relativi alle categorie considerate, ottenuti dalla fase di caratterizzazione sono rapportati a fattori di normalizzazione per ottenere l'effetto ambientale rispetto ad un valore di riferimento, cioè con la stessa unità di misura di riferimento;
- Ponderazione: prevede la classificazione o l'ordinamento delle categorie di impatto, l'assegnazione di un peso alle diverse categorie di impatto, in modo da avere un punteggio singolo anziché valori (soprattutto nel caso in cui i due profili hanno profili ambientali differenti). Quindi bisogna stabilire i pesi per ciascun impatto ambientale, moltiplicando il valore della caratterizzazione per il rispettivo peso e sommando il valore ottenuto si ottiene un indice adimensionale dell'impatto totale (esistono numerosi metodi di ponderazione).

Normalizzazione e ponderazione sono elementi opzionali del LCA servono per facilitare l'interpretazione dei risultati, comprendere i risultati e l'importanza relativa ad ogni indicatore di impatto e fornire indicatori su significatività degli impatti.

Avendo un elevato numero di dati da gestire questa fase viene realizzata con l'aiuto di un software commerciale, i quali utilizzano sistemi di caratterizzazione e normalizzazione dei risultati conformi alla normativa.

### 3.2.4 Interpretazione dei risultati

La norma ISO 14040 definisce questa ultima fase come il momento in cui confrontare i risultati dell'analisi di inventario e di quella degli impatti, per proporre utili raccomandazioni in conformità tra lo scopo e gli obiettivi dello studio. Quindi per interpretazione dei risultati si intende il processo di analizzare la ragionevolezza del risultato finale di tutto l'impatto ambientale, trarre le conclusioni, spiegare le limitazioni dei risultati ottenuti, saper fornire delle raccomandazioni sulla base degli stessi risultati.

In questa fase si analizzano in maniera critica i risultati delle fasi precedenti e si identificano le componenti del sistema in cui possono essere apportati dei cambiamenti positivi, al fine di ridurre l'impatto ambientale dei processi considerati. Quindi si controllano e si valutano i risultati per verificare la coerenza con gli obiettivi e il campo di applicazione. I risultati, che comprendono conclusioni, raccomandazioni e rapporti, si comunicano all'azienda o a chi deve prendere le decisioni e bisogna garantire che lo studio sia completo.

Normalmente uno studio LCA termina con la stesura di un rapporto che racchiude le conclusioni giunte.

I risultati ottenuti riguardano sia l'impatto globale che le singole categorie di danno o di impatto, così da stabilire quale categoria ha un carico ambientale maggiore; ovviamente devono rispondere fedelmente allo scopo dello studio ed anche portare a delle deduzioni che servano ad ottimizzare il potenziale ambientale di un sistema.

Le caratteristiche di affidabilità e riproducibilità dello studio sono legate alla verifica di alcuni requisiti:

- **Trasparenza:** chiare esplicazioni dei limiti del sistema (funzionali, territoriali, spaziali), dei livelli di analisi, dei metodi impiegati, delle assunzioni, della qualità dei dati, delle omissioni ed incompletezze nella raccolta, ecc;
- **Consistenza:** gli inventari delle alternative da comparare dovrebbero essere compilati con riferimento agli stessi limiti temporali e spaziali ed agli stessi livelli di analisi;
- **Completezza:** una LCA si può considerare completa quando tutti gli impatti ambientali rilevanti sono seguiti lungo tutto il ciclo di vita;
- **Comprensibilità:** chiara esplicazione dell'intervallo di incertezza (anche in termini qualitativi) delle singole valutazioni;
- **Ripercorribilità:** chiara esplicazione dei percorsi valutativi ed assenza di ridondanze nelle valutazioni.

### 3.3 Caratteristiche principali e limiti della LCA

Il Life Cycle Assessment è lo strumento scientificamente più accurato per valutare gli impatti dei prodotti o servizi durante l'intero ciclo di vita, però ci sono diversi problemi pratici da risolvere prima che la LCA possa prendere largo impiego, di seguito si elencano le caratteristiche di uno studio LCA e le varie limitazioni a cui è soggetto:

- Non comprende gli aspetti economici ed etico-sociali;
- Necessità di semplificazioni e assunzioni;
- Possibile mancanza, non reperibilità o bassa qualità dei dati;
- Impossibilità di una verifica sperimentale dei risultati ottenuti (come tutti i modelli di analisi ambientale);
- Mancanza di banche dati italiane;
- Tempi e costi;
- Il grado di dettaglio della LCA può variare ampiamente, in funzione della definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione;
- Non esiste un unico metodo per condurre la LCA;
- Non esistono basi scientifiche per la riduzione dei risultati della LCA a un singolo punteggio o numero;
- La LCA tratta i potenziali impatti ambientali e non prevede impatti ambientali assoluti o precisi a causa di:
  1. L'espressione relativa degli impatti ambientali a un'unità di riferimento comune a tutti gli indicatori;
  2. L'integrazione dei dati ambientali nello spazio e nel tempo;

3. Alcuni possibili impatti ambientali sono chiaramente impatti futuri. Per le limitazioni, poiché LCA nasce come una evoluzione dell'analisi energetica, sono descritte e analizzate solo le attività che determinano un consumo o una produzione di energia, quindi vengono svolte considerazioni solo energetico/ambientale. Un altro limite dell'analisi è il passaggio da risultati degli effetti globali agli effetti a scala regionale o locale in quanto il peso globale di un determinato inquinante è il risultato di più contributi, mentre gli output rilevati sono a loro volta riferiti a diversi periodi di tempo.

### 3.4 Categorie e indicatori di impatto

L'analisi degli impatti serve a quantificare ed evidenziare gli impatti che si generano per rilasci nell'ambiente (emissioni) e dal consumo delle risorse.

Per quantificare gli impatti ambientale di prodotto si utilizza un indicatore che fornisce un'informazione sintetica relativa ad un fenomeno, l'indicatore è variabile a seconda della regione, condizioni ambientali, etc.

Le categorie di impatto si possono dividere in due grandi gruppi:

1. categorie di input: sono tutti gli impatti connessi con i materiali e le risorse utilizzati e consumati:
  - Estrazione di risorse biotiche (biomasse);
  - Estrazione di risorse abiotiche (combustibili fossili, minerali, acqua, sabbia, etc.);
  - Uso del territorio (perdita di biodiversità, sfruttamento del terreno, etc.).
2. Categorie di output: sono tutti gli impatti causati dai rilasci nell'ambiente di varie sostanze:
  - l'effetto serra,
  - l'assottigliamento della fascia di ozono,
  - la tossicità umana, l'ecotossicità (terrestre e acquatica),
  - la formazione di smog fotochimico,
  - l'acidificazione,
  - l'arricchimento in nutrienti (eutrofizzazione per l'acqua).

Le varie categorie d'impatto sono:

- Effetto serra, climate change/global warming: LCIA hanno una categoria di impatto sull'effetto serra e utilizzano come indicatore il global warming potential (GWP), il GWP è calcolato considerando le sostanze che contribuiscono al riscaldamento globale (effetto combinato di tempo di permanenza in atmosfera e relativa efficacia specifica nell'assorbimento della radiazione infrarossa emessa della terra) Il GWP di ogni gas è calcolato dall'Intergovernment Panel on Climate Change (IPCC) e misura quanto il gas serra contribuiscono al riscaldamento globale rispetto al CO<sub>2</sub> (emissione di anidride carbonica equivalente);
- Riduzione dello strato di ozono stratosferico: alcuni gas causano danni all'ozono, e il suo danneggiamento riduce la sua capacità di impedire che la luce ultravioletta raggiunga la superficie terrestre. L'ozono, essendo meno di una parte per milione dei gas atmosferici, assorbe quasi interamente la radiazione ultravioletta solare. l'Organizzazione meteorologica mondiale (WMO) definisce il potenziale di riduzione dell'ozono di diversi gas espressi tutti in kg CFC-11 equivalenti / kg emissione (triclorofluorometano);
- Acidificazione: Processo che converte in acidi le sostanze inquinanti presenti in atmosfera, comunemente detta pioggia acida cioè il processo di ricaduta dall'atmosfera di particelle, gas e precipitazioni acide. Se avviene sotto forma di precipitazioni si parla di deposizione umida, in caso contrario si parla di deposizione secca. L'indicatore dell'acidificazione si esprime in kg di SO<sub>2</sub> equivalenti (anidride solforosa);



- Eutrofizzazione: Aumento di concentrazione di sostanze nutritive chimiche in ecosistemi acquatici (produttività anomala che porta a un'eccessiva crescita di alghe e di conseguenza una riduzione della qualità dell'acqua e delle popolazioni di animali). Il potenziale di eutrofizzazione o nitrificazione (NP) viene espresso come kg PO<sub>4</sub> equivalenti/ kg emissione;
- Formazione Smog fotochimici: lo smog fotochimico è un particolare inquinamento dell'aria che si forma dalla reazione di composti organici volatili e ossidi di azoto in presenza di calore e luce solare. L'indicatore della formazione fotochimica di ozono è quindi espresso in kg di C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> equivalenti (etilene equivalente);
- Esaurimento di risorse (abiotiche o biotiche): si parla di consumo di risorse non biologiche o abiotiche (combustibili fossili, etc....) e invece di consumo di risorse abiotiche (biomasse) e sono i risultati dei consumi di energia e di materiali di un inventario di un ciclo di vita; vengono comunemente forniti separatamente. Di solito si parla di consumo energetico diretto (espresso in MJ) e di consumo di materie prime necessarie allo svolgimento della stessa (espresso in Kg). Viene determinato sulla stima delle riserve disponibili per la risorsa considerata cioè sul tasso di utilizzo;
- Tossicità: alcune sostanze possono avere un impatto su diversi ecosistemi oppure potenziale danno sull'uomo di una sostanza chimica rilasciata nell'ambiente. Potenziale di tossicità.

| <b>Categoria di impatto</b>                          | <b>Scala</b>                   | <b>Indicatore</b>                                | <b>Breve descritti</b>   |
|--|--------------------------------|--|--|
| <b>Riscaldamento globale</b>                         | Globale                        | Potenziale di riscaldamento globale              | Convertire i dati LCI in equivalenti di CO <sub>2</sub>                                |
| <b>Riduzione dello strato di ozono stratosferico</b> | Globale                        | Potenziale di riduzione dell'ozono               | Convertire i dati LCI in equivalenti di triclorofluorometano (CFC-11)                  |
| <b>Acidificazione</b>                                | Regionale<br>Locale            | Potenziale di acidificazione                     | Convertire i dati LCI in equivalenti di ioni idrogeno (H <sup>+</sup> )                |
| <b>Eutrofizzazione</b>                               | Locale                         | Potenziale di eutrofizzazione                    | Convertire i dati LCI in equivalenti di fosfato (PO <sub>3</sub> )                     |
| <b>Formazione Smog fotochimici</b>                   | Locale                         | Potenziale di creazione di ossidanti fotochimici | Convertire i dati LCI in equivalenti di C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>                  |
| <b>Esaurimento di risorse abiotiche e biotiche</b>   | Globale<br>Regionale<br>Locale | Potenziale di impoverimento                      | Convertire i dati LCI in un rapporto di qualità di risorsa usata e quantità rilasciata |
| <b>Ecotossicità e tossicità per l'uomo</b>           | Locale                         | LC50   | Convertire i dati LCI in equivalenti   |

*Tabella 1 Categorie d'impatto*

Categorie di impatto:

Danni alla salute umana.

- Composti cancerogeni: effetti cancerogeni dati dalla emissione dei composti cancerogeni nell'aria, nell'acqua e nel suolo;
- Effetti dei composti organici sulle vie respiratorie: effetti sulle vie respiratorie dovuti allo "smog estivo" prodotto dall'emissione di composti organici nell'aria;
- Effetti dei composti inorganici sulle vie respiratorie: effetti sulle vie respiratorie date dallo "smog invernale" causato dall'emissione di polveri, ossidi di azoto e di zolfo in aria;
- Cambiamento climatico: danno dovuto ad un incremento di malattie e morti a causa del cambiamento climatico;
- Radiazioni: danno dovuto alla radiazione ionizzante;
- Ozonosfera: danno dovuto all'aumento delle radiazioni UV a seguito di emissioni di composti ad esaurimento di ozono nell'aria.

Danni alla qualità del sistema:

- Ecotossicità: danno alla qualità dell'ecosistema, derivate dall'emissione in aria, acqua e suolo di composti ecotossici;
- Acidificazione/eutrofizzazione: danno alla qualità dell'ecosistema dovuto all'emissione di composti acidificanti nell'aria;
- Uso del suolo: l'uso del suolo in sistemi artificiale produce un impatto ambientale sulla biodiversità. Sulla base di osservazioni sul campo, si sviluppa una scala che esprime la diversità delle specie in base alla tipologia

di uso del suolo. La diversità delle specie dipende dal tipo di uso del suolo e dalla dimensione dell'area. La categoria d'impatto considera sia gli effetti regionali che locali. Il danno è conseguenza sia della conversione dei terreni sia della loro occupazione.

#### Danno alle risorse

- Impoverimento/esaurimento delle risorse: l'umanità tenderà sempre ad estrarre le migliori risorse, in primo luogo, lasciando per il futuro le risorse di qualità inferiore. Il danno della scarsità delle risorse sarà vissuto dalle generazioni future, in quanto sarà necessario produrre sforzi sempre maggiori per estrarre risorse rimanenti. Questo sforzo supplementare è espresso in surplus di energia per kg di minerali. Combustibili fossili: surplus di energia per MJ estratto, Kg o mc di combustibile fossile.

### 3.5 Software LCA: SimaPro

Esistono diversi software e banche dati sul mercato per eseguire uno studio LCA, uno di questi è Gabi software tedesco e il secondo è SimaPro che è stato sviluppato dal ministero olandese. Sono strumenti simili che permettono di eseguire un'analisi veloce del ciclo di vita del prodotto e di modellare il prodotto in modo flessibile e parametrico. Dopo aver costituito il modello questi software permettono di valutare gli impatti finali in modo immediato grazie agli indicatori calcolati in base al modello costruito.

SimaPro è uno dei software più utilizzati per effettuare analisi LCA e nasce dall'esigenza del ministero olandese di valutare l'impatto ambientale nel modo più accurato, versatile e oggettivo possibile. È prodotto dalla Prè Consultant, una ditta olandese che dagli inizi degli anni '90 si è interessata a questi tipi di studio e si è dedicata alla realizzazione di questo software adatto a fare analisi del contributo che danno elementi, materiali e processi, all'impatto ambientale valutato sotto molti aspetti.



*Figura 6 Logo SimaPro*

Attualmente è adoperato in oltre 60 paesi al mondo tra università, grandi aziende e società di consulenza per effettuare valutazioni sulle prestazioni ambientali ed

energetiche di vari processi, prodotti e servizi. Il software ha un'ottima flessibilità di analisi e di utilizzo infatti dispone di vari parametri di modellizzazione e database.

Le caratteristiche principali del software sono:

- Interfaccia intuitiva e in accordo con UNI EN ISO 14040;
- Modellazione facile e veloce;
- Possibilità di ricostruire il ciclo di vita di un prodotto con una struttura ad albero;
- Disponibilità di diverse banche dati su statistiche economiche e ambientali;
- Analisi di incertezza tramite il metodo di Monte Carlo;
- La flessibilità, poiché permette di inserire nuovi processi, materiali e metodi di analisi degli impatti ambientali, di modificare o completare quelli già esistenti e di adattarli al caso studio;
- Possibilità di scegliere diversi metodi di valutazione degli impatti;
- Analisi del trattamento dei rifiuti e scenari di riciclaggio;
- La possibilità di importare ed esportare dati, grafici e tabelle.

Il software è diviso in progetti dove tutti i dati inseriti vengono organizzati ed è formato da quattro sezioni:

1. Obiettivo e ambito: si definiscono gli obiettivi e l'unità funzionale e oltre a questa descrizione dello studio si scelgono le librerie che sono dei dati già presenti all'interno del software e possono essere integrati e aggiornati in modo da avere processi o materiali nuovi, ovviamente ogni libreria ha un suo campo di applicazione così da avere una libreria adatta per ogni progetto;

2. Inventario: si ricrea il ciclo di vita del componente con tutti gli input e output dove su “Processi” si può creare o modificare i processi esistenti e sono raggruppati in categorie e in sottocategorie in base all’ambito a cui si riferiscono, poi c’è la voce “fasi del prodotto” si costruisce il ciclo di vita del prodotto:

- Assemblaggio: dove si inseriscono tutti i componenti del prodotto e si inseriscono tutti i materiali, processi produttivi, di trasporto o energetici necessari per produrre il prodotto;
- Ciclo di vita: contiene il prodotto oggetto dell’analisi, processi relativi all’uso del prodotto, scenario di fine vita;
- Scenario di smaltimento: si descrive il fine vita del prodotto e le varie percentuali destinate al disassemblaggio, riuso, smaltimento in discarica;
- Riuso: elenco dei processi che descrivono il carico ambientale del riuso.

3. Valutazione dell’impatto: si sceglie il metodo di visualizzazione degli impatti e si creano i report;

4. Wizard.

Si mantengono i dati relativi ad uno studio separati rispetto ad altri studi e archiviati in modo semplice.

### 3.5.1 Banche dati

Simapro ha diverse banche dati che forniscono gli elementi base per scegliere i processi o i materiali più adatti per lo studio e in Simapro ne sono presenti circa 9: Ecoinvent Processes, DK Input Output Database 99, BUWAL 250, ETH-ESU 96 Processes, Franklin USA 98, IDEMAT 2001, Industry Data, LCA Food DK, USA Input Output Database 99.

Nel caso di studio si è utilizzato Ecoinvent 5.6 che è una banca dati di origine svizzera e copre diversi processi, circa 4000, nei diversi settori industriali per lo più delle attività presenti in Europa:

- Trasporti,
- Energia,
- Materiali da costruzione,
- Prodotti chimici,
- Prodotti per il lavaggio,
- Carta e cartone,
- Agricoltura,
- Trattamento degli inquinanti.

Tutti i processi hanno una descrizione dei dati e informazioni relative all'incertezza.

Poi è stata selezionata la libreria Methods che ha una serie di metodi predefiniti di valutazione dell'impatto ambientale.



### 3.5.2 Metodo di calcolo e valutazione degli impatti

Per valutare gli impatti si possono scegliere diversi metodi di calcolo e ogni metodo di calcolo contiene dalle dieci alle venti categorie di impatto che possono essere opportunamente aggregate. I vari metodi di calcolo sono: CML 2001, Eco-Indicator 99, EPS 2000, EDIP 2003, IMPACT 2002+, BEES, IPCC 2007 GWP, etc. ovviamente sta all'utilizzatore scegliere il metodo di valutazione più opportuno. La struttura dei metodi ricalca la norma ISO 14042 e prevede gli step precedentemente descritti: classificazione, caratterizzazione, normalizzazione e ponderazione.



*Figura 7 Logo EPD*

Il metodo di calcolo preso in considerazione è stato il metodo EPD 2008; questo metodo è principalmente usato per la preparazione di dichiarazioni ambientali di prodotto EPD dove nello standard EPD riferisce gli effetti delle seguenti categorie d'impatto:

- Composti ad elevati potenziali di riscaldamento;
- Gas ad effetto serra;
- Gas nocivi allo strato di ozono;
- Composti acidificanti;
- Gas che comportano creazione di ozono fotochimico;
- Composti eutrofizzanti.

## 4 Impatti ambientali Poltrona Archibald

### 4.1 Poltrona Frau

Il caso di studio riguarda la poltrona Archibald dell'azienda Poltrona Frau, è un'azienda italiana che opera nel settore dell'arredamento di lusso con sede a Tolentino. Fondata nel 1912 a Torino dal sardo Renzo Frau, attualmente è controllata dal gruppo americano Haworth Inc.

Dal 1912 ad oggi l'azienda è sempre stata al passo con i tempi cercando di anticipare le tendenze di mercato e diventando fornitrice di diversi progetti: Fornitore ufficiale di Real Casa Savoia (1926), arredamento del transatlantico Rex (1930), il Parlamento italiano (1932), sale di rappresentanza di Torino della Rai (1950), l'Europarlamento (1996), Realizza i sedili della Walt Disney Concert Hall a Los Angeles (2010), Attualmente allestisce gli interni delle vetture della Ferrari (tra cui la LaFerrari Aperta, la GTC4Lusso e la 812 Superfast).



*Figura 8 Logo Poltrona Frau*

#### 4.1.1 Poltrona Archibald

È un articolo di arredamento prodotto da Poltrona Frau nato nel 2009 con la collaborazione del designer e architetto francese Jean-Marie Massaud. Già nell'anno della sua creazione, l'apprezzamento del pubblico internazionale la rende un best seller assoluto e la colloca tra le icone del design. Ha una struttura tondeggiante realizzata in poliuretano e un sistema di molle innovativo ottenuto da un kit espanso in poliuretano.



*Figura 9 Poltrona archibald*

## 4.2 Obiettivo e campo di applicazione

Per questo studio si è svolta un'analisi LCA. della poltrona Archibald: si sono analizzati i processi che vanno dalla produzione fino alla fine della vita della poltrona, cioè materie prime, lavorazioni, montaggi, spedizioni e smaltimento. Ovviamente la poltrona deve permettere la seduta di una persona per un periodo temporale di quindici anni e per lo sviluppo dell'analisi si è utilizzato il software SimaPro, il quale ci fornisce dati relativi agli impatti ambientali di ogni elemento: materiali, trasporti, processi di produzione e fine vita. Il software ci fornisce diverse categorie di impatto ambientale:

- Acidificazione (kg SO<sub>2</sub> eq): Ripercussioni delle sostanze acidificanti sull'ambiente (suolo e acqua). Calo del valore del pH dei sistemi naturali terrestri e dell'acqua causato dall'emissione di acidi e sostanze acidificanti;
- Eutrofizzazione (kg PO<sub>4</sub><sup>---</sup> eq): Disturbo dell'equilibrio nutrizionale nel suolo e nei corsi/serbatoi d'acqua a causa dell'aumento delle emissioni di nutrienti, per esempio l'azoto. Questo può portare all'impoverimento dell'ossigeno;
- Global Warming Potential (kgCO<sub>2</sub>e): Aumento della temperatura media atmosferica globale. Causato dall'aumento della concentrazione di gas serra, che assorbono e riflettono il calore dalla superficie terrestre;
- Formazione di ozono fotochimico (kg NMVOC): Generazione di ozono (smog) nella parte inferiore dell'atmosfera, che è tossico per gli esseri umani e la vegetazione;

- Impoverimento delle risorse abiotiche, elementi (kg Sb eq): Le risorse non rinnovabili sono i metalli e i minerali. Il consumo è relativo alla quantità di riserve di antimonio disponibile;
- Impoverimento delle risorse abiotiche, fossili (MJ): Considera i combustibili fossili come il petrolio, il gas e il carbone, che provengono dal sottosuolo. I fattori di caratterizzazione sono il potere calorifico netto al punto di estrazione del combustibile fossile;
- Impoverimento delle risorse, acqua (m<sup>3</sup> water eq.): Uso di m<sup>3</sup> di acqua connesso alla scarsità locale di acqua.

### 4.3 Analisi di Inventario

L'azienda per facilitare l'analisi ha fornito un file Excel con la distinta componenti, e vari file contenenti gli assemblati e i componenti descritti in fig.10 che hanno facilitato la comprensione dell'assemblaggio, la conformazione della poltrona, i materiali e le masse.

| Cod.Figlio | Descr.Alternativa              | FORNITORE                      | Km   | Materiale 1                         | Massa Totale [kg] |
|------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------------------------------------|-------------------|
| 124725     | VITE TPS IC N TRUC BFO 4X40    | BERARDI BULLONERIE S.R.L.      | 53,8 | Acciaio                             | 0,036             |
| 101441     | VITE TPS EI ZIN LACC. M8X30    | BERARDI BULLONERIE S.R.L.      | 53,8 | Acciaio                             | 0,0622            |
| 124502     | VITE TPS EI ZIN M8X35          | BERARDI BULLONERIE S.R.L.      | 53,8 | Acciaio                             | 0,1596            |
| 124500     | KIT CORNICI P.NA ARCHIBALD     | G.M. MECCANICA S.R.L.          | 37,5 | Acciaio                             | 1,45E-00          |
| 114710     | ESPANSO MONADES CM 100X15X5    | PAOLO CAPPELLONI S.R.L.        | 18,2 | Poliuretano Espanso                 | 0,15              |
| 128195     | ESPANSO ADES.DENS.21 SP6 MM    | PAOLO CAPPELLONI S.R.L.        | 18,2 | Poliuretano Espanso                 | 0,02331           |
| 124504     | IMBOTT.SCH.P.NA ARCHIBALD      | SC ALBANI FURNITURE S.R.L.     | 1,7  | Valform                             | 0,13816224        |
| 124503     | KIT ESP.P.NA ARCHIBALD         | PAOLO CAPPELLONI S.R.L.        | 18,2 | Poliuretano                         | 1,13              |
| 130460     | FONDELLO TNT NERO P ARCHIBALD  | E.M. COMPANY S.R.L.            | 25,6 | Tessuto Non Tessuto (TNT)           | 0,084375          |
| 140071     | PELLE SC-05 STUCCO             | DANI S.P.A.                    | 445  | Pelle                               | 4,48              |
| 138970     | TELA JACQUARD NV18 TALPA       | MANIFATTURE TOSCANE TA-BRU SPA | 539  | Tela Jacquard (Poliestere + Cotone) | 0,62              |
| 121560     | FILO ONYX 81 NV07 COL.1209     | AMANNITALIA S.r.l.             | 506  | Nylon                               | 0,02              |
| 121482     | FILO LUBRIF MM 0,8 COL.313     | ZALLOCCO S.R.L.                | 36   | Filo Lubrificato                    | 1                 |
| 100967     | SACCHETTO POLIET. CM 157X150   | SACCOPLAST S.R.L.              | 16,4 | Polietilene                         | 0,026             |
| 11304      | SACCHETTO MINIGRIP CON LOGO    | SACCOPLAST S.R.L.              | 16,4 | Polietilene                         | 1                 |
| 105236     | SCATOLA P LYRA                 | SIOS S.R.L.                    | 11,2 | Cartone (da Imballaggio)            | 0,0167            |
| 123207     | ASTUCCIO KIT PULIZIA STO NV12  | LINEAGRAFICA S.N.C. DI CESPIG. | 6,7  | Carta                               | 1                 |
| 100693     | SPESS IMBALLO SERENI 103X25X2  | SIOS S.R.L.                    | 11,2 | Cartone (da Imballaggio)            | 0,00103           |
| 123162     | PIEDE MET.CAN.FUC. ARCHIB NV11 | EFESTO S.R.L.                  | 513  | Pressoluso Alluminio                | 3,52512           |
| 120714     | TAPPO FOAM SP 10MM D118 H400   | ISOFOM S.R.L.                  | 148  | Foam                                | 0,01831248        |
| 124724     | PUNTALE NERO GL 16 NERO        | PLASTICMETALL GES.M.B.H.       | 453  | Polietilene                         | 0,001479066       |
| 124499     | FUSTO SCHIUMATO P.NA ARCHIBALD | F.LLI ROSSETTO S.A.S.          | 140  | Betulla e Poliuretano               | 21                |
| 104788     | TAGLIANDO DI CONTROLLO         | LINEAGRAFICA S.N.C. DI CESPIG. | 6,7  | Carta                               | 0,005             |
| 129206     | CERTIF.ORIG.AUTENTICITÀ NV12   | LINEAGRAFICA S.N.C. DI CESPIG. | 6,7  | Carta                               | 0,005             |
| 111347     | TARGHETTA LEXAN 3M468 SP 0,25  | SERIART G2 SRL                 | 12,4 | Lexan                               | 0,00648           |
| 132870     | ETICH.TE117 ARCHIBALD          | LINEAGRAFICA S.N.C. DI CESPIG. | 6,7  | Carta                               | 1                 |
| 124498     | SCHEDA PRODOTTO ARCHIBALD      | LINEAGRAFICA S.N.C. DI CESPIG. | 6,7  | Carta                               | 0,005             |

Figura 10 distinta componenti

Dopo aver analizzato i file che l'azienda ha fornito è stato assegnato ad ogni componente il suo rispettivo materiale, la sua rispettiva massa e la distanza tra azienda e fornitore.

Per le masse sono stati analizzati cataloghi online delle varie aziende fornitrici, ricavati dai disegni tecnici o calcolati attraverso una densità media, ottenendo dati attendibili e confermati dall'azienda.

Una volta analizzate le varie masse, materiali e trasporti, è stata apportata una suddivisione dei vari componenti in sottocategorie relative alla propria funzione o collocamento. Ad esempio, tutte le viti sono state inserite nella

categoria “Minuteria Metallica”. I restanti componenti sono stati suddivisi e riportati in fig.11.

Dopo aver ottenuto i vari dati, sono stati inseriti i componenti su SimaPro cercando le diciture più appropriate dei materiali, ad esempio per gli elementi metallici come le viti è stata inserita la dicitura: “Steel, low-alloyed {GLO}| market for | Cut-off, U”, come si può vedere nell’immagine superiore, per i trasporti dei materiali all’azienda è stato ipotizzato un trasporto su gomma attraverso un camion merci euro3 poiché tutte le aziende fornitrici sono ubicate in Italia.

|                     |        |                                |                           |  |
|---------------------|--------|--------------------------------|---------------------------|--|
| MINUTERIA METALLICA | 124125 | VITE TPS IC X TRUC BRO 4X40    | Acciaio                   | Steel, low-alloyed (GLO) market for   Cut-off, U   |
|                     | 101441 | VITE TPS EI Z/N LACC. M6X30    | Acciaio                   | Steel, low-alloyed (GLO) market for   Cut-off, U   |
|                     | 124502 | VITE TPS EI Z/N M8X35          | Acciaio                   | Steel, low-alloyed (GLO) market for   Cut-off, U   |
| STRUTTURA           | 124724 | PUNTALE NERO GL 16 NERO        | Polietilene               | Polyethylene, low density, granulate (GLO) market for   Cut-off, U   |
|                     | 130450 | FONDELLO TNT NERO P. ARCHIBALD | Tessuto Non Tessuto (TNT) | Textile, non-woven polypropylene (GLO) market for textile, non woven polypropylene   Cut-off, U  |
|                     | 124439 | FUSTO SCHIUMATO P.NA ARCHIBALD | Poliuretano               | Polyurethane, rigid foam (PER) market for polyurethane, rigid foam   Cut-off, U  |
|                     | 126162 | PIEDE MET.CAN.FUC.ARCHIB NV11  | Legno                     | Fibreboard, hard (GLO) market for   Cut-off, U   |
|                     | 124500 | KIT COPRIFICI P.NA ARCHIBALD   | Acciaio                   | Steel, low-alloyed (GLO) market for   Cut-off, U   |
| IMBOTTITURA         | 124503 | KIT ESP.P.NA ARCHIBALD         | Poliuretano espanso       | Polyurethane, flexible foam (PER) market for polyurethane, flexible foam   Cut-off, U  |
|                     | 124504 | IMBOTT.SCH.P.NA ARCHIBALD      | Valform                   | Fibre, polyester (GLO) market for fibre, polyester   Cut-off, U  |
| RIVESTIMENTO        | 140071 | PELLE SC-05 STUCCO             | Pelle                     |  |
|                     | 138970 | TELA JACQUARD NV18 TALPA       | Cotone                    | (65%) Textile, non-woven polyester (GLO) market for textile, non woven polyester   Cut-off, U<br>(35%) Textile, woven cotton (GLO) market for   Cut-off, U |
| PACKAGING           | 105836 | SCATOLA PLYRA                  | Cartone (da imballaggio)  | Kraft paper, unbleached (GLO) market for   Cut-off, U  |
|                     | 100683 | SPESS IMBALLO SEPEN 103X25X2   | Cartone (da imballaggio)  | Kraft paper, unbleached (GLO) market for   Cut-off, U  |
|                     | 14170  | ESPANSO MONOCHES CM 100X15X5   | Poliuretano Espanso       | Polyurethane, flexible foam (PER) market for polyurethane, flexible foam   Cut-off, U  |
|                     | 126195 | ESPANSO ADES.DENS.21 3P6 MM    | Poliuretano Espanso       | Polyurethane, flexible foam (PER) market for polyurethane, flexible foam   Cut-off, U  |
|                     | 104788 | TAGLIANDO DI CONTROLLO         | Carta                     | Printed paper (GLO) market for   Cut-off, U  |
|                     | 124438 | SCHEDA PRODOTTO ARCHIBALD      | Carta                     | Printed paper (GLO) market for   Cut-off, U  |
| ALTRI COMPONENTI    | 100967 | SACCHETTO POLIET. CM 15X150    | Polietilene               | Packaging film, low density polyethylene (PER) production   Cut-off, U   |
|                     | 120714 | TAPPO FOAM 3P 10MM D 18 H400   | Polietilene               | Polyethylene, low density, granulate (GLO) market for   Cut-off, U   |
|                     | 121560 | FILO ONLY 81 NV07 COL 1209     | Nylon                     | Nylon 6-6 (PER) market for nylon 6-6   Cut-off, U  |
|                     | 121482 | FILO LUBRIF. MM 0,8 COL 913    | Acciaio                   | Steel, low-alloyed (GLO) market for   Cut-off, U   |
| DA TRASCURARE       | 132006 | CERTIF. ORIG. AUTENTICITÀ NV12 | Carta                     |  |
|                     | 11347  | TARGHETTA LEXAN 3M455 3P 0,25  | Lusso                     |  |
|                     | 132870 | ETICHETTA ARCHIBALD            | Carta                     |  |
|                     | 123335 | SALVIETTA CLEANER/PROTECTOR    | Materiale da Pulizia      |  |
|                     | 123207 | ASTUCCIO KIT PULIZIA STD NV12  | Carta                     |  |
|                     | 141304 | SACCHETTO MINIGRIP CON LOGO    | Polietilene               |  |

Figura 11 Materiali poltrona

Sono stati ipotizzati i processi produttivi dei materiali “plastici” per stampaggio e per i materiali metallici con asportazione di truciolo del dieci percento della massa del materiale grezzo trascurando trattamenti superficiali per mancanza di informazioni.

Una volta finito con l’inserimento dei materiali, sono stati inseriti i valori di consumo energetico delle lavorazioni utilizzate per la produzione della poltrona

Archibald. L'azienda ha fornito anticipatamente i consumi di energia per ogni singola lavorazione ed è stato ipotizzato un utilizzo di corrente ripartita con il sessantacinque per cento ad energia a medio voltaggio e il restante trentacinque per cento a basso voltaggio, ottenendo così per ogni lavorazione il consumo energetico relativo ad ogni processo in base al tempo impiegato.

| Lavorazione                     | kW/minuto | Assorbito | Low voltage | Medium Voltage |
|---------------------------------|-----------|-----------|-------------|----------------|
| 430 CUCITURA MACCHINA PIANA     | 264,48    | 4,408     | 1,533217391 | 2,874782609    |
| 510 RICOPERTURA                 | 255,36    | 4,256     | 1,480347826 | 2,775652174    |
| 520 MONTAGGIO/ASSEMBLAGGIO      | 86,64     | 1,444     | 0,50226087  | 0,94173913     |
| 530 FINIZIONE                   | 118,56    | 1,976     | 0,687304348 | 1,288695652    |
| 610 CONTROLLO,PULIZIA E IMBALLO | 104,88    | 1,748     | 0,608       | 1,14           |
| 620 SPEDIZIONE                  | 15,504    | 0,2584    | 0,089878261 | 0,168521739    |

*Figura 12 Consumi energia*

Dopo che sono stati analizzati i vari componenti e le varie lavorazioni sono stati ipotizzati i trasporti tra l'azienda e il cliente:

- Trasporto nazionale: è stato considerato un trasporto su gomma di un camion merci euro3 di 1000 chilometri.
- Trasporto europeo: è stato considerato un trasporto su gomma di un camion merci euro3 di 2500 chilometri.
- Trasporto internazionale: è stato considerato un trasporto su gomma di un camion merci euro3 di 1000 chilometri verso un porto e infine 14000 chilometri su nave.

Ovviamente il programma considera il mezzo di trasporto carico del 80 per cento della sua capienza media massima.

L'ultimo dato che è stato inserito riguarda la fine vita del prodotto considerando per difetto un ciclo di vita di 15 anni e un riciclo parziale dei materiali; dove non fosse



possibile riciclare si è supposto un 50 per cento in discarica e un 50 per cento agli inceneritori.

Dopo aver raccolto questi dati sono stati inseriti all'interno di SimaPro per eseguire il calcolo dei vari impatti ambientali ed estrapolare i vari dati.

## 4.4 Risultati

Una volta inseriti i vari dati su SimaPro ed eseguendoli con il metodo di calcolo EPD (dichiarazione ambientale di prodotto), il software ci fornisce i diversi impatti ambientali.

| Categoria d'impatto   | Unità        | Materiale   | Manufacturing | Trasporto Internazio | Scenario Smaltiment | Pelle       |
|-----------------------|--------------|-------------|---------------|----------------------|---------------------|-------------|
| Acidification         | kg SO2 eq    | 0,902231146 | 1,95E-02      | 0,163                | 1,91E-02            | 2,7328      |
| Eutrophication        | kg PO4--- eq | 0,356533691 | 5,58E-03      | 0,02042              | 6,50E-04            | 1,2544      |
| Global warming        | kg CO2 eq    | 176,9886632 | 4,34E+00      | 10,36                | 2,63E-01            | 180,6336    |
| Photochemical oxid    | kg NMVOC     | 0,743072635 | 1,06E-02      | 0,1527               | 2,45E-03            | 0,4928      |
| Abiotic depletion, el | kg Sb eq     | 0,014532671 | 5,58E-05      | 0,0001923            | 2,85E-06            | 0,000158592 |
| Abiotic depletion, fo | MJ           | 2686,394507 | 5,51E+01      | 145,5                | 6,11E+00            | 1023,2768   |
| Water scarcity        | m3 eq        | 108,2067981 | 2,69E+00      | 0,3417               | 2,74E-01            | 140,4928    |
| Ozone layer depleti   | kg CFC-11 eq | 2,04794E-05 | 5,56E-07      | 0,000001805          | 6,61E-08            | 0           |

Tabella 2 Impatti totali poltrona

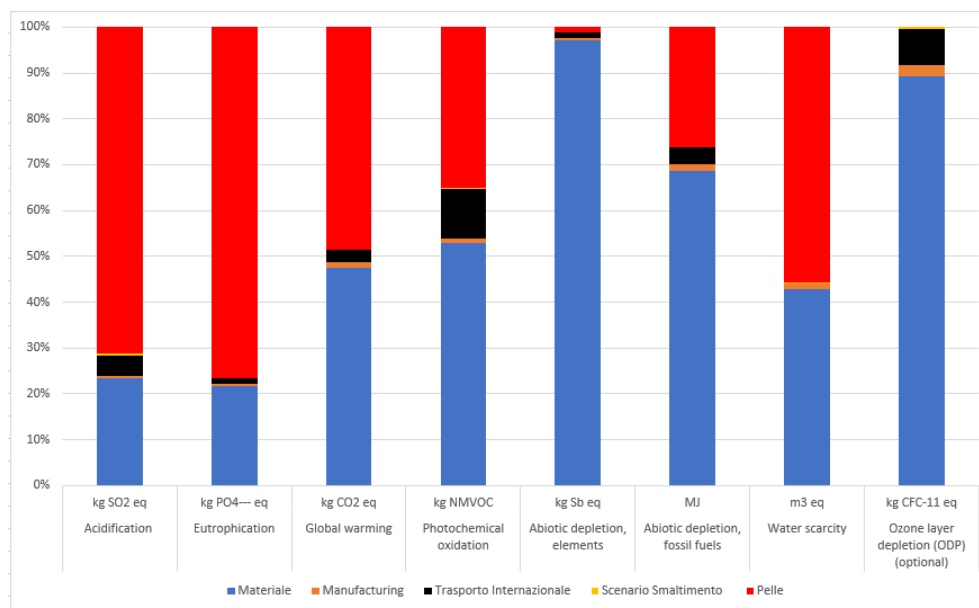


Figura 13 Grafico impatti totali Poltrona

Si può notare che ogni componente impatta in modo diverso e che le categorie più impattanti sono materiali e pelle e quindi incidono negativamente sull'ambiente; mentre manufacturing (lavorazioni per realizzare l'assemblato della poltrona),

trasporto (analisi totale è stato preso in considerazione quello internazionale) e fine vita sono praticamente trascurabili impattando molto di meno.

| Categoria d'impatto            | Unità        | STRUTTURA | RIVESTIMENTO | PACKAGING | MINUTERIA METALLI | IMBOTTITURA | MANUFACTURING | Scenario Smalltimer | Trasporto Internaz |
|--------------------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|-------------------|-------------|---------------|---------------------|--------------------|
| Acidification (fate not incl.) | kg SO2 eq    | 8,52E-01  | 5,30E-03     | 9,00E-03  | 2,70E-03          | 3,32E-02    | 1,95E-02      | 1,91E-02            | 1,63E-01           |
| Eutrophication                 | kg PO4--- eq | 3,39E-01  | 4,73E-03     | 2,81E-03  | 1,68E-03          | 8,68E-03    | 5,58E-03      | 6,50E-04            | 2,04E-02           |
| Global warming (GWP100a)       | kg CO2 eq    | 1,65E+02  | 7,94E-01     | 2,18E+00  | 5,73E-01          | 7,97E+00    | 4,34E+00      | 2,63E-01            | 1,04E-01           |
| Photochemical oxidation        | kg NMVOC     | 7,04E-01  | 3,01E-03     | 7,51E-03  | 2,73E-03          | 2,66E-02    | 1,06E-02      | 2,45E-03            | 1,53E-01           |
| Abiotic depletion, elements    | kg Sb eq     | 1,45E-02  | 9,85E-06     | 1,50E-05  | 1,35E-05          | 4,04E-05    | 5,58E-05      | 2,85E-06            | 1,32E-04           |
| Abiotic depletion, fossil fue  | MJ           | 2,50E+03  | 1,18E+01     | 4,09E+01  | 6,02E+00          | 1,24E+02    | 5,51E+01      | 6,11E+00            | 1,46E+02           |
| Water scarcity                 | m3 eq        | 9,45E+01  | 6,25E+00     | 1,50E+00  | 1,18E-01          | 5,79E+00    | 2,69E+00      | 2,74E-01            | 3,42E-01           |
| Ozone layer depletion (ODF)    | kg CFC-11 eq | 2,01E-05  | 3,99E-08     | 8,01E-08  | 3,41E-08          | 1,91E-07    | 5,56E-07      | 6,61E-08            | 1,81E-06           |

Tabella 3 Impatti totali materiali poltrona senza pelle

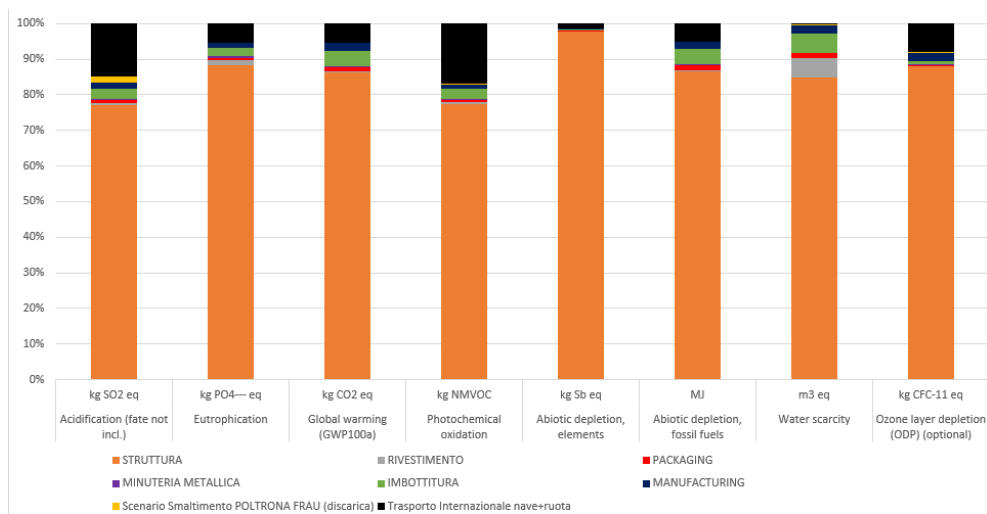


Figura 14 Grafico Impatti poltrona senza pelle

Nel grafico riportato precedentemente sono presenti tutti i materiali tranne la pelle che è stata volutamente eliminata dal grafico perché così si possono evidenziare meglio anche le sottocategorie dei materiali. Si può notare che tra tutti i materiali presenti la categoria più impattante è la struttura, che risulta essere quindi la seconda categoria per impatto dopo la pelle.

Di seguito sono riportate le analisi delle singole categorie:

#### 4.4.1 Struttura:

| Categoria d'impatto                    | Unità        | Fondello TNT Ner | Fusto Schiumato | KIT Cornici P. ARCH | Piede met.can.fuc | Puntale Nero GL 16 | Tappo FOAM SP 10n |
|--|--------------|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Acidification (fate not incl.)         | kg SO2 eq    | 1,95E-03         | 6,62E-01        | 4,08E-02            | 1,47E-01          | 8,98E-05           | 2,71E-04          |
| Eutrophication                         | kg PO4--- eq | 6,88E-04         | 2,71E-01        | 2,61E-02            | 4,07E-02          | 2,84E-05           | 9,04E-05          |
| Global warming (GWP100a)               | kg CO2 eq    | 4,23E-01         | 1,30E+02        | 9,25E+00            | 2,54E+01          | 2,29E-02           | 6,76E-02          |
| Photochemical oxidation                | kg NMVOC     | 1,91E-03         | 5,79E-01        | 3,66E-02            | 8,65E-02          | 7,89E-05           | 2,68E-04          |
| Abiotic depletion, elements            | kg Sb eq     | 5,54E-05         | 2,00E-03        | 3,43E-04            | 1,21E-02          | 2,06E-07           | 5,88E-07          |
| Abiotic depletion, fossil fuels        | MJ           | 7,50E+00         | 2,16E+03        | 9,11E+01            | 2,43E+02          | 5,70E-01           | 1,63E+00          |
| Water scarcity                         | m3 eq        | 2,21E-01         | 8,60E+01        | 2,22E+00            | 6,02E+00          | 9,34E-03           | 3,32E-02          |
| Ozone layer depletion (ODP) (optional) | kg CFC-11 eq | 2,38E-08         | 1,85E-05        | 5,41E-07            | 1,08E-06          | 1,13E-09           | 3,19E-09          |

Tabella 4 Impatti struttura

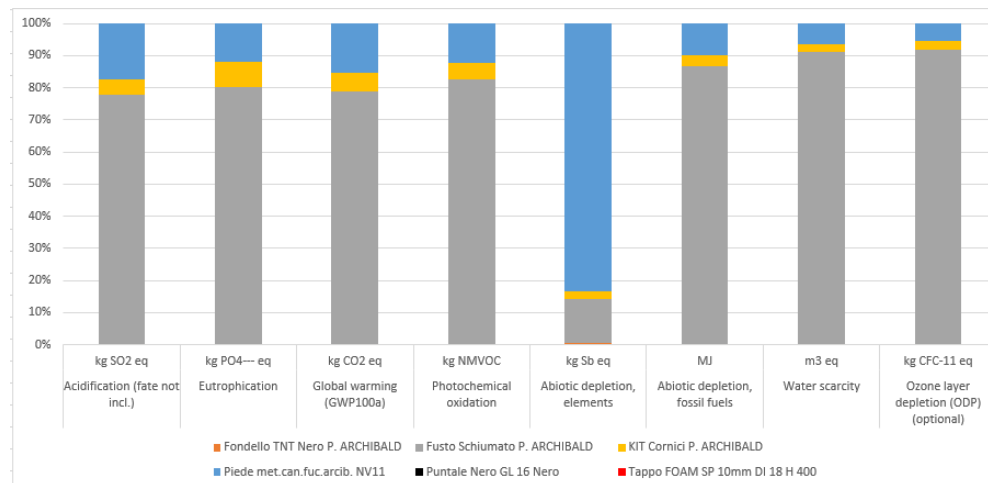


Figura 15 Grafico Impatti struttura

Dall'analisi del secondo elemento più importante, la struttura, si nota che tra tutti gli elementi presenti, il piede metallico e il fusto schiumato sono quelli che incidono di più in questa categoria. L'impoverimento delle risorse abiotiche fossili, cioè il consumo di combustibili fossili è la categoria più importante: questo è legato alla natura dei materiali e alla loro produzione, poiché il piede metallico è di alluminio e il fusto schiumato è in poliuretano e di questi due componenti la materia prima impatta di più rispetto al trasporto o la lavorazione.

## 4.4.2 Rivestimento

La seconda categoria più impattante è il rivestimento essendoci al suo interno la pelle

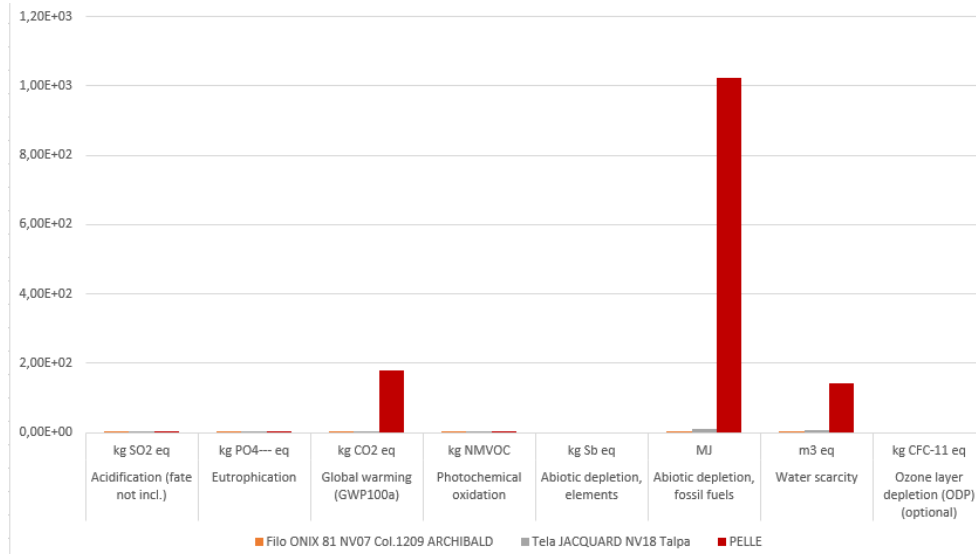


Figura 16 Grafico Impatti rivestimento

Il filo onyx (un filo di nylon) e la tela jacquard (un tessuto in cui un motivo, più o meno elaborato, viene tessuto direttamente nella stoffa, invece di essere disegnato o stampato) sono utilizzati per rivestire la parte sottostante della poltrona dove poggia l'imbottitura. I loro impatti rapportati a quelli della pelle sono trascurabili essendo anche presenti in quantità di peso minore rispetto alla pelle.

### 4.4.3 Imbottitura

La terza categoria più impattante è l'imbottitura che è composta dall'imbottitura schienale e dal kit espanso che si utilizza per sostituire il sistema di molleggio tradizionale.

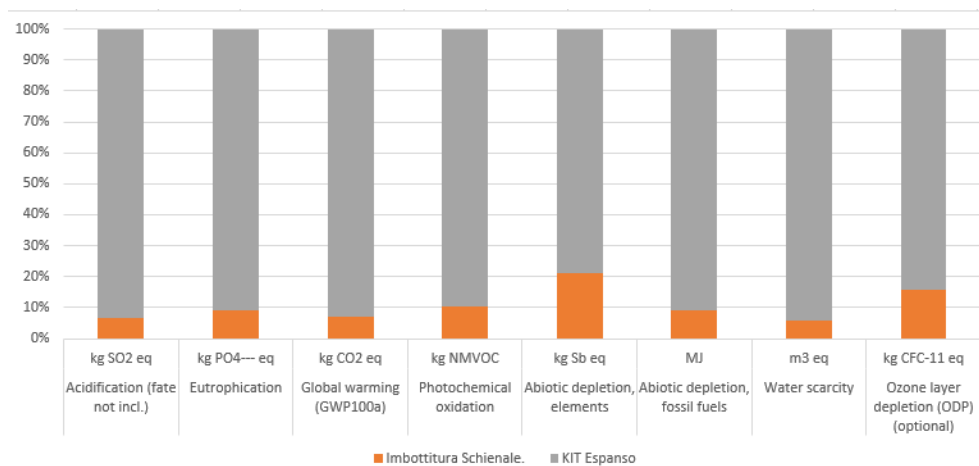


Figura 17 Grafico Impatti imbottitura

Ovviamente nell'analisi dell'imbottitura il kit espanso, essendo realizzato in poliuretano, presenta come categoria di impatto con valori più alti il consumo di combustibili fossili

#### 4.4.4 Altri impatti: materiali

Negli altri impatti totali le altre categorie come packaging (composto da espanso adesivo, sacchetto di polietilene per rivestire il prodotto, scatola imballaggio, scheda prodotto e spessore imballaggio) e minuteria metallica (composta da tre viti di dimensioni diversa) sono in dimensioni molto minori e meno impattanti a livello complessivo del divano e per questo motivo vengono trascurate nello studio poiché la loro analisi non porterebbe alcun beneficio a livello di possibili miglioramenti di progetto.

## 4.4.5 Manufacturing

| Categoria d'impatto                    | Unita        | 1-CUCITURA MACCHINA PIANA | 2-RICOPERTURA | 3-MONTAGGIO/ASSEMBLAGGIO | 4-FINIZIONE | 5-CONTROLLO PULIZIA IMBALLO | 6-SPEDIZIONE |
|--|--------------|---------------------------|---------------|--------------------------|-------------|-----------------------------|--------------|
| Acidification (fate not incl.)         | kg SO2 eq    | 6,10E-03                  | 5,90E-03      | 2,00E-03                 | 2,74E-03    | 2,42E-03                    | 3,61E-04     |
| Eutrophication                         | kg PO4-- eq  | 1,75E-03                  | 1,69E-03      | 5,70E-04                 | 7,83E-04    | 6,92E-04                    | 1,03E-04     |
| Global warming (GWP100a)               | kg CO2 eq    | 1,38E+00                  | 1,31E+00      | 4,43E-01                 | 6,09E-01    | 5,38E-01                    | 8,01E-02     |
| Photochemical oxidation                | kg NMVOC     | 3,31E-03                  | 3,20E-03      | 1,08E-03                 | 1,48E-03    | 1,31E-03                    | 1,95E-04     |
| Abiotic depletion, elements            | kg Sb eq     | 1,78E-05                  | 1,68E-05      | 5,68E-06                 | 7,83E-06    | 6,92E-06                    | 1,02E-06     |
| Abiotic depletion, fossil fuels        | MJ           | 1,72E+01                  | 1,67E+01      | 5,63E+00                 | 7,73E+00    | 6,83E+00                    | 1,02E+00     |
| Water scarcity                         | m3 eq        | 8,40E-01                  | 8,12E-01      | 2,75E-01                 | 3,77E-01    | 3,33E-01                    | 4,96E-02     |
| Ozone layer depletion (ODP) (optional) | kg CFC-11 eq | 1,74E-07                  | 1,68E-07      | 5,69E-08                 | 7,81E-08    | 6,90E-08                    | 1,03E-08     |

Tabella 5 Impatti manufacturing

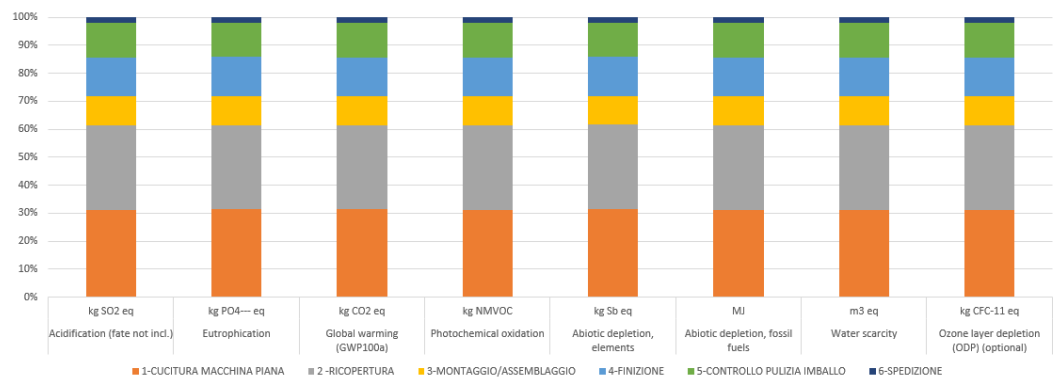


Figura 18 Grafico Impatti Manufacturing

Due terzi dell'impatto totale del manufacturing è ricoperto dalla "cucitura macchina piana" e "ricopertura" che sostanzialmente riguardano la cucitura e lavorazione della pelle sulla struttura della poltrona mentre le altre lavorazioni essendo una poltrona molto semplice strutturalmente e di design richiedono poco tempo e di utilizzo delle risorse di energia.



## 4.4.6 Trasporti

|  |              | Nazionale, Ruota 1000km                | Europeo, Ruota 2500km                  | Internazionale, ruota 1000km e nave 14000km   |
|--|--------------|--|--|---|
| Categoria d'impatto                    | Unità        | Transport, freight, lorry 16-32 metric | Transport, freight, lorry 16-32 metric | Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, e |
| Acidification (fate not incl.)         | kg SO2 eq    | 3,60E-02                               | 9,00E-01                               | 3,60E-02                                      |
| Eutrophication                         | kg PO4-- eq  | 7,02E-03                               | 1,75E-01                               | 7,02E-03                                      |
| Global warming (GWP100a)               | kg CO2 eq    | 5,78E+00                               | 1,44E+02                               | 5,78E+00                                      |
| Photochemical oxidation                | kg NMVOC     | 4,67E-02                               | 1,17E+00                               | 4,67E-02                                      |
| Abiotic depletion, elements            | kg Sb eq     | 1,58E-04                               | 3,95E-03                               | 1,58E-04                                      |
| Abiotic depletion, fossil fuels        | MJ           | 8,69E+01                               | 2,17E+03                               | 8,69E+01                                      |
| Water scarcity                         | m3 eq        | 2,49E-01                               | 6,21E+00                               | 2,49E-01                                      |
| Ozone layer depletion (ODP) (optional) | kg CFC-11 eq | 1,07E-06                               | 2,67E-05                               | 1,07E-06                                      |

Tabella 6 Impatti trasporti

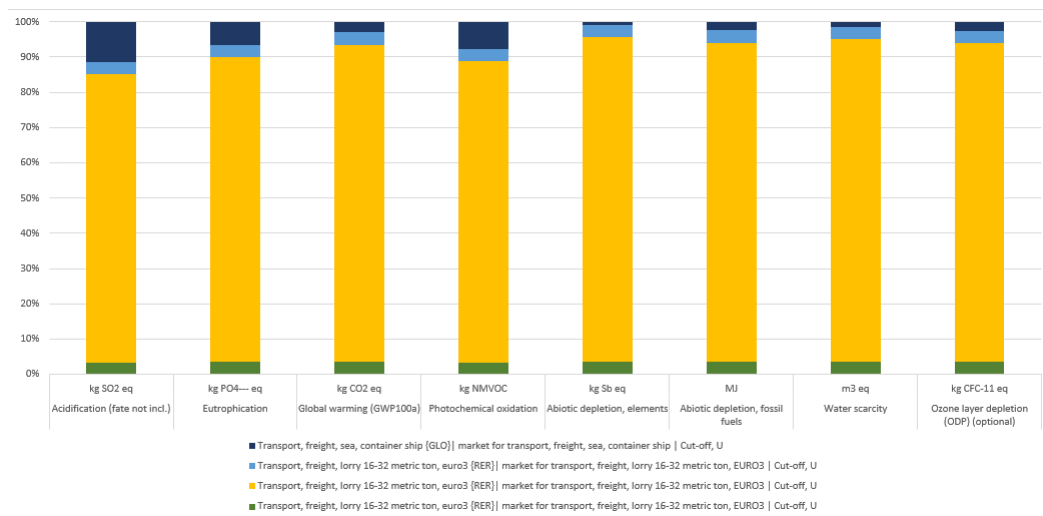


Figura 19 Grafico Impatti trasporti

Il programma considera ovviamente un carico del mezzo di trasporto pari del 80 per cento del carico medio massimo, ovviamente nelle tre ipotesi nazionali (ruota 1000 chilometri), europeo (ruota 2500 chilometri) e internazionale (ruota 1000 chilometri e nave 14000 chilometri), l'impatto maggiore è dovuto a quello europeo perché i camion merci a confronto delle navi trasportano molte meno merci e quindi il consumo di energia è ripartito su meno spedizioni.

## 4.5 Interpretazione dei risultati

A livello ambientale la pelle è quella che impatta di più, infatti, il suo impatto deriva principalmente dall'uso di suolo e dalle emissioni di gas serra associati all'allevamento e dalle concerie che utilizzano energia per le varie lavorazioni per il trattamento del pellame.

Le altre due categorie più impattanti sono la struttura e l'imbottitura dove rispettivamente al loro interno c'è il fusto schiumato e il kit espanso che essendo costituiti da materiali plastici richiedono l'utilizzo di materie prime fossili e il loro tempo lunghissimo di smaltimento in natura aggravano il loro impatto ambientale.

Le altre categorie sono impatti trascurabili soprattutto rispetto alla pelle o alla struttura.

## 5 Conclusione

Analizzando i risultati e confrontandosi con l'azienda risulta poco utile a fini di utilità aziendale riprogettare la poltrona; quindi, dopo aver fornito le varie analisi sono state svolte comparazioni di materiali e di modelli di poltrone diverse così da ottenere una linea guida per progettare in futuro una poltrona più green e meno impattante.

La prima cosa analizzata è stata ovviamente la pelle, l'utilizzo della pelle per poltrona Frau è un marchio di fabbrica dell'azienda e quindi potrebbe inserire nella scelta dei rivestimenti della poltrona anche poltrone in tessuto;

quindi, è stata svolta un'analisi di comparazione tra pelle, tessuto in cotone e tessuto T.N.T (tessuto e non tessuto)

| Categoria d'impatto                    | Unità        | Pelle    | TESSUTO IN COTONE | Tessuto non Tessuto |
|--|--------------|----------|-------------------|---------------------|
| Acidification (fate not incl.)         | kg SO2 eq    | 2,73     | 0,07              | 0,05                |
| Eutrophication                         | kg PO4--- eq | 1,25     | 0,09              | 0,05                |
| Global warming (GWP100a)               | kg CO2 eq    | 180,63   | 7,58              | 5,49                |
| Photochemical oxidation                | kg NMVOC     | 0,49     | 0,03              | 0,02                |
| Abiotic depletion, elements            | kg Sb eq     | 1,59E-04 | 1,13E-04          | 8,05E-05            |
| Abiotic depletion, fossil fuels        | MJ           | 1023,28  | 68,60             | 62,91               |
| Water scarcity                         | m3 eq        | 140,49   | 120,25            | 76,02               |
| Ozone layer depletion (ODP) (optional) | kg CFC-11 eq | 0,00E+00 | 4,09E-07          | 2,88E-07            |

*Tabella 7 Confronto pelle-tessuto*

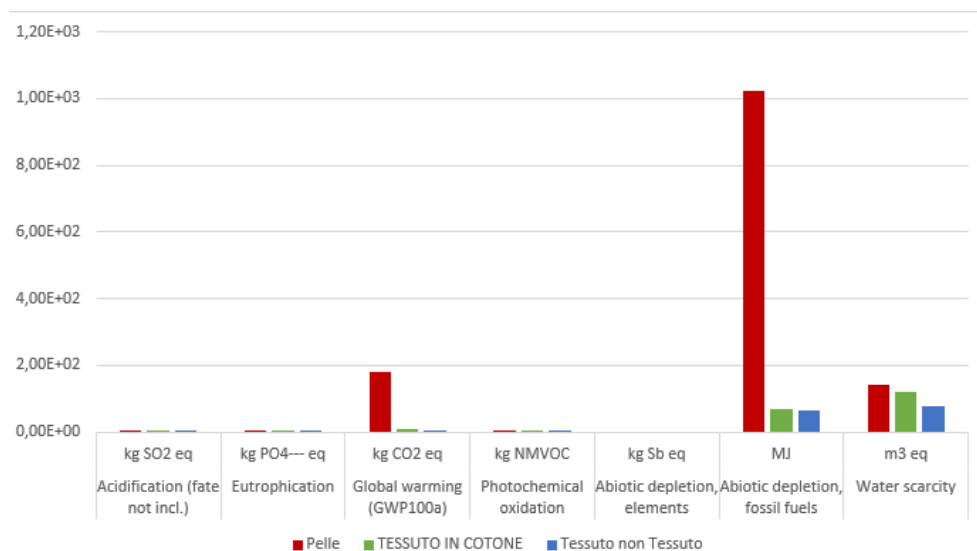


Figura 20 Grafico confronto pelle-tessuto

Si nota visivamente e anche a valore numerico che gli impatti si abbassano drasticamente.

Un altro confronto svolto è stato fatto tra altri modelli prodotti da poltrona Frau, il primo confronto svolto è stato riguardante la struttura della poltrona Archibald con la struttura della poltrona Aida più specificatamente al fusto dove nel caso di studio è composto da poliuretano e nella poltrona Aida è un fusto in legno.

| Categoria d'impatto                    | Unità        | Fusto Legno Sedile P. AIDA | Fusto Schiumato ARCHIBALD |
|--|--------------|----------------------------|---------------------------|
| Acidification (fate not incl.)         | kg SO2 eq    | 0,18343519                 | 0,662                     |
| Eutrophication                         | kg PO4--- eq | 0,067032021                | 0,271                     |
| Global warming (GWP100a)               | kg CO2 eq    | 29,622843                  | 130                       |
| Photochemical oxidation                | kg NMVOC     | 0,1710151                  | 0,579                     |
| Abiotic depletion, elements            | kg Sb eq     | 0,000194126                | 0,002                     |
| Abiotic depletion, fossil fuels        | MJ           | 318,38991                  | 2160                      |
| Water scarcity                         | m3 eq        | 6,0218128                  | 86                        |
| Ozone layer depletion (ODP) (optional) | kg CFC-11 eq | 1,64201E-06                | 1,64E-06                  |

Tabella 8 Confronto fusti

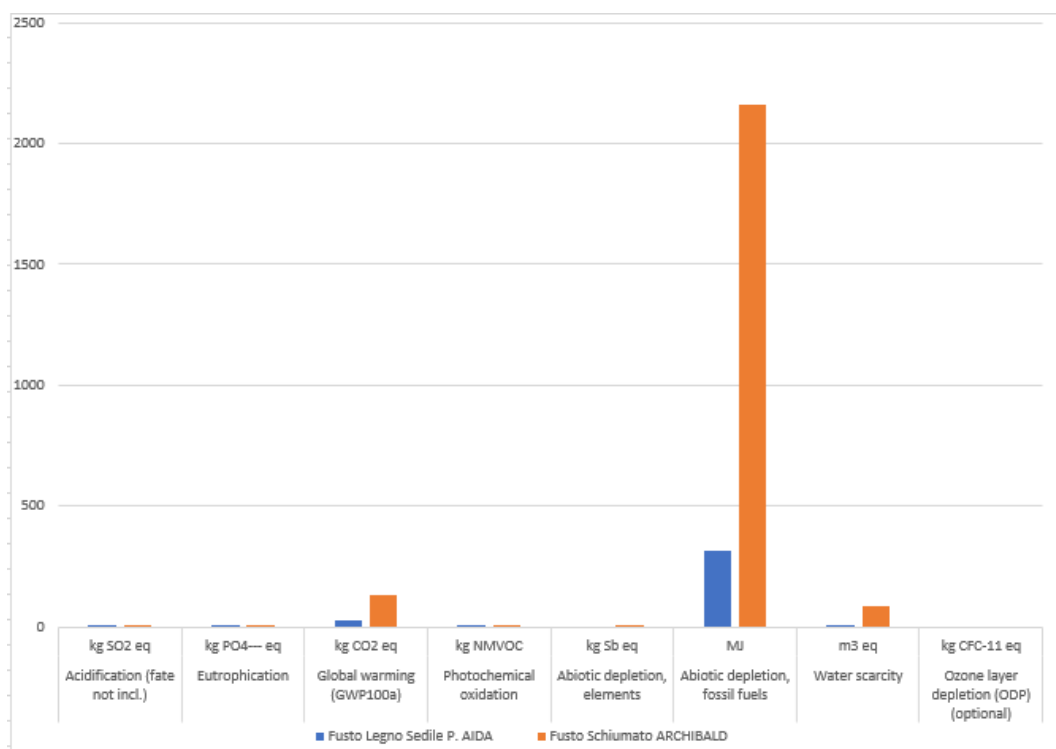


Figura 21 Grafico Confronto fusti

Si nota una diminuzione degli impatti dovuti principalmente alla provenienza delle risorse delle materie prime.

L'ultimo confronto svolto è stato fra il kit espanso della poltrona Archibald, il molleggio classico della poltrona Aida composta da molle e spago e l'ultima poltrona Vanity Fair composta da molle, spago e cinghie elastiche.

| Categoria d'impatto                    | Unità        | Molleggio Aida | KIT Espanso Archibald | Molleggio Vanity Fair |
|--|--------------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| Acidification (fate not incl.)         | kg SO2 eq    | 9,57E-03       | 3,09E-02              | 3,56E-02              |
| Eutrophication                         | kg PO4--- eq | 5,94E-03       | 7,91E-03              | 2,09E-02              |
| Global warming (GWP100a)               | kg CO2 eq    | 1,86E+00       | 7,40E+00              | 7,64E+00              |
| Photochemical oxidation                | kg NMVOC     | 8,73E-03       | 2,30E-02              | 3,71E-02              |
| Abiotic depletion, elements            | kg Sb eq     | 7,45E-05       | 3,19E-05              | 3,15E-04              |
| Abiotic depletion, fossil fuels        | MJ           | 1,90E+01       | 1,13E+02              | 8,02E+01              |
| Water scarcity                         | m3 eq        | 3,06E+00       | 5,47E+00              | 3,78E+00              |
| Ozone layer depletion (ODP) (optional) | kg CFC-11 eq | 1,18E-07       | 1,61E-07              | 4,96E-07              |

Tabella 9 Confronto molleggi

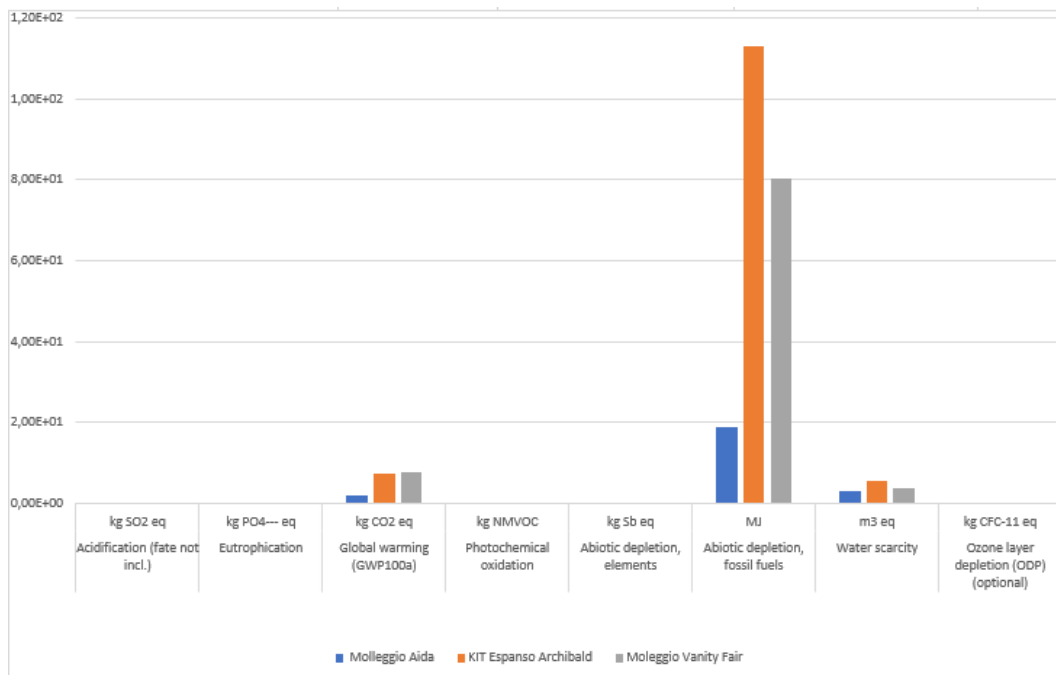


Figura 22 Grafico confronto molleggi

Si nota che un molleggio classico rispetto ad un molleggio innovativo composto da poliuretano comporta minori impatti ambientali a causa della natura facilmente riciclabile dell'acciaio.

## 6 Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento al prof. Germani Michele per avermi dato l'opportunità di svolgere questo lavoro di tesi, che mi ha permesso di sviluppare nuove competenze che potranno essermi utili in futuro.

Vorrei ringraziare la Prof.ssa Marta Rossi e la Dott.ssa Federica Cappelletti per avermi guidato nel percorso di tirocinio e per i loro preziosi consigli.

Un grazie a tutti i responsabili di Poltrona Frau per la pazienza e la dedizione che hanno impiegato nel fornirmi i dati utili allo svolgimento di un'analisi più accurata.

Il più grande ringraziamento va ai miei familiari e genitori che con il loro supporto e sacrificio mi hanno dato la possibilità tagliare questo grande traguardo, e a Veronica per il sostegno, la pazienza e la compagnia di questi anni.

## 7 Bibliografia

- [1] Construction rethinking, le sfide dell'economia circolare- Marco D'Orazio,  
Elisa di giuseppe-DICEA-Università Politecnic delle Marche
- [2] E. E. Agency, «Gestione del ciclo di vita del prodotto-M. Germani»,  
<https://learn.univpm.it>
- [3] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 14044:  
Environmental management, LIFE CYCLE ASSESSMENT, Requirements  
and guideline, Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2006.
- [4] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 14040:  
Environmental management, LIFE CYCLE ASSESSMENT, Principales  
and guideline, Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2006.
- [5] «Ecodesign: nuove regole per i prodotti, dall'efficienza energetica alla  
riciclabilità»  
<https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20180522STO04021/ecodesign-nuove-regole-dall-efficienza-energetica-alla-riciclabilita>
- [6] «Epd» dichiarazione ambientale di prodotto [Online]  
<https://www.environdec.com/home>
- [7] «Obiettivi di sviluppo sostenibile» [Online]  
[https://it.wikipedia.org/wiki/Obiettivi\\_di\\_sviluppo\\_sostenibile](https://it.wikipedia.org/wiki/Obiettivi_di_sviluppo_sostenibile)
- [8] «Sostenibilità ambientale, lo sviluppo che rispetta il Pianeta,» 22 4 2020.  
[Online]. Available: <https://corporate.enel.it>.