



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E SCIENZE MATEMATICHE (DIISM)

(Laurea Triennale DM 509/2001)

**STUDIO MEDIANTE TECNICHE LCA DELLA PRODUZIONE DI  
SCARPE ORTOPEDICHE**

**STUDY BY LCA TECHNIQUES OF THE PRODUCTION OF  
ORTHOPEDIC SHOES**

Relatore: Prof. Ing. M. Germani

Studente: Housseem Mrad

## INDICE

Sommario.....	3
Capitolo 1 – Introduzione.....	4
1.1. Origine LCA.....	4
1.2. Contesto normativo di riferimento.....	7
1.3. La metodologia LCA.....	10
1.3.1. Fasi di uno studio LCA.....	11
1.3.2. I vantaggi di uno studio LCA.....	15
1.3.3. I limiti di uno studio LCA.....	16
Capitolo 2 – Il software SimaPro.....	17
2.1. Le banche dati.....	22
2.1.1. EcoInvent.....	23
Capitolo 3 – Obiettivo dello studio.....	27
Capitolo 4 – Descrizione della calzatura ortopedica.....	29
4.1. Forma ortopedica.....	31
4.2. Plantare ortopedico.....	32
4.3. Suola ortopedica.....	34
Capitolo 5 – Analisi della sostenibilità ambientale della scarpa ortopedica.....	35
5.1. Analisi di inventario.....	38
5.2. Produzione della calzatura SM.....	41
5.3. Produzione della calzatura PS.....	42
5.4. Produzione dei plantari SM e PS.....	47
Capitolo 6 – Risultati e interpretazione.....	51
Capitolo 7 – Conclusioni.....	61
Capitolo 8 – Abbreviazioni usate in questa tesi.....	62
Capitolo 9 – Bibliografia.....	63

## **Sommario**

Il presente lavoro di tesi, frutto di un tirocinio, ha come obiettivo l'analisi di sostenibilità ambientale del processo produttivo di due calzature ortopediche dell'azienda Duna S.R.L.

Per svolgere l'analisi di sostenibilità ambientale è stata implementata la metodologia LCA (*Life Cycle Assessment - Valutazione del Ciclo di Vita*), conformemente alla normativa di riferimento ISO 14040-44. L'analisi è stata svolta attraverso l'utilizzo dello strumento software commerciale SimaPro versione 8, con installato il Data Base commerciale EcoInvent v3.2.

L'analisi ha preso in considerazione le fasi di lavorazione della calzatura, dalla ricezione del ordine fino al invio del ordine al cliente.

I risultati ottenuti dall'analisi ambientale delle diverse tipologie di scarpe ortopediche sono stati messi a confronto al fine di evidenziare quale scenario fosse il migliore dal punto di vista delle performance ambientali.

## **Capitolo 1 – Introduzione**

### **1.1. Origine LCA**

LCA è l'acronimo di Life Cycle Assessment e costituisce uno strumento analitico che cattura gli impatti ambientali complessivi di un prodotto, processo o attività umana dall'acquisizione delle materie prime, attraverso la produzione e l'utilizzo, fino alla gestione dei rifiuti. LCA ha i suoi limiti oltre che i suoi punti di forza. Sebbene l'Organizzazione internazionale per la standardizzazione (ISO) fornisca un quadro generale per condurre una valutazione, lascia molto all'interpretazione.<sup>[1]</sup>

Le origini dell'LCA risalgono agli anni '60, quando vennero redatti i primi bilanci energetici e di massa come risposta ad una crescente preoccupazione per il consumo delle risorse fossili. Lo studio che si ritiene abbia gettato le basi della metodologia venne pubblicato nel 1974 dal Midwest Research Institute. Si trattava di uno studio comparativo di 9 contenitori per bevande. In questo contesto la metodologia che fino a quel momento era stata applicata a singoli processi industriali viene per la prima volta utilizzata su prodotti. Intorno agli anni '80 e '90, nel periodo in cui prende campo il problema dei rifiuti, LCA diventa uno strumento idoneo all'analisi di problemi ambientali, per la valutazione dei potenziali impatti legati allo sfruttamento delle risorse ed emissioni nell'ambiente. Negli anni '90 si avvia allora un processo di standardizzazione e pubblicazione della metodologia attraverso manuali redatti da diversi gruppi di ricerca e le ISO 14040. Una definizione di LCA si trova proprio nelle ISO 14040: "compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto."

È importante, però, riportare anche la definizione, più esplicita, di LCA, proposta da SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry), la prima società che intuì la necessità di standardizzare la metodologia LCA, nel 1993: “processo oggettivo di valutazione di carichi ambientali connessi con un prodotto, processo o attività, condotto attraverso l’identificazione e la quantificazione dell’energia e dei materiali impiegati e dei rifiuti rilasciati nell’ambiente, per valutare l’impatto di questi usi di energia e di materiali e rilasci nell’ambiente, e per vagliare e realizzare le opportunità di miglioramento ambientale. La valutazione include l’intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l’estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale.”<sup>[2]</sup>

Come sappiamo, il mondo di oggi sta affrontando importanti problemi (riscaldamento globale, esaurimento dello strato di ozono, accumulo di rifiuti, ecc.). Negli ultimi decenni la ricerca indica che il clima globale sta cambiando rapidamente e rivela anche il fatto che questo cambiamento continuerà nel tempo. Quindi c’è un urgente necessità di mitigare questi problemi indesiderabili derivanti dal nostro stile di vita moderno per salvare il nostro ambiente e il nostro mondo.<sup>[3]</sup>

La conferenza delle Nazioni Unite sull’ambiente e sullo sviluppo sostenibile tenutasi nel 1992 a Rio de Janeiro ha costituito l’inizio della presa di coscienza universale sui rischi di degrado a cui va incontro il pianeta. Questa presa di coscienza si è formalizzata, attraverso gli accordi di Kyoto del 1997, nell’impegno dei Paesi firmatari di ridurre le emissioni di gas a effetto serra agli stessi livelli del 1990.<sup>[4]</sup>

Il cambiamento climatico e altre minacce ambientali sono diventate maggiormente al centro dell’attenzione negli ultimi anni. Per far fronte a queste sfide, le considerazioni ambientali devono essere integrate in una serie di diversi tipi di decisioni prese sia dalle imprese, che dai singoli, dalle pubbliche amministrazioni e dai responsabili politici. Sono quindi necessarie informazioni sugli aspetti ambientali dei diversi sistemi e sono stati sviluppati molti strumenti e indicatori per la valutazione e l’analisi comparativa degli impatti ambientali dei diversi sistemi.<sup>[5]</sup>

L'ecologia industriale è la disciplina che si occupa della progettazione e gestione di sistemi industriali come sistemi viventi interdipendenti con i sistemi naturali. L'obiettivo dell'ecologia industriale è di meglio comprendere le interazioni tra attività economiche ed esigenze ambientali cercando di bilanciarle attraverso forme di collaborazione tra imprese per la soluzione strutturata e collettiva di problemi ambientali. L'ecologia industriale offre alle aziende nuovi strumenti per un'economia sostenibile e competitiva.<sup>[6]</sup>

I governi di tutto il mondo incoraggiano l'uso dell'LCA. L'LCA è diventata sempre più un elemento centrale nella politica ambientale o nelle azioni volontarie nell'Unione Europea, negli Stati Uniti, in Giappone, Corea, Canada, Australia e nelle economie in forte espansione come l'India e recentemente anche la Cina.<sup>[2]</sup>

La Commissione Europea, con la pubblicazione della “Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse” ha ulteriormente rafforzato e definito il futuro ruolo della metodologia di valutazione dell'impatto ambientale, spiegando che intende “istituire un approccio metodologico comune per consentire agli Stati membri e al settore privato di valutare, rendere note e confrontare le prestazioni ambientali dei prodotti, dei servizi e delle aziende sulla base di una valutazione globale del loro impatto ambientale nel corso del loro ciclo di vita.”<sup>[7]</sup>

## **1.2. Contesto normativo di riferimento**

Gli standard principali per LCA sono:

- ISO 14040: Principles and Framework;
- ISO 14044: Requirements and Guidelines.

La ISO 14040 considera i principi e la struttura per una LCA, mentre la ISO 14044 specifica i requisiti e le linee guida per la realizzazione di uno studio LCA.

Gli standard ISO sono definiti in un linguaggio piuttosto vago, il che rende difficile valutare se una LCA è stata effettuata secondo lo standard. A differenza dello standard 14000, non è possibile ottenere un accreditamento ufficiale che attesti che un software LCA, metodologia LCA o LCA è stato realizzato secondo lo standard ISO. Pertanto, nessuno sviluppatore di software può affermare che gli LCA realizzati con un determinato strumento software siano automaticamente conformi agli standard ISO.

Ad esempio, l'ISO 14044 non consente la ponderazione tra le categorie di impatto per i confronti pubblici tra i prodotti. Tuttavia, la ponderazione è esplicitamente consentita per altre applicazioni e quindi SimaPro supporta la ponderazione. Ciò significa che è tua responsabilità utilizzare la ponderazione in modo corretto. Un esempio simile può essere fatto per questioni come regole di allocazione, confini del sistema, ecc.

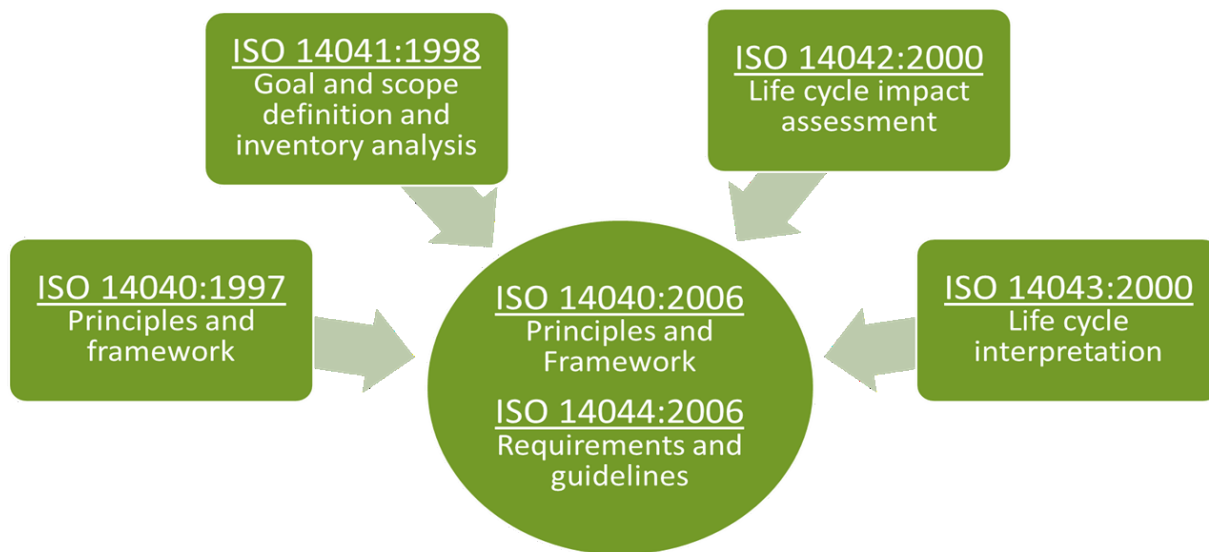
Oltre all'approccio LCA che include molteplici questioni ambientali, recentemente sono stati sviluppati approcci LCA su un unico problema, tra cui l'impronta di carbonio e l'impronta idrica. Questi approcci adottano anche una prospettiva del ciclo di vita, ma si concentrano solo su una categoria di impatto.

In risposta alle esigenze delle società di trasparenza nelle emissioni di gas a effetto serra (GHG) dei prodotti, sono stati sviluppati o sono ancora in fase di sviluppo diversi standard per l'impronta di carbonio. Esistono due standard principali: GHG Protocol e la bozza ISO 14067. La bozza ISO 14046 sulla quantificazione dell'impronta idrica per prodotti, processi e organizzazioni è in fase di sviluppo dal 2009. Questo standard adotta un approccio basato sul ciclo di vita ma si concentra esclusivamente sull'uso dell'acqua .

ISO 14040/44 è la base per molti altri standard. La ISO 14025, ad esempio, si basa sulla ISO 14040/44 e introduce due concetti: le regole di categoria dei prodotti (PCR) e le dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD). Le PCR sono linee guida specifiche per il calcolo dell'impatto ambientale dei prodotti all'interno della stessa categoria di prodotto. Una categoria di prodotto è un gruppo di prodotti con caratteristiche simili. Le PCR contengono requisiti rigorosi che lasciano meno spazio per l'interpretazione rispetto a un LCA generale. Una PCR può specificare, ad esempio, l'unità funzionale da utilizzare o le banche dati da utilizzare o le categorie di impatto da includere nello studio. Seguendo i requisiti della PCR, un'azienda può sviluppare una EPD, che è un documento conciso contenente informazioni ambientali rilevanti su un prodotto.

A livello europeo, il Manuale ILCD, preparato dal Centro comune di ricerca - Istituto per l'ambiente e la sostenibilità (JRC-IES) è stato pubblicato nel 2010. Questo manuale si basa sugli standard ISO 14040/44, ma fornisce una guida tecnica molto più dettagliata. Il manuale ILCD contiene oltre 400 pagine, mentre ISO 14040/44 contiene insieme circa 60 pagine. Il manuale ILCD contiene descrizioni dettagliate e requisiti al fine di ridurre la flessibilità nelle scelte e per supportare la coerenza e la garanzia della qualità dei risultati dell'LCA. Nel periodo compreso tra giugno 2011 e febbraio 2012, la DG Ambiente e JRC-IES hanno sviluppato e testato una metodologia armonizzata per il calcolo dell'impronta ambientale di prodotti e organizzazioni. Questi due metodi si basano sulla ISO 14040/44 e sul manuale ILCD, ma sono più rigorosi e concisi. Le regole di categoria dell'impronta del prodotto (PFCR) e le regole della categoria dell'impronta dell'organizzazione (OFCR) vengono sviluppate in parallelo. PFCR / OFCR si basano sulla ISO 14025 e integrano la guida metodologica generale per l'impronta ambientale fornendo ulteriori specifiche a livello di prodotto. PFCR / OFCR aumenterà la riproducibilità e la coerenza negli studi sull'impronta ambientale. Alla fine, questi due metodi potrebbero diventare parte delle future politiche europee in materia di consumo e produzione sostenibili.<sup>[8]</sup>

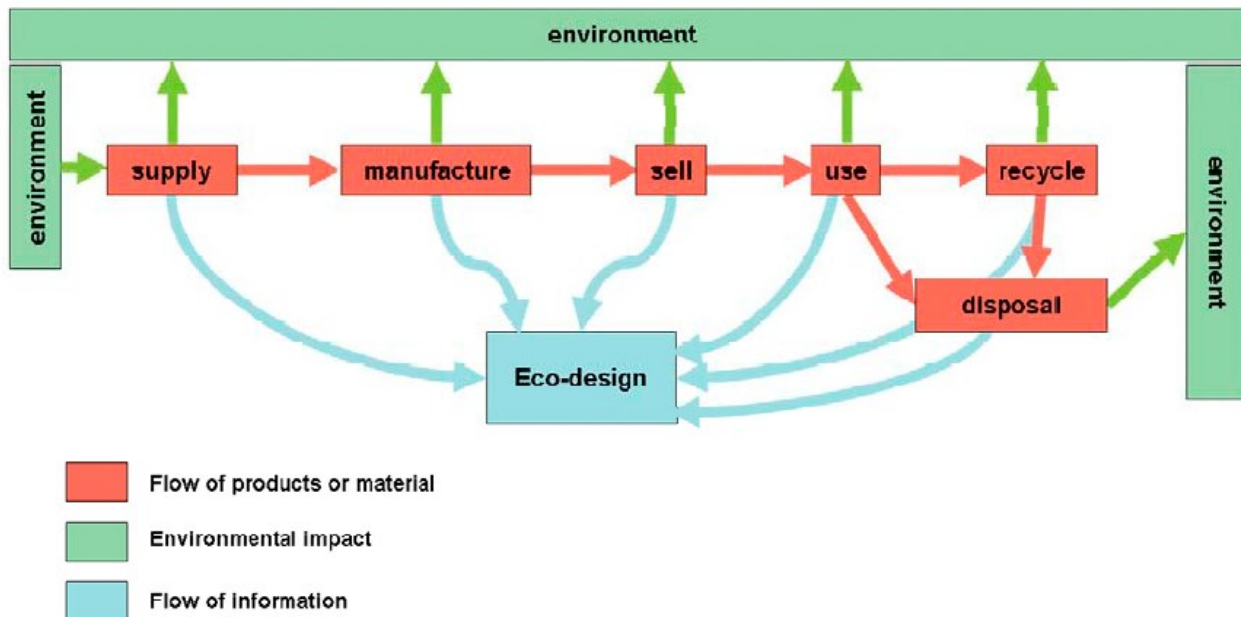




*Fig. 1 – I standard ISO che deffiniscono i requisiti e le linee guida per uno studio LCA*

### 1.3. La metodologia LCA

La metodologia LCA è applicata nei contesti più ampi di Ecodesign. L'ecodesign è un approccio progettuale volto a sviluppare prodotti con particolare attenzione agli impatti ambientali. Esiste una domanda mondiale di prodotti più efficienti per ridurre il consumo di energia e risorse. La legislazione dell'UE in materia di ecodesign e di etichettatura energetica è uno strumento efficace per migliorare l'efficienza energetica dei prodotti.



[9]

*Fig. 2 - Ciclo di vita dei prodotti*

### 1.3.1 Fasi di uno studio LCA

L'attuale pratica LCA, come standardizzata dall'ISO, segue quattro fasi correlate:

1. Definire chiaramente l'obiettivo e l'ambito dello studio (inclusa la selezione di un'unità funzionale),
2. Compilazione di un inventario degli input rilevanti di energia e materiali e rilasci ambientali (Inventario del ciclo di vita - analisi LCI),
3. Valutazione dei potenziali impatti ambientali associati agli input e ai rilasci identificati (Life Cycle Impact Assessment - LCIA),
4. Interpretare i risultati per aiutare i responsabili a prendere una decisione più informata.<sup>[1]</sup>



[10]

*Fig. 3 – Fasi di uno studio LCA*

La definizione del obiettivo è la fase preliminare di uno studio LCA, in cui si determina quali sono gli obiettivi di business da cui emerge l'esigenza di condurre lo studio, si definisce il contesto generale dello studio, così da garantire che gli scopi delle analisi, i metodi, i risultati e le applicazioni previste siano allineati in maniera ottimale e che esista una visione condivisa che possa guidare i partecipanti allo studio.

La definizione degli obiettivi per uno studio LCA deve comprendere:

- I prodotti e i progetti di sviluppo a cui si applica lo studio;
- I motivi per cui si effettua lo studio e il contesto della decisione;
- I destinatari;
- Confronti o dichiarazioni comparative che devono essere resi pubblici;
- Eventuali tempi e modalità di revisione.<sup>[11]</sup>

La definizione del campo di applicazione comporta l'approfondimento delle seguenti tematiche:

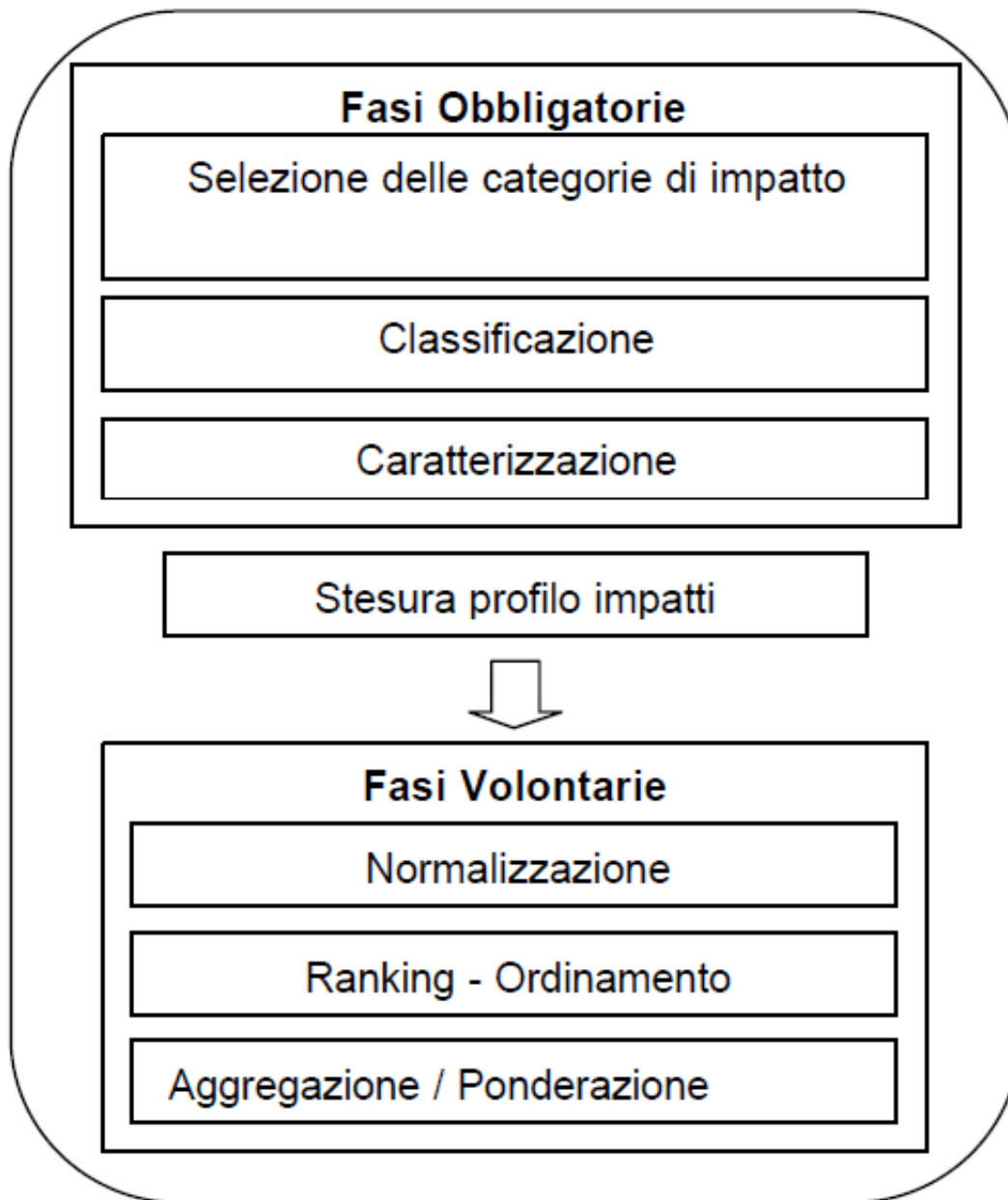
- funzione del sistema prodotto;
- unità funzionale;
- confini iniziali del sistema prodotto;
- requisiti di qualità dei dati.<sup>[10]</sup>

Un sistema di prodotto può essere modellizzato come una sequenza complessa di operazioni unitarie interconnesse tra loro e con l'ambiente. L'analisi di inventario permette di costruire un modello analogico della realtà in grado di rappresentare nella maniera più fedele possibile tutti gli scambi tra le singole operazioni unitarie del sistema.

L'analisi dell'inventario comprende la raccolta e la classificazione dei dati e la quantificazione dei flussi in entrata e in uscita del sistema prodotto. I flussi comprendono l'uso di risorse e le emissioni in aria, acqua e suolo associate al sistema. I dati raccolti sono la base per la successiva valutazione degli impatti.

Durante la raccolta dei dati aumenta la conoscenza del sistema e possono emergere delle limitazioni nella raccolta o la necessità di estendere la stessa e questo può portare alla revisione dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio.<sup>[11]</sup>

La valutazione d'impatto del ciclo di vita (LCIA - Life Cycle Impacts Assessment) ha come scopo quello di identificare e quantificare i temi ambientali rilevanti (risorse, impatti globali, impatti regionali e locali) e di trasformare ciascun flusso di sostanze dell'inventario in un contributo ad essi. Questa fase dell'LCA serve quindi ad evidenziare l'entità delle modificazioni ambientali che si verificano in seguito alle emissioni nell'ambiente e al consumo di risorse provocati dall'attività produttiva.<sup>[10]</sup>



[12]

*Fig. 4 - Elementi di una LCA (ISO 14042)*

L'interpretazione dei risultati è la fase della LCA nella quale i risultati ottenuti nell'analisi di inventario e nella valutazione d'impatto vengono combinati tra loro in coerenza con gli obiettivi e il campo di applicazione dello studio, al fine di trarne indicazioni e raccomandazioni. Le criticità emerse nella valutazione degli impatti possono portare a modifiche di prodotto e processo che, iterativamente, saranno valutate ai fini della riduzione degli impatti (fase di miglioramento).<sup>[12]</sup>

### **1.3.2. I vantaggi di uno studio LCA**

Tra i vantaggi della valutazione del ciclo di vita si possono elencare:

- la quantificazione degli impatti ambientali e le emissioni associate all'oggetto di studio in relazione a ciascuna fase del ciclo di vita;
- il confronto tra le prestazioni di uno o più prodotti o processi concorrenti;
- la valutazione degli effetti del consumo di risorse e di emissioni in ambiente a vari livelli o in vari settori;
- la valutazione di come cambiano i rilasci tra le varie fasi del ciclo di vita;
- l'analisi dell'impatto ambientale di varie scelte effettuate sull'oggetto di studio per pianificare azioni.<sup>[13]</sup>

### **1.3.3. I limiti di uno studio LCA**

Uno studio LCA è caratterizzato da alcuni limiti e aspetti critici:

- non è adatto in indagini che trattano aspetti tecnici, economici o sociali di un prodotto o servizio visto che questi non hanno legami con le prestazioni dei prodotti;
- implica la necessità di fare scelte e assunzioni di natura soggettiva, relativamente i confini del sistema, le sorgenti dei dati e le categorie di impatto;
- implica dei costi in termini di risorse e tempo;
- rappresenta un'analisi complessa a causa delle numerose variabili;
- implica che la qualità dei risultati dipenda fortemente dalla qualità dei dati in input.<sup>[13]</sup>



## **Capitolo 2 – Il software SimaPro**

Uno studio LCA si avvale di appositi software necessari per la creazione del modello del ciclo di vita del prodotto, nonché per la valutazione dei potenziali impatti ambientali. Tali software devono essere conformi alle norme della serie ISO 14040, trasparenti, basati su calcoli matriciali e, inoltre, contengono diversi metodi utilizzati per la valutazione degli impatti.

In particolare, nel presente lavoro di tesi è stato usato il software SimaPro (System for Integrated Environmental Assessment of Products).

SimaPro contiene una serie di metodi di valutazione dell'impatto, che vengono utilizzate per calcolare i risultati della valutazione dell'impatto.

La struttura di base dei metodi di valutazione dell'impatto in SimaPro è:

- Caratterizzazione;
- Valutazione dei danni;
- Normalizzazione;
- Ponderazione;
- Aggiunta.

Gli ultimi quattro passaggi sono opzionali secondo gli standard ISO. Ciò significa che non sono sempre disponibili in tutti i metodi. In SimaPro si possono attivare o disattivare i passaggi opzionali quando si modifica un metodo.

Caratterizzazione - Le sostanze che contribuiscono a una categoria di impatto vengono moltiplicate per un fattore di caratterizzazione che esprime il contributo relativo della sostanza. In SimaPro, è possibile specificare sottocompartimenti per ciascuna sostanza. Ciò consente di creare metodi di valutazione dell'impatto dettagliati, con fattori di caratterizzazione specifici per ogni sottocomparto. Alcuni metodi di valutazione dell'impatto non sono dettagliati come l'inventario in termini di specifica dei sottocompartimenti. In questo caso SimaPro sceglierà il fattore di caratterizzazione "non specificato" come fattore predefinito per una sostanza che ha un sottocomparto specificato nell'inventario ma non ha un fattore di caratterizzazione specifico nel metodo di valutazione dell'impatto scelto.

La valutazione dei danni è una fase relativamente nuova nella valutazione dell'impatto. Viene aggiunto per utilizzare "metodi endpoint", come l'Ecoindicatore 99 e il metodo EPS2000. Lo scopo della valutazione del danno è combinare una serie di indicatori di categoria di impatto in una categoria di danno.

Normalizzazione - Molti metodi consentono di confrontare i risultati dell'indicatore della categoria di impatto mediante un valore di riferimento (o normale). Ciò significa che la categoria di impatto è divisa per il riferimento. Un riferimento comunemente utilizzato è il carico ambientale medio annuo in un paese o continente, diviso per il numero di abitanti. Tuttavia, il riferimento può essere scelto liberamente. Si potrebbe anche scegliere il carico ambientale di accendere una lampadina da 60W per un'ora, 100 km di trasporto in auto o 1 litro di latte. Questo può essere utile per comunicare i risultati a inesperti in LCA, mentre si confronta il proprio LCA con qualcosa che tutti possono immaginare. In SimaPro, sono spesso disponibili set di normalizzazione alternativi. Dopo la normalizzazione, gli indicatori della categoria di impatto hanno tutti la stessa unità, il che rende più facile confrontarli. La normalizzazione può essere applicata sia alla caratterizzazione che ai risultati della valutazione del danno. SimaPro non divide per il valore di riferimento (N), ma moltiplica per l'inverso. Se modifichi o aggiungi un valore di normalizzazione in un metodo, devi quindi inserire il valore invertito ( $1/N$ ).

Alcuni metodi consentono la ponderazione tra le categorie di impatto. Ciò significa che i risultati dell'indicatore della categoria di impatto (o danno) vengono moltiplicati per fattori di ponderazione e vengono aggiunti per creare un punteggio totale o singolo. La ponderazione può essere applicata a punteggi normalizzati o non normalizzati, poiché alcuni metodi come l'EPS non hanno un passaggio di normalizzazione. In SimaPro, sono spesso disponibili set di ponderazione alternativi, sempre in combinazione con un set di normalizzazione.

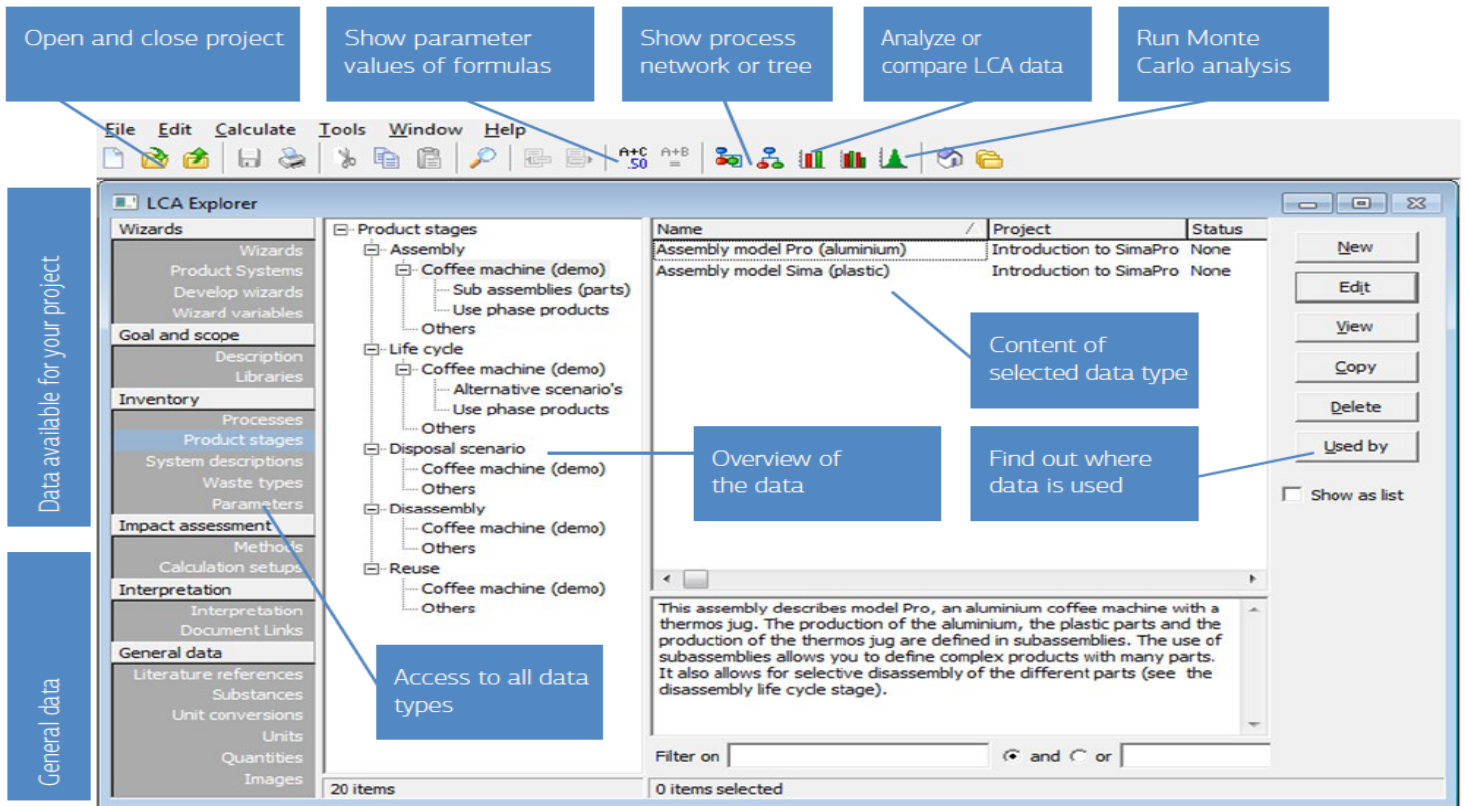
Sebbene i metodi di valutazione dell'impatto diventino molto estesi e includano sempre più sostanze, non coprono ancora tutte le sostanze che si possono trovare nel inventario. Questo può essere un problema metodologico, poiché alcuni metodi, ad esempio, non includono le materie prime come categoria di impatto. Possono sorgere problemi se si aggiunge una nuova sostanza che non è automaticamente inclusa nel metodo di valutazione dell'impatto o se si introducono sinonimi importando dati da altre parti.

SimaPro ha un controllo integrato per mostrare quali sostanze non sono incluse nel metodo di valutazione dell'impatto selezionato. Per ogni risultato, le sostanze e le loro quantità non incluse nel metodo sono mostrate sotto "Controlli" nella finestra dei risultati.

Inoltre, in "Risultati dell'inventario" è possibile visualizzare i risultati della valutazione dell'impatto per sostanza. Se una sostanza non è definita nel metodo, un suggerimento a comparsa lo farà presente.

A livello di metodo, è possibile eseguire un controllo che mostrerà quali di tutte le sostanze, disponibili nel database SimaPro, sono incluse nel metodo a livello di categoria di impatto. Per eseguire questo controllo, bisogna selezionare un metodo e fare clic sul pulsante "Verifica" sul lato destro della finestra dei metodi.<sup>[14]</sup>

SimaPro LCA Explorer è strutturato come una lista di controllo per LCA, quando si inseriscono o modificano i dati nell'ordine definito in questo elenco. Tuttavia, LCA è un processo iterativo, il che significa che bisogna fare un passo indietro e rivalutare le azioni precedenti alcune volte. I calcoli iniziali su un modello pieno di dati approssimativi possono mostrare quali parti del ciclo di vita o quali processi sembrano essere le più rilevanti, e quindi necessitano di ulteriore attenzione. Dopo alcune ore di modifica del database, è possibile verificare se tutti i risultati sono ragionevoli e giustificabili. In caso contrario, potrebbero essere stati commessi degli errori oppure i dati forniti potrebbero contenere degli errori.



[8]

Fig. 5 - Panoramica di SimaPro Explorer sul lato sinistro dello schermo. Questa schermata fornisce l'accesso a tutti i tipi di dati. In cima si trovano i pulsanti per i comandi usati di frequente. Si noti che alcune funzioni mostrate qui non sono disponibili in tutte le versioni del software.

## **2.1. Le banche dati**

SimaPro è dotato di molti set di dati LCI, tra cui il rinomato database ecoinvent, il nuovo database Agri-footprint specifico del settore e il database ELCD. La metodologia di SimaPro è coerente e trasparente e consente di ingrandire facilmente i risultati, durante le diverse fasi dello studio LCA.

Con il software di valutazione del ciclo di vita, SimaPro, è possibile accedere ai dati dell'inventario del ciclo di vita in tutte le diverse fasi del modello e dell'analisi. Questa trasparenza è potente nella valutazione del prodotto o processo in esame. Tutti i risultati possono essere ricondotti alla loro origine con pochi clic del mouse. È possibile ingrandire facilmente gli "hotspot" o l'area di attenzione. Tutti i set di dati sono armonizzati per quanto riguarda la struttura, la nomenclatura e si adattano bene ai metodi di valutazione dell'impatto del ciclo di vita.

SimaPro include i seguenti database per impostazione predefinita:

- ecoinvent v3;
- Banca dati svizzera di input-output (2005);
- Banca dati LCI sull'impronta agricola (2019);
- Banca dati europeo di riferimento sul ciclo di vita (ELCD, ILCD);
- Banca dati degli inventari del ciclo di vita degli Stati Uniti (USLCI 2012);
- Banca dati danese e UE input output;
- Libreria di dati del settore: PlasticsEurope, ERASM, World Steel.<sup>[15]</sup>

### **2.1.1. EcoInvent**

Il Centro svizzero per gli inventari del ciclo di vita (il Centro ecoinvent) ha la missione di promuovere l'uso e la buona pratica dell'analisi dell'inventario del ciclo di vita fornendo dati sull'inventario del ciclo di vita (LCI) a supporto della valutazione dell'impatto ambientale e socioeconomico delle decisioni. L'obiettivo strategico è fornire i dati LCI più pertinenti, affidabili, trasparenti e accessibili per gli utenti di tutto il mondo.

Il database ecoinvent comprende i dati LCI che coprono tutte le attività economiche. Ogni dataset di attività descrive un'attività a livello di processo unitario. Set di dati LCI consistenti e coerenti per diverse attività umane facilitano l'esecuzione di studi di valutazione del ciclo di vita (LCA) e aumentano la credibilità e l'accettazione dei risultati dell'LCA. La qualità garantita dei dati sul ciclo di vita e l'accesso intuitivo al database sono prerequisiti per definire l'LCA come uno strumento affidabile per la valutazione ambientale che supporterà una politica di prodotto integrata. La qualità dei dati è mantenuta da un rigoroso sistema di convalida e revisione.

I dataset LCI di ecoinvent sono intesi come dati di base per gli studi LCA in cui i dati in primo piano specifici del problema e del caso sono forniti dal professionista LCA. I risultati dell'LCI e della valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA) dei dataset di ecoinvent possono essere utilizzati per valutazioni comparative allo scopo di identificare beni o servizi preferibili dal punto di vista ambientale, ma non dovrebbero essere utilizzati senza considerare la pertinenza e la completezza dei dati per la valutazione specifica.

Il focus del database ecoinvent è sulla compilazione degli elementi costitutivi di base (set di dati LCI), che rappresentano i processi delle singole unità delle attività umane e dei loro scambi con l'ambiente, e la combinazione di questi set di dati LCI attraverso l'uso di modelli di sistema in analisi dell'inventario del ciclo di vita (LCI), costruendo così gli inventari del ciclo di vita. Tuttavia, la banca dati ecoinvent contiene anche dati sui metodi di valutazione dell'impatto (LCIA) e sui risultati dell'applicazione di questi metodi ai dati LCI. Tuttavia, il lavoro su LCIA è limitato all'implementazione di metodi LCIA già sviluppati, come la scarsità ecologica o i metodi Ecoindicatori. Non è stato sviluppato alcun nuovo metodo ("ecoinvent") (ad eccezione della domanda cumulativa di energia, CED, per la quale non esiste alcuna implementazione "ufficiale" o unificata). L'implementazione dei metodi LCIA viene eseguita con l'obiettivo di fornire una guida su come combinare i risultati di ecoinvent LCI con i fattori di caratterizzazione, danno o ponderazione dei metodi LCIA attualmente disponibili.



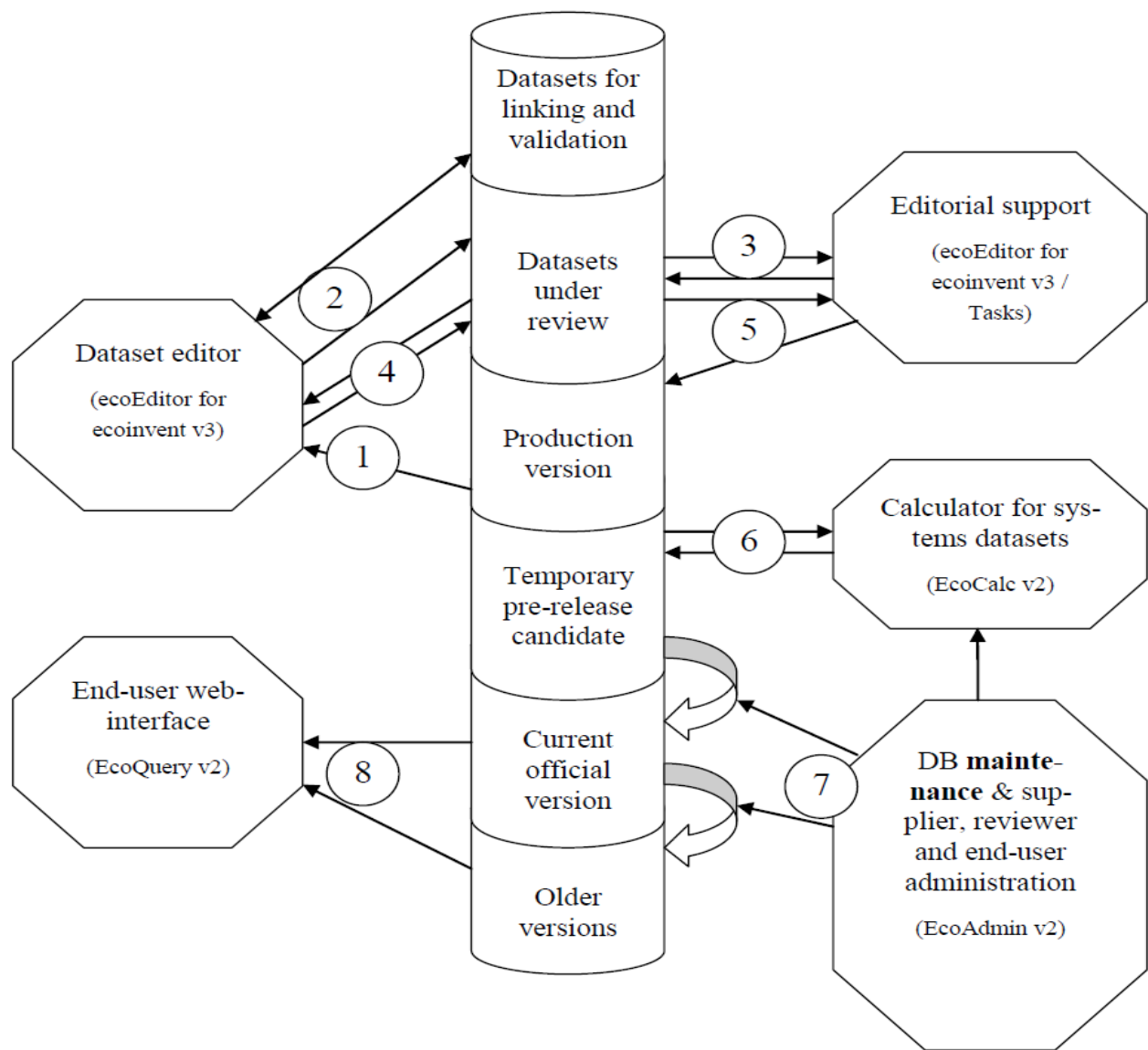
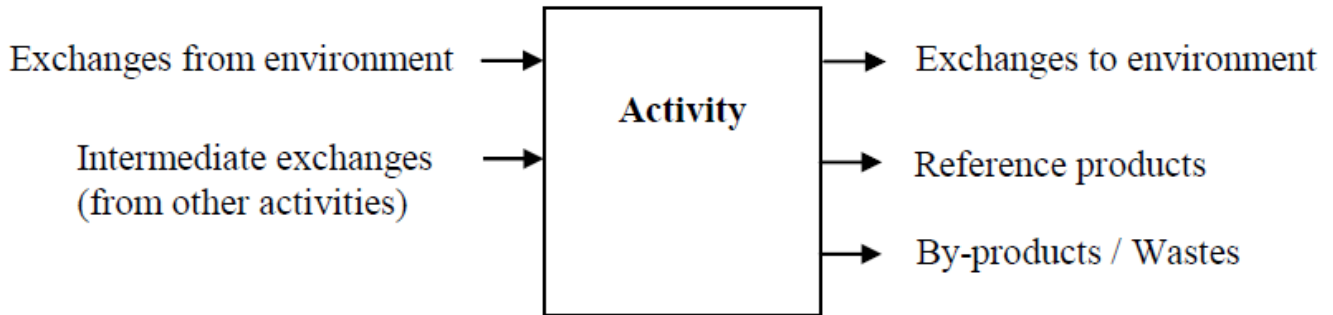


Fig. 6 - La struttura di base del sistema di database ecoinvent

Un set di dati di attività ecoinvent rappresenta un processo unitario di un'attività umana e dei suoi scambi con l'ambiente e con altre attività umane.



*Fig. 7 - Un set di dati di attività con le sue categorie di scambi*

Gli scambi da e verso l'ambiente, detti anche scambi elementari, sono posti sia sul lato di ingresso che sul lato di uscita.

Tutti gli altri scambi sono scambi intermedi, cioè scambi tra attività. Sul lato output distinguiamo tra:

- Prodotti di riferimento;
- Sottoprodotti / Rifiuti.

La distinzione tra prodotti di riferimento e sottoprodotto/rifiuti è specifica dell'attività, ovvero lo stesso prodotto può essere un prodotto di riferimento di un'attività e un sottoprodotto/rifiuto di un'altra attività.

Gli scambi dall'ambiente sono risorse estratte e reagenti chimici dall'aria (ad esempio CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>), acqua o suolo che entrano in un'attività umana o nella biomassa raccolta in natura. Anche la trasformazione della terra, l'occupazione della terra e l'orario di lavoro sono registrati come scambi (servizi forniti) dall'ambiente naturale, sociale o economico.

Per distinguere le attività umane dal loro ambiente, vengono seguiti due principi in combinazione:

- "The natural background", ovvero includere tutto ciò che non si sarebbe verificato senza l'attività, ed escludere tutto ciò che si sarebbe verificato anche senza l'attività;
- "Gestione umana", ovvero includere tutto ciò che avviene sotto la gestione umana ed escludere tutto ciò che avviene dopo che la gestione umana è terminata.<sup>[16]</sup>

### **Capitolo 3 – Obiettivo dello studio**

Duna S.r.l. progetta, produce e commercializza con il proprio marchio scarpe ortopediche predisposte e terapeutiche per donna, uomo e bambino, siano esse di serie che costruite su misura. Nata da un'intuizione di Franco Rosiglioni, tuttora presidente dell'azienda, Duna, con il proprio plant industriale sito in Falconara Marittima, punta da sempre e comunque sull'innovazione e la ricerca della qualità, con una produzione in grado di offrire le migliori soluzioni ad ogni genere di problema, coniugando grade efficacia funzionale ed attenzione per l'estetica. Radicati in un territorio ricco di tradizione produttiva nel settore, il nostro sguardo è sempre rivolto alle nuove frontiere dello sviluppo tecnologico in tutto il mondo europeo ed extraeuropeo. Duna investe costantemente nella ricerca tecnologica orientata alla creazione e sviluppo di nuovi prodotti testati sia dal mondo medico che dal mondo tecnico ortopedico, nell'innovazione dei suoi processi industriali, congiunti al valore aziendale in termini di patrimonio umano e di know-how acquisito nell'arco di due generazioni.<sup>[17]</sup>

L'analisi di sostenibilità ambientale ha l'obiettivo di analizzare prodotti o servizi al fine di valutare il carico ambientale ad essi correlato. In particolare, nel presente progetto sono stati applicati la metodologia e gli strumenti di Life Cycle Assessment (LCA).

Il Life Cycle Assessment è una metodologia che permette di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o attività (ISO 14040). Essa prende in esame l'intero ciclo di vita di un prodotto o di un servizio “dalla culla alla tomba” e il loro potenziale impatto ambientale inteso come:

- Uso e consumo delle risorse naturali (estrazione e lavorazione delle materie prime);
- Conseguenze ambientali dovute alla produzione, al trasporto, all'uso, riuso e manutenzione fino al riciclo e alla sua collocazione finale.

L'obiettivo dell'analisi LCA realizzata è stato quello di confrontare le performance ambientali di due differenti metodi di produzione di una scarpa ortopedica. In particolare è stata confrontata la produzione di una calzatura su misura (SM) e la produzione di una calzatura semi-personalizzata (SP), al fine di identificare tra di esse, la migliore soluzione. Dal momento che si tratta di un'analisi comparativa tra differenti sistemi, la definizione dell'unità funzionale assume un ruolo di elevata importanza, al fine di garantire la correttezza del confronto.

L'obiettivo di questo lavoro è confrontare la sostenibilità ambientale della nuova produzione di un modello di scarpa ortopedica semi-personalizzata (SP) rispetto alla produzione tradizionale di una calzatura su misura (SM).

I risultati ottenuti dall'analisi ambientale delle diverse tipologie di scarpe ortopediche sono stati messi a confronto al fine di evidenziare quale scenario fosse il migliore dal punto di vista delle performance ambientali.

## **Capitolo 4 – Descrizione della calzatura ortopedica**

Nel secolo passato la calzatura ortopedica era costruita dal semplice calzolaio che, il più delle volte, non conoscendo la struttura del piede e le correzioni da effettuare, si limitava empiricamente a nascondere le deformità, ottenendo spesso come risultato calzature inefficienti e per giunta antiestetiche. Di conseguenza è nata una certa sfiducia verso le calzature ortopediche, oggi non più giustificata. Nel tempo, le tecniche di costruzione si sono perfezionate. Studi più approfonditi hanno introdotto metodiche che permettono di confezionare calzature efficaci, leggere e rispondenti alle esigenze estetiche dell'utente.

Oggi con le nuove conoscenze acquisite nell'ambito della biomeccanica podalica, con l'utilizzo di metodiche assistite da sistemi computerizzati, la costruzione della calzatura ortopedica viene eseguita con regole tecnico-scientifiche, che mirano, a ristabilire la funzionalità del piede tenendo conto della statica, della dinamica, dell'arto inferiore, della colonna vertebrale e della parte estetica. Gli elementi della calzatura ortopedica, sono sostanzialmente gli stessi che compongono la calzatura normale, ma alcuni di questi, sono foggiate e lavorati in maniera da svolgere azioni correttive al piede. Infatti, la calzatura ortopedica pur essendo composta nelle sue parti come la calzatura commerciale, ha la tomaia studiata in funzione della conformazione del piede e della patologia che presenta e può essere più o meno irrigidita da forti particolari. Inoltre il fondo oltre ad essere rinforzato in corrispondenza del fionso, può portare tacchi particolari, sagomati secondo la funzione che deve svolgere. Il sistema correttivo è realizzato da un insieme d'accorgimenti personalizzati mirati a migliorare l'assetto statico e dinamico del piede.

La calzatura ortopedica ha diverse indicazioni a seconda delle caratteristiche delle deformità e del compito che deve assolvere, indicazioni che così si possono sintetizzare:

- correggere la deviazione di un piede, avente una deformità reversibile, cioè riconducibile alle linee normali. In tal caso la calzatura deve mantenere un certo atteggiamento fisiologico ed anatomico del piede, opponendo quindi ostacolo alle forze stesse che provocano la deformità;
- consentire una normale deambulazione, anche quando la deformità è divenuta irriducibile. In questi casi, la calzatura necessita di accorgimenti tendenti a prevenire peggioramenti di tale deformità;
- compensare l'accorciamento reale e apparente di un arto;
- sostituire la parte mancante di un piede, sostenere il carico e permettere la deambulazione;
- correggere una malformazione, a mezzo di accorgimenti speciali costituiti a immagine della parte mancante;
- sopperire alle deficienze funzionali del piede o della gamba, causate da una paralisi della muscolatura. <sup>[18]</sup>

#### **4.1. Forma ortopedica**

La forma è un oggetto che rappresenta l'interpretazione del volume destinato al piede all'interno della calzatura, ne descrive la sagoma anatomica, ed è la base di partenza essenziale per la fabbricazione delle calzature. La forma ortopedica su misura viene realizzata, sulla base delle misure di un determinato piede.



[13]

*Fig. 8 - Forma realizzata in polietilene e modificata con sughero sintetico*

## **4.2. Plantare ortopedico**

Il plantare è un dispositivo medico ortopedico consistente in un particolare tipo di suola semirigida da inserire nelle scarpe per correggere la deformazione del carico corporeo durante la fase di appoggio del piede. Il nome plantare deriva dalla struttura anatomica dove agisce, cioè la pianta del piede. L'ortesi deve modificare l'intera struttura del piede, cambiando le inclinazioni delle articolazioni tra le ossa (calcagno, astragalo, cuboidi, metatarsi, ecc.), senza creare dolore. Quando il plantare è su misura viene pensato e costruito in base alle necessità specifiche di ogni persona, divenendo di fatto un pezzo unico: non esiste infatti un plantare su misura uguale ad un altro.

Esistono plantari di ogni tipo. Sulla base dei materiali utilizzati per la realizzazione della struttura di base i plantari possono essere suddivisi in organici e sintetici.

I plantari organici sono quei dispositivi realizzati in materiali come cuoio e sughero, il primo utilizzato come strato di rivestimento, il secondo per andare a creare multistrati. Tale famiglia consente solo una lavorazione tradizionale. Non essendo termoformabili, si deformano meno e pertanto hanno un tempo di vita maggiore rispetto i materiali sintetici. Essi assorbono però umidità, quindi costituiscono un ambiente adatto per il proliferare di batteri. Godono sicuramente di traspirabilità maggiore rispetto quella offerta dai materiali sintetici, però, poiché il cuoio viene spesso lavorato con nichel e cromo le cui tracce si palesano nella concia, oggi sono allora, sempre meno utilizzati a favore dei materiali sintetici.



I plantari sintetici sono i più presenti sul mercato grazie alle infinite lavorazioni e personalizzazioni possibili sugli stessi. Possono mixare le caratteristiche di materiali differenti per creare strutture multistrato con spessori anche molto ridotti. Possiamo avere fino ad un massimo di 4 strati:

- BASE la struttura portante a cui vengono ancorati gli strati di supporto (solo qualora dovesse essere un plantare multistrato). È lo strato di spessore maggiore fino a 25 (mm). I materiali più utilizzati sono EVA e PE, combinati o singolarmente, per ottenere durezze differenti.
- INSERTI elementi personalizzati, realizzati in materiali differenti a seconda dell'effetto che si desidera ottenere: protettivo, ammortizzante, comfort. Li troviamo in materiali come resine, lattice, silicone, poliestere...
- RINFORZI utilizzati per irrobustire la struttura. Solitamente in polietilene, gomma sintetica, fibra di carbonio, PPT...
- COPERTURA è lo strato che rappresenta l'interfaccia tra dispositivo e piede. Questo strato ha la funzione di garantire un buon adattamento del piede. Vista la sua funzione deve essere realizzato con materiali che godono di proprietà simili a quelle dei tessuti molli. Possono essere utilizzati materiali come: microfibra, EVA multiforato, neoprene, resine e composti a base di poliuretano e cellulosa.



*Fig. 9 - Plantare ortopedico in EVA*

### **4.3. Suola ortopedica**

Per suola si intende, come noto, la parte anteriore del fondo della calzatura, particolarmente resistente, la cui superficie inferiore, durante la marcia, viene parzialmente o totalmente a contatto col suolo. La progettazione della suola ortopedica su misura tiene in considerazione le caratteristiche tecniche della forma montata e le esigenze specifiche di ogni persona.



[13]

*Fig. 10 - Suola ortopedica in mescola stirene butadiene stirene*

## **Capitolo 5 – Analisi della sostenibilità ambientale della scarpa ortopedica**

Quello delle calzature è uno dei settori produttivi maggiormente inquinanti: tra i metodi e i macchinari usati per la produzione e per via dell'impiego di materiali dall'enorme impatto ambientale, le scarpe minacciano seriamente il pianeta e la salute di chi lo abita.

Ogni anno nel mondo si producono oltre 20 miliardi di paia di scarpe, con un impatto ambientale assolutamente non trascurabile. Il motivo è presto detto: le calzature sono prodotti complessi che richiedono l'impiego di molti materiali e processi di produzione diversi, entrambi fattori che incidono notevolmente sull'impatto ambientale complessivo del prodotto. Ovviamente, a questo va aggiunto che tutte le calzature immesse sul mercato presto o tardi arriveranno alla fine del proprio ciclo di vita, diventando un rifiuto da smaltire spesso con non poche difficoltà.<sup>[19]</sup>

Quasi tutte le fasi di lavorazione delle calzature sono caratterizzate da un impatto sull'ambiente, quantificabile in modo più netto rispetto agli altri settori della moda. Infatti, i materiali tradizionalmente impiegati nel settore (pelli, cuoio, materiali sintetici, vernici e collanti a base di solventi chimici, gomme, metallo, solventi di lavorazione) sono solo in parte riciclabili e generalmente possono risultare, sia pure a diversi livelli, inquinanti. In più, l'attività di produzione e distribuzione delle scarpe produce effetti significativi anche in termini di emissioni di CO<sub>2</sub>, soprattutto se si considera l'intera filiera delle calzature, dalla produzione delle materie prime sino alla vendita al dettaglio. Allo stesso modo, anche le esalazioni dei solventi possono contribuire ad alimentare gli effetti sulle emissioni rispetto ai gas nocivi per l'atmosfera e l'ozono, mentre i solventi non volatili possono facilmente inquinare le falde acquifere.<sup>[20]</sup>

Per fare un esempio, secondo uno studio condotto oltreoceano qualche tempo fa, la realizzazione di un classico paio di scarpe da ginnastica immette nell'atmosfera circa 136 kg di anidride carbonica, mentre altre tipologie di calzature, in media, immettono nell'ambiente 30 kg di anidride carbonica. Sì, perché nella fase di produzione di qualsiasi calzatura vengono impiegati macchinari tecnologicamente molto avanzati, che sono necessariamente alimentati con enormi quantità di combustibili fossili altamente inquinanti, che producono gas serra quando vengono bruciati. A questo si aggiunge che la produzione di calzature richiede l'uso di prodotti chimici – come per esempio le colle e i coloranti – che spesso vengono gestiti e smaltiti male, finendo per inquinare l'ambiente.<sup>[19]</sup>

Il principale trend in atto nella domanda si sostanzia nella personalizzazione e nella user experience personalizzata rispetto alle esigenze del cliente. Riuscire a offrire prodotti e servizi in grado di adattarsi alle specifiche caratteristiche dei clienti (per esempio alle loro caratteristiche biometriche) o a particolari esigenze rispetto a requisiti dimensionali, o a forme e finiture non standard è oggi la frontiera evolutiva su cui si sta ampiamente delineando il nuovo sistema di produzione per i beni di tipo manifatturiero. Per il Made In Italy, si tratta di riuscire a realizzare una personalizzazione ancora più spinta rispetto ai modelli tradizionali. Orientando il sistema produttivo verso soluzioni su misura per soddisfare questo nuovo tipo di domanda di prodotti e servizi nei settori chiave di questo comparto e favorire l'espansione verso nuovi mercati e segmenti della domanda.<sup>[21]</sup>

Gli elementi della calzatura ortopedica sono sostanzialmente gli stessi che compongono la calzatura normale, ma alcuni di questi sono creati e lavorati in maniera da svolgere azioni correttive al piede. Infatti, la calzatura ortopedica su misura pur essendo composta nelle sue parti come la calzatura commerciale, il modello della forma, della tomaia, del plantare e della suola sono studiati in funzione della conformazione del piede e alla patologia che presenta. Il sistema di cui andremo ad effettuare l'analisi LCA prende in considerazione la calzatura e il plantare di una scarpa ortopedica di taglia 44 prodotta su misura o semi-personalizzata.

Le categorie di impatto e gli indicatori utilizzati per lo studio LCA sono ricavati mediante applicazione del metodo ReCiPe mid-point - Hierarchist (H) version - Europe (Goedkoop et al. 2009, Huijbregts et al. 2017).

## **5.1. Analisi d’inventario**

Di seguito sono riportati tutti i processi relativamente ai processi di SM e PS che sono stati presi in considerazione per l’analisi LCA, sia per la produzione dei plantari che della calzatura. In particolare sono state considerate le fasi produttive o progettuali caratterizzate da differenze in termini di consumo di energia o di utilizzo di materiali.

<b>Fase di lavorazione dei plantari SM e PS</b>	<b>Incluse nello studio</b>
Ricezione ordine	
Creazione Bolla di lavorazione	
Gestione degli avanzamenti	
Preparazione del materiale	X
Progettazione CAD	X
Generazione percorso CAM	
Preparazione materiale Ricopertura	
Preparazione Pantografo	
Fresatura	X
Finitura	X
Magazzino	
Amministrazione	

*Tabella 1 – Fasi di lavorazione prese in considerazione per la produzione dei plantari SM e PS*

<b>FASE DI LAVORAZIONE</b>	<b>Incluse nello studio</b>
Ricezione ordine	X
Attesa materiali	X
Creazione bolla di lavorazione	
Progettazione della Forma	X
Tornitura della Forma	X
Progettazione del sottopiede	X
Taglio del sottopiede	X
Realizzazione del plantare di montaggio	X
Realizzazione Contrafforti	X
Finitura del sottopiede	X
Progettazione Modello e componenti interni	X
Design del Puntale	X
Taglio modello e componenti	X
Orlatura	
Montaggio	
Suolificio	X
Rifinitura	
Magazzino Prodotti Finiti	
Spedizione	
Amministrazione	

*Tabella 2 – Fasi di lavorazione prese in considerazione per la produzione delle calzature SM e PS*

Le categorie di impatto e gli indicatori utilizzati per lo studio LCA sono riportati nella Tabella 3 e ricavati mediante applicazione del metodo ReCiPe mid-point - Hierarchist (H) version - Europe (Goedkoop et al. 2009, Huijbregts et al. 2017).

Impact category	Unit
Ozone depletion	kg CFC-11 eq
Natural land transformation	m2
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq
Freshwater eutrophication	kg P eq
Marine eutrophication	kg N eq
Particulate matter formation	kg PM10 eq
Urban land occupation	m2a
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC
Terrestrial acidification	kg SO2 eq
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq
Agricultural land occupation	m2a
Metal depletion	kg Fe eq
Ionising radiation	kBq U235 eq
Water depletion	m3
Human toxicity	kg 1,4-DB eq
Fossil depletion	kg oil eq
Climate change	kg CO2 eq

*Tabella 1 - Indicatori ReCiPe Mid-Point-Hierarchist (H)*



## 5.2. Produzione della calzatura SM

Tutti i dati relativi a potenze e tempi sono stati forniti dall'azienda Duna s.r.l.. Tutte le energie sono state calcolate mediante il prodotto della potenza media assorbita dalla macchina e il tempo necessario alla lavorazione, secondo la seguente formula:

$$E_{\text{processo}}(\text{kW/h}) = P_{\text{macchina}}(\text{kW}) * t_{\text{lavorazione}}(\text{min})/60$$

LAVORAZIONI	Pot. macchine[kW]	Tempi [min]	E=[kW*min/60]
Ricezione ordine	0,0167	10	0,0028
Creazione bolla di lavoro	0,0333	20	0,0111
Progettazione della forma	0,4	80	0,5333
Progettazione del sottopiede	0,075	15	0,0188
Realizzazione del plantare di montaggio	1,733	40	1,1553
Realizzazione contrafforti	0,75	30	0,375
Finitura del sottopiede	0,317	10	0,0528
Progettazione modello e componenti interni	0,4	80	0,5333
Design del puntuale	0,025	5	0,0021
Suolficio	2,85	70	3,325

*Tabella 4 - Impatti energetici dei processi necessari alla produzione della calzatura SM*

### **5.3. Produzione della calzatura PS**

Nella tabella successiva è possibile vedere l'impatto in termini di consumo energetico di ognuno dei processi considerati:

LAVORAZIONI	Pot. macchine[kW]	Tempi [min]	E=[kW*min/60]
Ricezione ordine	0,0083	5	0,0007
Creazione bolla di lavoro	0,0167	10	0,0028
Realizzazione contrafforti	0,183	10	0,0305
Finitura del sottopiede	0,317	10	0,0528
Suolficio	3,125	60	3,125

*Tabella 5 - Impatti energetici dei processi necessari alla produzione della calzatura PS*

E' stato analizzato l'impatto ambientale in SimaPro per ogni fase di lavorazione, inserendo nel software i consumi energetici dei macchinari e la quantità di materiale consumata.

C:\Users\Public\Documents\SimaPro\Database\Professiona\ DUNA - [Analizza Creazione bolla d

File Modifica Calcola Strumenti Finestra Aiuto

Accueil Actions Visualis

Rete | Albero | Valutazione dell'impatto | **Inventario** | Contributo processo | Impostazione di calcolo | Controlli (0, 0) | Panoramica del prodotto

Compartimento: Tutti i compartimenti  
 Indicatore: Quantità fisica  
 Valore di esclusione: 0%  
 Per sub-compartment  
 Skip unused  
 Categoria:  
 Standard  
 Gruppo  
 Default units  
 Exclude long-term emission  
 Per impact category

N.	Sostanza	Compartimi	Unità	Totale	Electricity, low voltage {IT}
1	1-Butanol	Aria	pg	1,52	1,52
2	1-Butanol	Acqua	pg	579	579
3	1-Pentanol	Aria	pg	0,424	0,424
4	1-Pentanol	Acqua	pg	1,02	1,02
5	1-Pentene	Aria	pg	1,36	1,36
6	1-Pentene	Acqua	pg	0,768	0,768
7	1-Propanol	Aria	pg	92,4	92,4
8	1-Propanol	Acqua	pg	2,76	2,76
9	1,4-Butanediol	Aria	pg	2,61	2,61
10	1,4-Butanediol	Acqua	pg	6,01	6,01
11	2-Aminopropanol	Aria	pg	1,99	1,99
12	2-Aminopropanol	Acqua	pg	4,79	4,79
13	2-Butene, 2-methyl-	Aria	pg	0,0386	0,0386
14	2-Butene, 2-methyl-	Acqua	pg	0,0927	0,0927
15	2-Methyl-1-propanol	Aria	pg	1,27	1,27
16	2-Methyl-1-propanol	Acqua	pg	3,05	3,05
17	2-Methyl-4-chlorophenoxyacetic acid	Terreno	pg	0,0856	0,0856
18	2-Nitrobenzoic acid	Aria	pg	0,9	0,9
19	2-Propanol	Aria	ng	1,36	1,36
20	2-Propanol	Acqua	pg	8,22	8,22
21	2,4-D	Aria	pg	87,7	87,7
22	2,4-D	Terreno	ng	11	11
23	4-Methyl-2-pentanone	Acqua	pg	480	480
24	Acenaphthene	Aria	pg	13,2	13,2
25	Acenaphthene	Acqua	pg	23,1	23,1
26	Acenaphthylene	Aria	pg	0,367	0,367
27	Acenaphthylene	Acqua	pg	1,44	1,44
28	Acephate	Aria	pg	9,33	9,33
29	Acephate	Terreno	pg	18,6	18,6
30	Acetaldehyde	Aria	ng	730	730
31	Acetaldehyde	Acqua	ng	2,11	2,11
32	Acetamide	Aria	pg	2,3	2,3

Fig. 11 – Analisi del impatto ambientale della Creazione bolla di lavoro per la calzatura PS in SimaPro

Prima di inserire all'interno del software il materiale della calzatura, sono stati calcolati i kg delle sostanze utilizzate per la realizzazione considerando i volumi e le densità, la tabella 6 riassume i dati e ci permette di identificare le lavorazioni che presentano questo consumo.

Calzatura	LAVORAZIONI	Materiale	Densità (Kg/m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Quantità (kg)	Materiale Simapro
Forma	Tornitura della forma SM	HDPE	930	0,00414	3,8502	Polyethylene, high density, granulate {GLO}  market for   Alloc Rec, U
		Alluminio	2700	2,736E-06	0,0073872	Aluminium removed by drilling, conventional {GLO}  market for   Alloc Rec, U
Sottopiede	Taglio del sottopiede SM e PS	Termoplastico in matrice collosa	925	1,703E-05	0,015748125	Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer {GLO}  market for   Alloc Rec, U
Plantare di montaggio	Realizzazione del plantare di montaggio SM	Sughero sintetico (politek)	260	0,0019039	0,495001	Politek
Contrafforti	Realizzazione contrafforti SM e PS	Termoplastico in matrice collosa	925	3,972E-05	0,036741	Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer {GLO}  market for   Alloc Rec, U
imbottiture	Taglio modello e componenti SM e PS	Gomma piuma	250	0,004995	1,24875	Polyurethane, flexible foam {GLO}  market for   Alloc Rec, U
Rinforzo	Taglio modello e componenti SM e PS	Termoplastico in matrice collosa	925	0,0004303	0,3980275	Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer {GLO}

						market for   Alloc Rec, U
Puntali	Taglio modello e componenti SM e PS	Termoplastico in matrice collosa	925	1,099E-05	0,01016575	Acrylonitrile- butadiene- styrene copolymer {GLO}  market for   Alloc Rec, U
Suola panetto	suolificio SM e PS	Battistrada	1075	0,003099	3,331468	Acrylonitrile- butadiene- styrene copolymer {GLO}  market for   Alloc Rec, U
		Intersuola				
		Zeppa				
		Guardolo				

*Tabella 6 - Modellazione delle quantità e delle tipologie di materiale utilizzate per la calzatura*

Data la mancanza di dati relativi al Politek all'interno del database, si è resa necessaria la modellazione di un nuovo materiale. Esso è costituito dalla somma dei suoi maggiori componenti base, nello specifico: EVA (50%), HDPE (12,5%), copolimero stirene-butadiene (6,3%), Carbonato di Calcio (20,6%). I restanti componenti non sono stati presi in considerazione perché di quantità trascurabili (al di sotto dell'1% ognuno). I dati sono stati inseriti in riferimento a una quantità di 1kg di Politek.

#### **5.4. Produzione dei plantari SM e SP**

Analogo discorso è stato fatto per i due plantari, riportando nella tabella 7 le energie per le lavorazioni considerate nell'analisi LCA di un plantare su misura, nella tabella 8 le energie relative al plantare semi personalizzato, infine nella tabella 9 il consumo dei materiali sia per il plantare SM sia per quello PS.

LAVORAZIONI	Pot. macchine[kW]	Tempi [min]	E=[kW*min/60]
Progettazione CAD	0,15	30	0,075
Fresatura	2,45	35	1,4292
Finitura	0,65	20	0,2167

*Tabella 7 - Impatti energetici dei processi necessari alla produzione del plantare SM*

LAVORAZIONI	Pot. macchine[kW]	Tempi [min]	E=[kW*min/60]
Progettazione CAD	0,15	20	0,05
Fresatura	1,27	20	0,4233
Finitura	0,65	15	0,1625

*Tabella 8 - Impatti energetici dei processi necessari alla produzione del plantare PS*

LAVORAZIONI	Materiale	Densità Kg/m <sup>3</sup>	Volume m <sup>3</sup> SM	Volume m <sup>3</sup> PS	Quantità kg SM	Quantità kg PS	Materiale Simapro
Preparazione del materiale	EVA	920	0,00546	0,00364	5,0232	3,3488	Ethylene Vinyl Acetate Copolymer {GLO}  market for   Alloc Rec, U
Finitura	Multiform	180	0,0002304	0,00013958	0,041472	0,0251244	Ethylene Vinyl Acetate Copolymer {GLO}  market for   Alloc Rec, U

*Tabella 9 - Modellazione delle quantità e delle tipologie di materiale utilizzate per i plantari*



Tutte le fasi di lavorazione prese in considerazione dall'analisi per le calzature e per i plantari SM e PS sono state inserite nel software SimaPro.

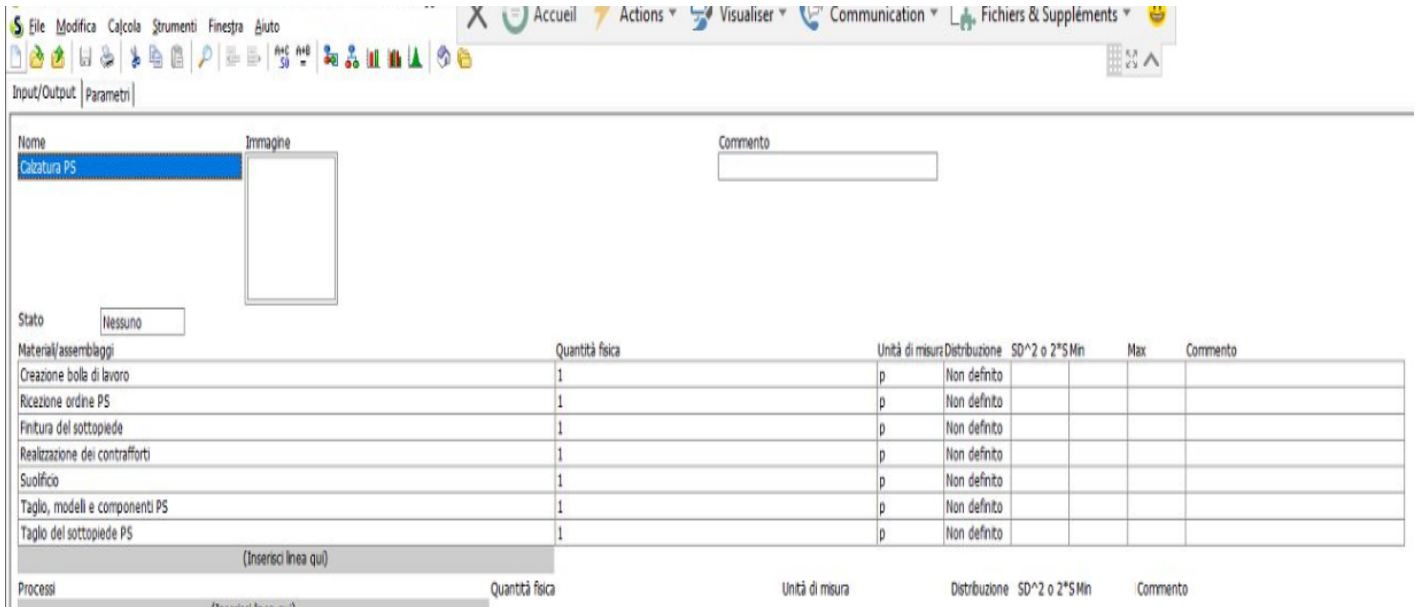


Fig. 12 – Interfaccia SimaPro durante l'inserimento delle fasi di lavorazione per la calzatura PS

Per ogniuna delle fasi di lavorazione sono stati inseriti i consumi energetici dei macchinari ed il tipo e le quantità in kg di materiali consumati. Inoltre, sono stati fatti i confronti in termini di impatto ambientale tra le due calzature e plantari (SM e PS). I dati ottenuti in SimaPro sono stati riportati in Excel.

C:\Users\Public\Documents\SimaPro\Database\Professional\ DUNA - [Analizza Plantari PS]

File Modifica Calcola Strumenti Finestra Aiuto

Accueil Actions Visualiser

Rete | Abero | Valutazione dell'impatto | **Inventario** | Contributo processo | Impostazione di calcolo | Controlli (0, 0) | Panoramica del prodotto

Compartimento: Tutti i compartimenti | Indicatore: Quantità fisica | Valore di esclusione: 0% | Default units:  | Exclude long-term emission:  | Per sub-compartment:  | Skip unused:  | Standard:  | Gruppo:  | Per impact category:

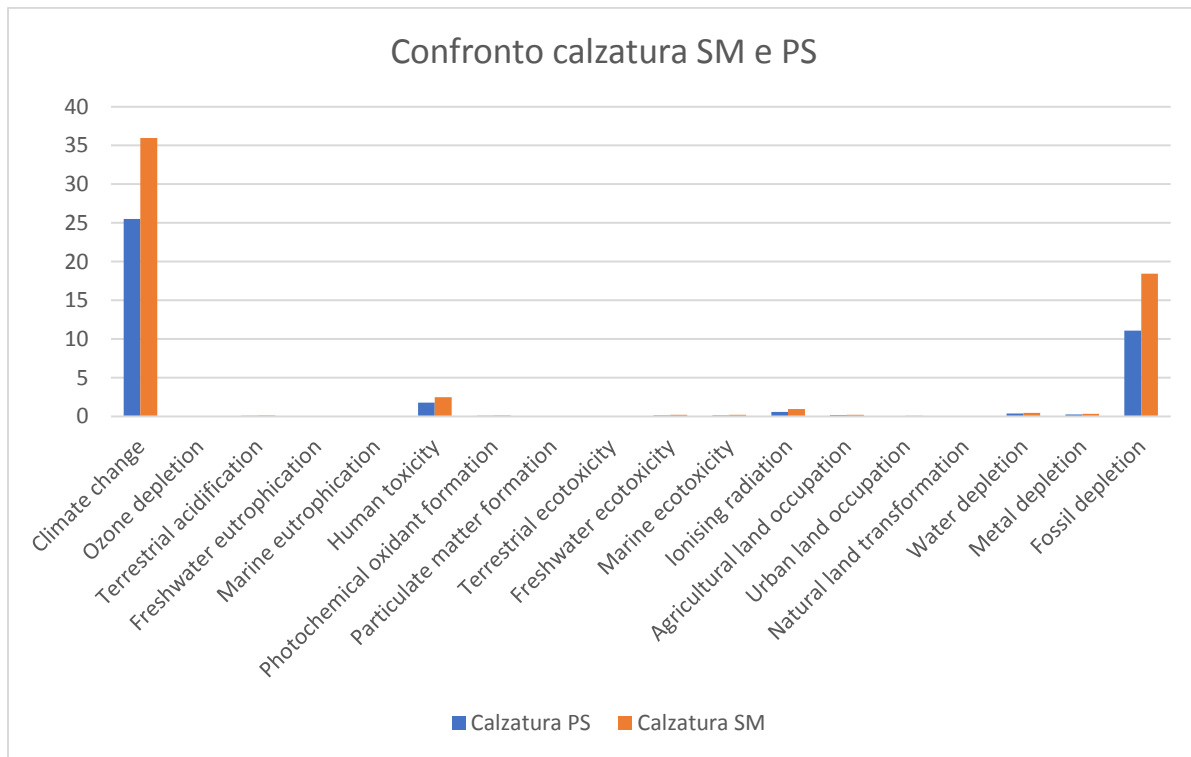
N.	Sostanza	Compartim.	Unità	Totale	Finitura PS	Fresatura PS	Progettazione CAD PS	Preparazione del materiale PS
1	1-Butanol	Aria	ng	6,26	0,135	0,238	0,0281	5,86
2	1-Butanol	Acqua	mg	34,9	0,26	9,06E-5	1,07E-5	34,7
3	1-Pentanol	Aria	ng	254	1,91	0,0664	0,00785	252
4	1-Pentanol	Acqua	ng	609	4,59	0,159	0,0188	604
5	1-Pentene	Aria	ng	242	1,88	0,213	0,0252	240
6	1-Pentene	Acqua	ng	460	3,47	0,12	0,0142	456
7	1-Propanol	Aria	µg	1,83	0,019	0,0145	0,00171	1,79
8	1-Propanol	Acqua	ng	821	6,28	0,433	0,0511	815
9	1,4-Butanediol	Aria	ng	30,8	0,382	0,41	0,0484	29,9
10	1,4-Butanediol	Acqua	ng	70,8	0,878	0,942	0,111	68,8
11	2-Aminopropanol	Aria	ng	3,33	0,141	0,312	0,0369	2,84
12	2-Aminopropanol	Acqua	ng	8	0,339	0,75	0,0886	6,83
13	2-Butene, 2-methyl-	Aria	pg	360	4,93	6,05	0,715	348
14	2-Butene, 2-methyl-	Acqua	pg	863	11,8	14,5	1,72	835
15	2-Methyl-1-propanol	Aria	ng	439	3,35	0,199	0,0235	436
16	2-Methyl-1-propanol	Acqua	µg	1,05	0,00803	0,000478	5,65E-5	1,05
17	2-Methyl-4-chlorophenoxyacetic acid	Terreno	ng	1,58	0,0168	0,0134	0,00159	1,55
18	2-Nitrobenzoic acid	Aria	ng	5,25	0,0917	0,141	0,0167	5
19	2-Propanol	Aria	mg	1,12	0,0084	0,000214	2,53E-5	1,11
20	2-Propanol	Acqua	ng	106	1,27	1,29	0,152	103
21	2,4-D	Aria	ng	80,2	5,72	13,7	1,62	59,1
22	2,4-D	Terreno	µg	24,6	0,826	1,72	0,204	21,9
23	4-Methyl-2-pentanone	Acqua	µg	2,01	0,043	0,0752	0,00889	1,88
24	Acenaphthene	Aria	ng	48,2	1,13	2,07	0,245	44,8
25	Acenaphthene	Acqua	ng	108	2,16	3,62	0,427	102
26	Acenaphthylene	Aria	ng	2,46	0,0398	0,0576	0,00681	2,35
27	Acenaphthylene	Acqua	ng	6,78	0,135	0,226	0,0267	6,39

Fig. 13 – Analisi del impatto ambientale delle fasi di lavorazione dei plantari PS in SimaPro

## Capitolo 6 – Risultati e interpretazione

La fase di modellazione è assistita dal software commerciale di analisi LCA SimaPro versione 8, con installato il Data Base commerciale EcoInvent v3.2.

Di seguito sono mostrati i risultati ottenuti dalla modellazione LCA sul software SimaPro, partendo dai confronto iniziale tra calzatura su misura e calzatura semi-personalizzata.



*Fig. 14- Confronto indicatori tra calzatura SM e calzatura PS*

Il grafico nella figura 14 rappresenta l'impatto di tutte le fasi considerate nell'analisi della produzione di una calzatura su misura e una semi-personalizzata per tutti gli indicatori del ReCiPe mid-point - Hierarchist (H) version - Europe (Goedkoop et al. 2009, Huijbregts et al. 2017).

Categoria d'impatto	Unità	Calzatura PS	Calzatura SM	Riduzione [%]
Climate change	kg CO2 eq	2,55E+01	3,60E+01	-29%
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	6,78E-07	1,01E-06	-33%
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	8,29E-02	1,18E-01	-30%
Freshwater eutrophication	kg P eq	2,50E-03	3,09E-03	-19%
Marine eutrophication	kg N eq	9,66E-03	1,07E-02	-9%
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1,79E+00	2,47E+00	-28%
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	7,74E-02	1,21E-01	-36%
Particulate matter formation	kg PM10 eq	3,26E-02	4,46E-02	-27%
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	7,28E-04	1,01E-03	-28%
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1,45E-01	2,24E-01	-35%
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1,31E-01	2,00E-01	-34%
Ionising radiation	kBq U235 eq	5,89E-01	9,65E-01	-39%
Agricultural land occupation	m2a	1,55E-01	2,20E-01	-29%
Urban land occupation	m2a	5,70E-02	8,79E-02	-35%
Natural land transformation	m2	6,37E-04	1,09E-03	-42%
Water depletion	m3	3,85E-01	4,58E-01	-16%
Metal depletion	kg Fe eq	2,35E-01	3,41E-01	-31%
Fossil depletion	kg oil eq	1,11E+01	1,85E+01	-40%

*Tabella 10 - Impatti della Produzione della calzatura SM e della calzatura PS*

Come si nota dalla figura 14, la calzatura SM supera per ogni indicatore l'impatto ambientale della calzatura semi-personalizzata. Di seguito, l'interpretazione dei risultati sarà mostrata, per motivi di sintesi, in termini di Climate Change (Kg CO<sub>2</sub> eq.) per l'unità funzionale considerata.

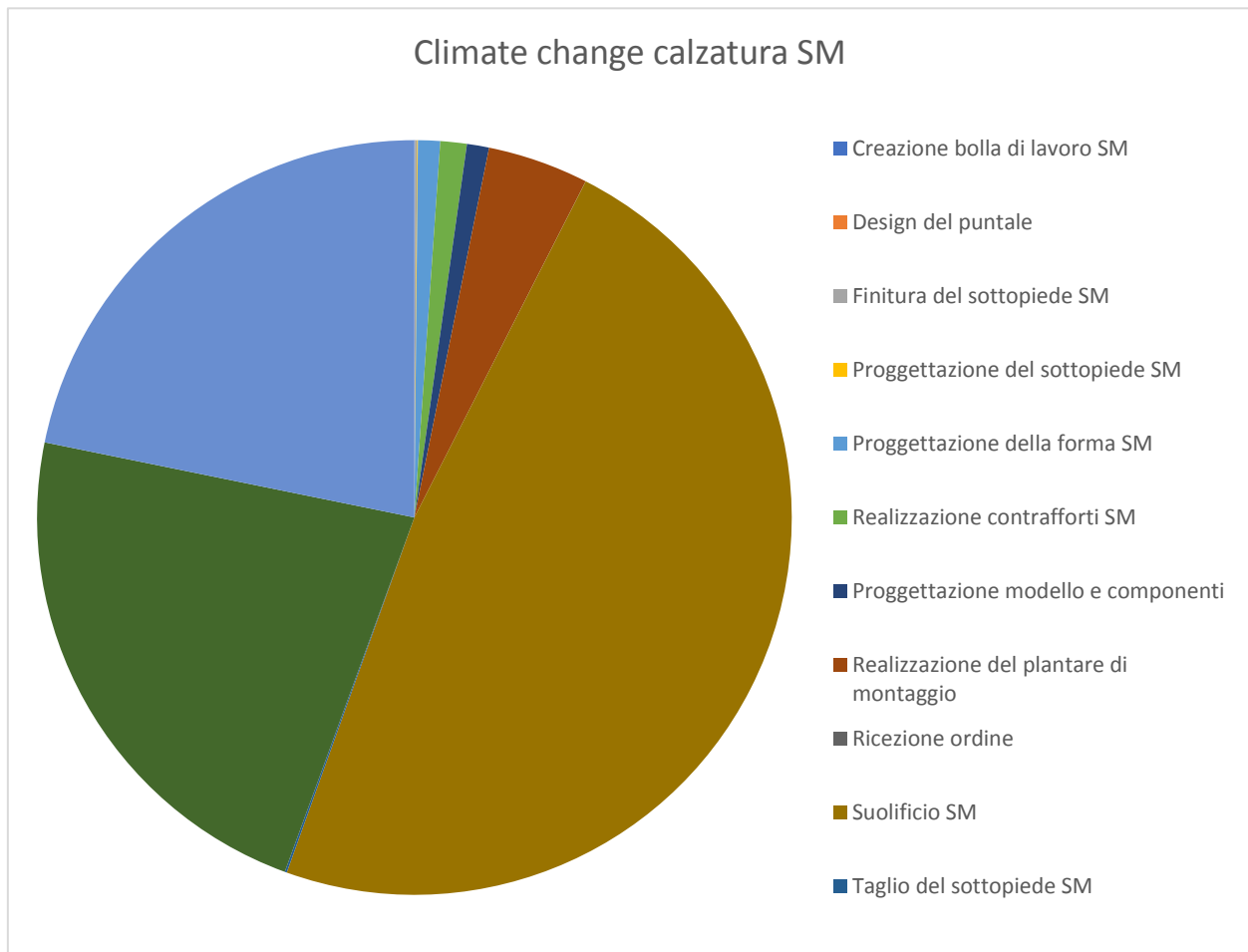
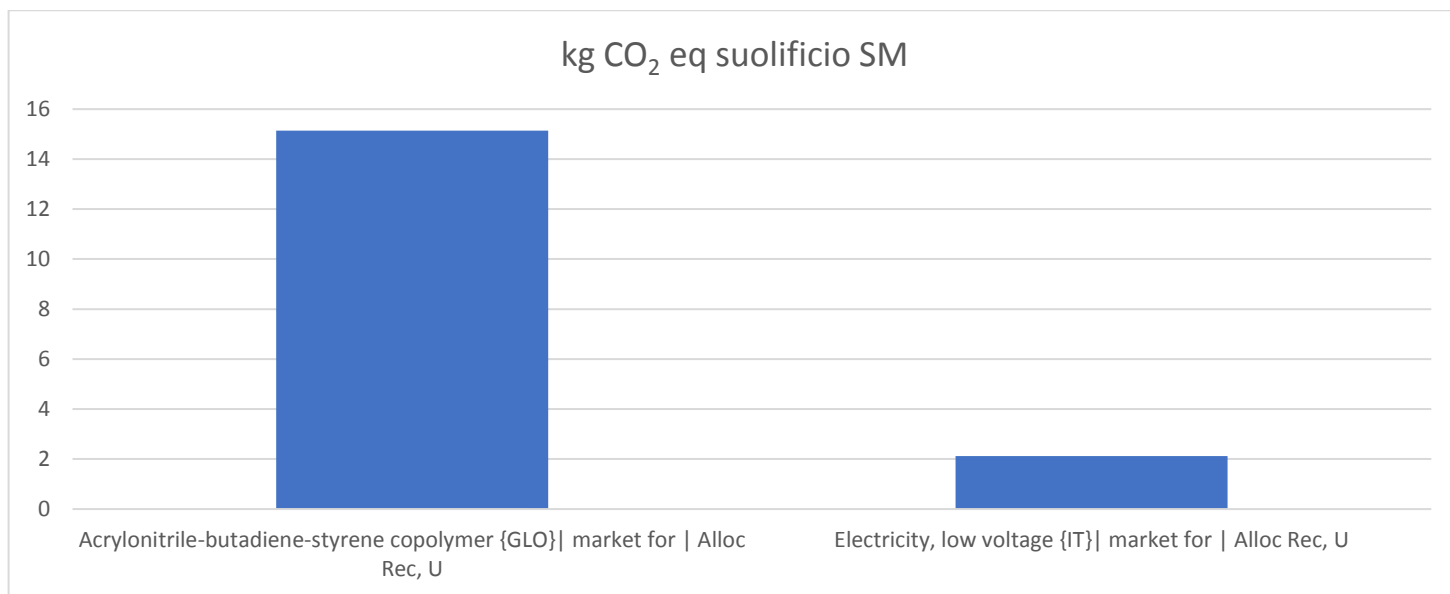


Fig. 15 - Impatto totale (Climate Change – Kg CO<sub>2</sub> eq.) per una calzatura SM

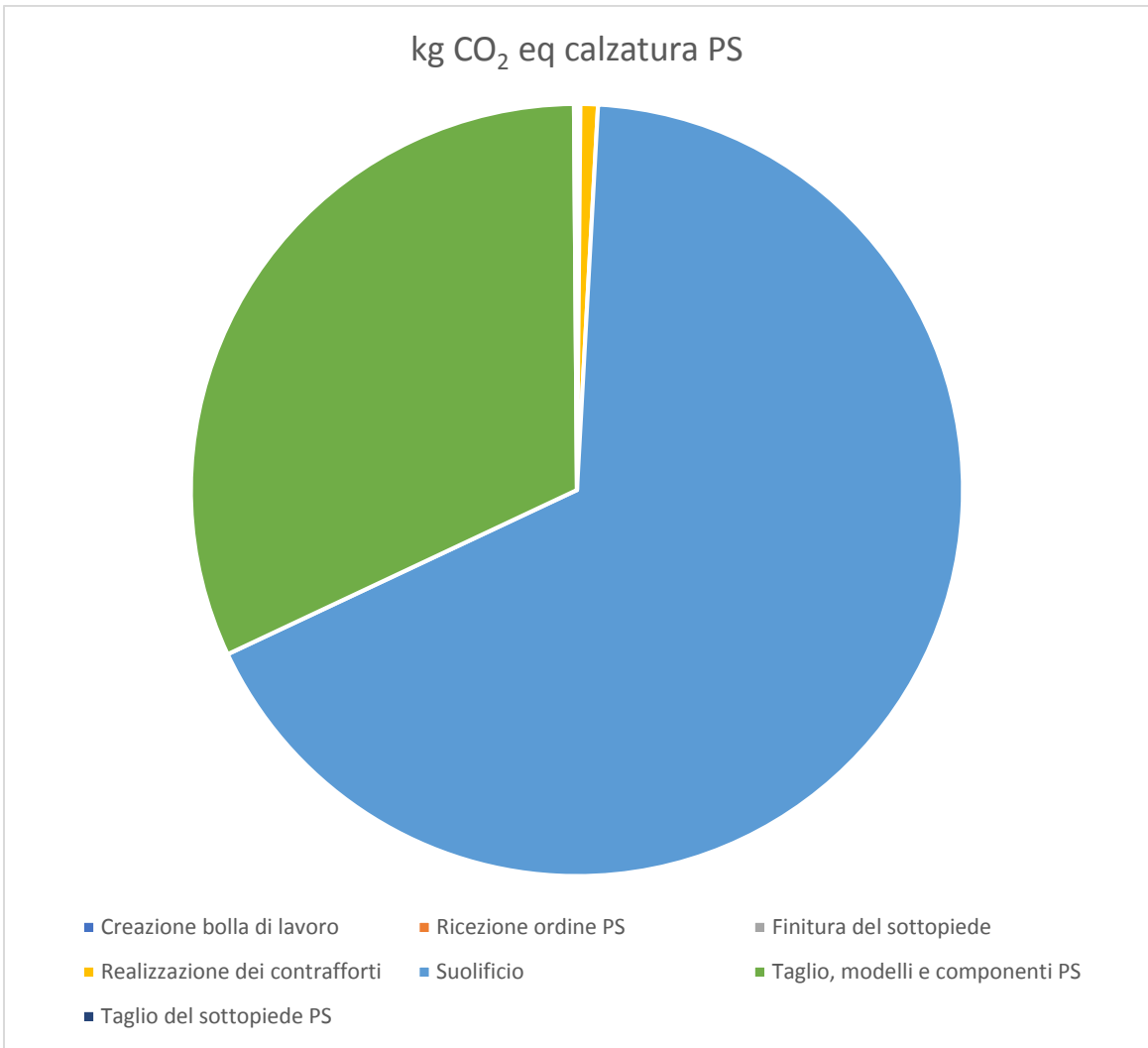
In questo grafico vengono riportati gli impatti ambientali delle fasi di lavorazione della singola calzatura su misura, si può notare che per il Climate Change la lavorazione relativa al suolificio ricopre il 48% dell'impatto totale, producendo 17 kg CO<sub>2</sub> eq.



*Fig. 16 - Kg CO<sub>2</sub> eq. della fase di suolificio per una calzatura SM*

Come notiamo dal grafico nella fase di lavorazione del suolificio l'impatto maggiore è dovuto al solo materiale SBS considerato come Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, con 88% sul totale di kg CO<sub>2</sub> eq.

Analogamente per la calzatura semi personalizzata sono stati analizzati i kg di CO<sub>2</sub> eq. per l'insieme di tutte le fasi di produzione.



*Fig. 17 - Impatto totale (Climate Change – Kg CO<sub>2</sub> eq.) per una calzatura PS*

Anche per la calzatura semi-personalizzata la fase di lavorazione del suolificio risulta essere più impattante producendo 17 kg di CO<sub>2</sub> (come per la calzatura SM) però ricopre il 67% dell'impatto sull'intera produzione della calzatura, maggiore (rispetto al 48% della calzatura SM) perché le lavorazioni della calzatura PS sono in numero minore.

La criticità del suolificio rappresentata in figura 16, come per la calzatura SM, è dovuta al materiale.

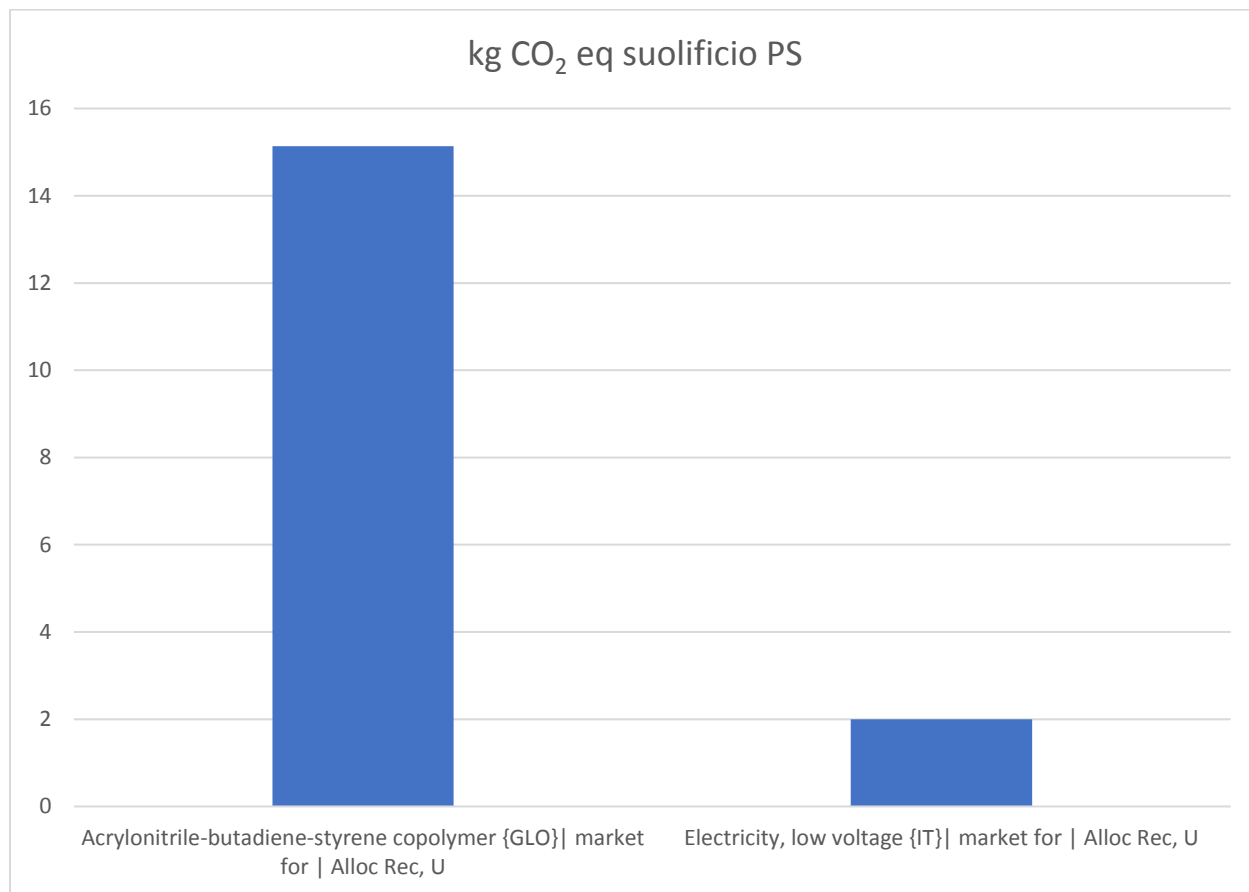


Fig. 18 - Kg CO<sub>2</sub> eq. della fase di suolificio per una calzatura PS



La seconda fase dell'interpretazione dei risultati viene ad essere analoga a quella delle calzature. Si è partiti dal confronto dell'impatto dei due plantari per ogni indicatore, per poi porre l'attenzione sui kg di CO<sub>2</sub> equivalenti.

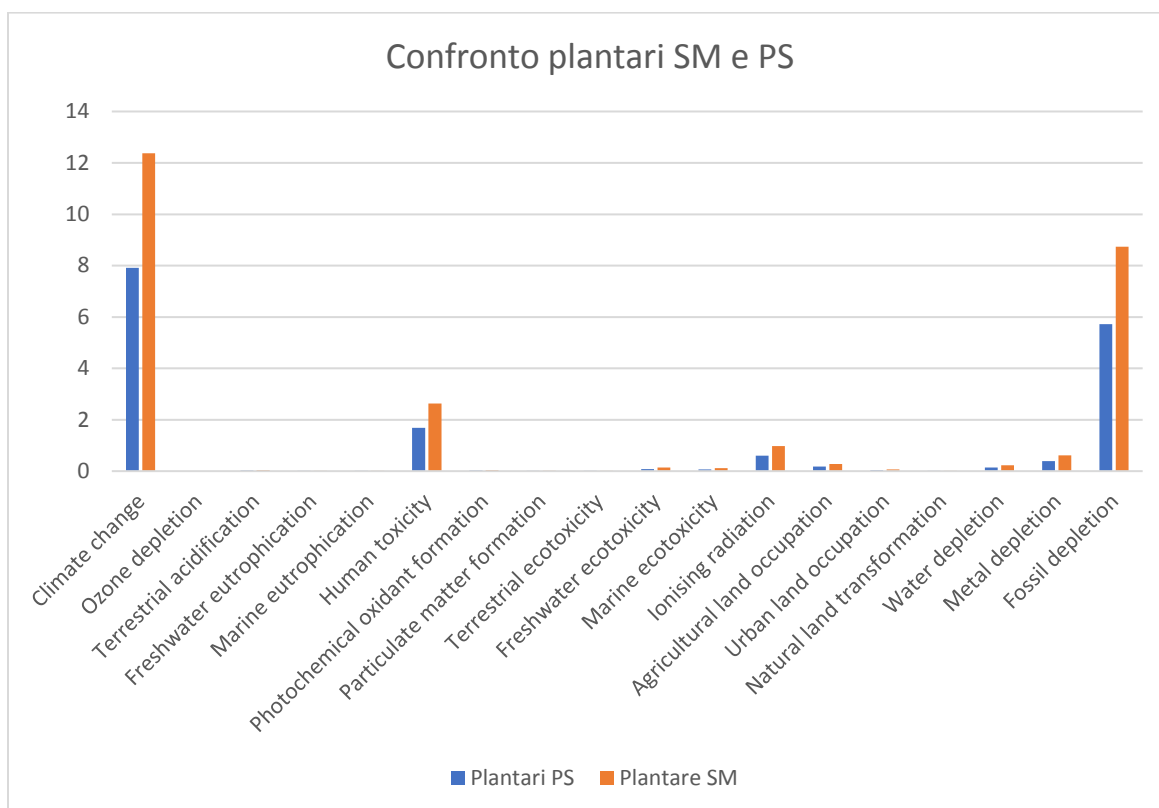


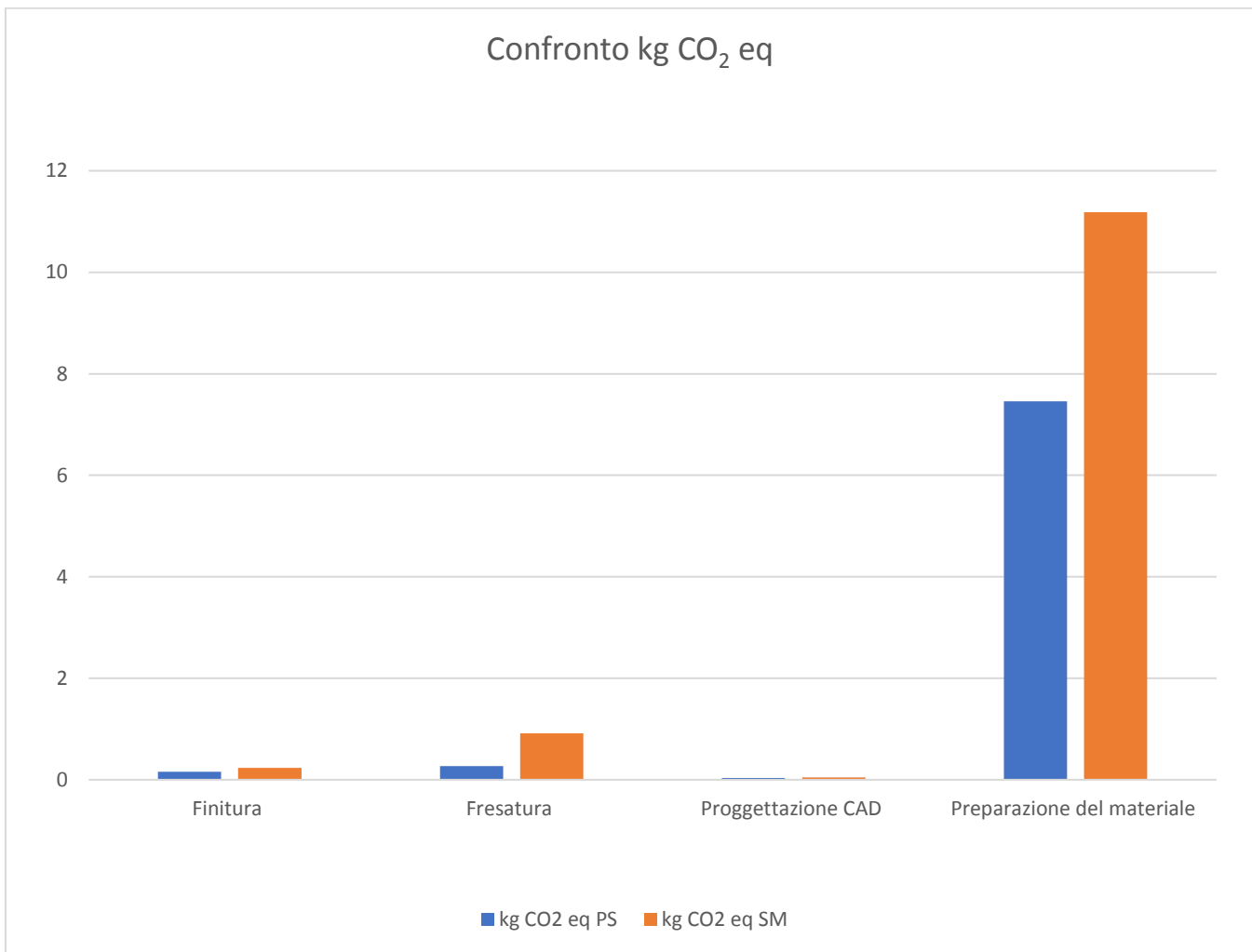
Fig. 19 - Confronto indicatori tra plantare SM e plantare PS

Anche per i plantari la nuova soluzione semi-personalizzata ha un impatto ambientale minore per tutti gli indicatori considerati dal metodo di analisi del software.

Categoria d'impatto	Unità	Plantari PS	Plantare SM	Riduzione [%]
Climate change	kg CO2 eq	7,92E+00	1,24E+01	-36%
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	4,01E-07	6,67E-07	-40%
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	2,97E-02	4,64E-02	-36%
Freshwater eutrophication	kg P eq	1,29E-03	2,03E-03	-36%
Marine eutrophication	kg N eq	1,04E-03	1,62E-03	-36%
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1,69E+00	2,63E+00	-36%
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	2,77E-02	4,27E-02	-35%
Particulate matter formation	kg PM10 eq	1,05E-02	1,64E-02	-36%
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	5,36E-04	8,25E-04	-35%
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	8,02E-02	1,35E-01	-41%
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	7,22E-02	1,21E-01	-40%
Ionising radiation	kBq U235 eq	5,98E-01	9,80E-01	-39%
Agricultural land occupation	m2a	1,75E-01	2,74E-01	-36%
Urban land occupation	m2a	4,20E-02	6,46E-02	-35%
Natural land transformation	m2	7,74E-04	1,24E-03	-37%
Water depletion	m3	1,47E-01	2,24E-01	-34%
Metal depletion	kg Fe eq	3,96E-01	6,08E-01	-35%
Fossil depletion	kg oil eq	5,72E+00	8,73E+00	-35%

*Tabella 11 - Impatti della produzione del plantare SM e del plantare PS*

Confrontando gli impatti in termini di kg di CO<sub>2</sub> eq per le produzioni di plantare possiamo notare che il plantare semi-personalizzato presenta un miglioramento in termini di impatto ambientale su tutte le lavorazioni considerate dall'analisi rispetto al plantare su misura. In modo particolare, nella preparazione del materiale abbiamo una riduzione dei kg di CO<sub>2</sub> eq da 11,12 del plantare SM a 7,45 del plantare PS, dovuti alla sola riduzione dei materiali usati in questa fase.



*Fig. 20 - Kg di CO<sub>2</sub> eq. nelle fasi di lavorazione dei due plantari*

Mettendo in relazione plantare e calzatura SM e plantare e calzatura PS possiamo notare una riduzione da 48,35 kg di CO<sub>2</sub> eq. (SM) a 33,44 kg di CO<sub>2</sub> eq. (PS). Questo risultato ci permette di affermare che l'azienda passando dalla produzione SM alla produzione PS ha effettuato un miglioramento dal punto di vista del impatto ambientale, impiegando meno risorse sia in termini di materiali che energetiche.

## **Capitolo 7 – Conclusioni**

Il tirocinio svolto ha avuto l'obiettivo di confrontare le performance ambientali di produzione del plantare e di calzatura per un modello su misura e uno semi-personalizzato.

L'analisi di sostenibilità ambientale è stata svolta applicando la metodologia e gli strumenti di Life Cycle Assessment (LCA). Nella modellazione è stato utilizzato il software commerciale per analisi LCA SimaPro versione 8, con installato il Data Base commerciale EcoInvent v3.2.

I risultati, per tutte le categorie di danno considerate hanno mostrato che la produzione con performance ambientali migliori risulta essere quella semi-personalizzata, che determina una riduzione degli impatti ambientali rispetto alla produzione di calzature su misura.

I motivi alla base della migliore performance della produzione di calzature semi-personalizzate sono legati a:

- Una minore quantità di materiale impiegato per la produzione della scarpa ortopedica, in particolare nella fabbricazione del plantare semi-personalizzato;
- Una maggiore qualità che riducono i tempi e le potenze delle macchine;
- Una minore quantità delle lavorazioni abbassando così l'energia utilizzata per le fasi di produzione della scarpa semi-personalizzata.

Lo studio è stato limitato alla sola fase di produzione, tuttavia utilizzando per la produzione della scarpa PS minor quantità di materiale rispetto al SM, ci sarà anche un guadagno nel fine vita perché normalmente le scarpe finiscono in discarica e non sono riciclabili.

In conclusione, le modifiche apportate dall'azienda, sia sul plantare che sulla calzatura semi-personalizzate, hanno portato una riduzione degli impatti ambientali calcolata sui kg di CO<sub>2</sub> eq. del 31%.

La ricerca riguardante la riduzione del impatto ambientale è in continuo sviluppo, non è escluso, quindi, che in futuro si potranno utilizzare materiali per la produzione delle calzature ortopediche meno inquinanti.

## **Capitolo 8 – Abbreviazioni usate in questa tesi**

LCA – Valutazione del ciclo di vita

SP – Semi personalizzato

SM – Su misura

ISO – Organizzazione internazionale di standardizzazione

SETAC – Società di tossicologia e chimica ambientale

LCI – Inventario del ciclo di vita

LCIA – Valutazione dell'impatto sul ciclo di vita

PCR – Regole di categoria dei prodotti

EPD – Dichiarazioni ambientale dei prodotti

GHG – Emissioni di gas a effetto serra

PFCR – Regole di categoria dell'impronta del prodotto

OFCR – Regole della categoria dell'impronta dell'organizzazione

CED – Domanda cumulativa di energia

EVA - Etilene vinil acetato

PE – Polietilene

HDPE – Polietilene ad alta densità

SBS – Styrene-butadiene-styrene

## Capitolo 9 – Bibliografia

- (1) Curran, M. A. Life Cycle Assessment: A Review of the Methodology and Its Application to Sustainability. *Curr. Opin. Chem. Eng.* **2013**, 2 (3), 273–277. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2013.02.002>.
- (2) Guinée, J. B.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Zamagni, A.; Masoni, P.; Buonamici, R.; Ekvall, T.; Rydberg, T. Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. 7.
- (3) Cabeza, L. F.; Rincón, L.; Vilariño, V.; Pérez, G.; Castell, A. Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Energy Analysis (LCEA) of Buildings and the Building Sector: A Review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2014**, 29, 394–416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>.
- (4) Maschietto, M. Verso la sostenibilità ambientale delle pavimentazioni stradali. *LIFE CYCLE Assess.* 7.
- (5) Finnveden, G.; Hauschild, M. Z.; Ekvall, T.; Guinée, J.; Heijungs, R.; Hellweg, S.; Koehler, A.; Pennington, D.; Suh, S. Recent Developments in Life Cycle Assessment. *J. Environ. Manage.* **2009**, 91 (1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>.
- (6) Breedveld, L.; Bortolozzo, B.; Acerbi, A.; Galeazzi, G.; Sali, M. Il ruolo del settore pubblico nella diffusione del Life Cycle Assessment (LCA). **2006**, No. 109, 5.
- (7) Giorgi, S.; Lavagna, M.; Campioli, A.; di Milano, P. Procedure di allocazione nella metodologia LCA e tendenze settoriali verso un'economia circolare. 10.
- (8) Mark Goedkoop, Michiel Oele, Jorrit Leijting, Tommie Ponsioen, Ellen Meijer; Introduction to LCA with SimaPro; 2002.
- (9) Anna Amato, Antonia Marchetti, Anna Moreno, Alessio Ubertini; Design of Environmentally friendly Product Using Information Standards, 2010, ISBN 978-88-8286-217-6.
- (10) Rondini Irene; Applicazione della metodologia LCA ai cereali: il caso della cooperativa agricola Capa Cologna, 2013/2014.
- (11) Edoardo Croci, Francesco Colelli, Matteo Donelli, Denis Grasso; Analisi comparativa basata su metodologia lca fra i diversi scenari e soluzioni di logistica distributiva; ISSN 2036-0000.
- (12) Daniela Capaccioli; Life Cycle Assessement.
- (13) Corrado Belardinelli, Daniele Bolla, Marica Conti; Valutazione lca con simapro di forma e plantare nelle alternative As Is e To Be; 2014.
- (14) Various authors, PRé Sustainability; SimaPro database manual, 2020.
- (15) <http://esu-services.ch/simapro/database/>

- (16) Weidema B P, Bauer C, Hischer R, Mutel C, Nemecek T, Reinhard J, Vadenbo C O, Wernet G. (2013). Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent Report 1(v3)
- (17) Duna - Azienda <https://www.duna.it/azienda/> (accessed Jan 9, 2021).
- (18) T.O. Francesco Mattogno, Ing. Guerrino Rosellini, Ing. Eugenio Di Stanislao, Ing. Gabriele Denza, Impaginazione: Mara Cova; Manuale Dispositivi Ortopedici; 2020
- (19) Scarpe e inquinamento: quanto incidono le calzature sul nostro impatto ambientale? *Osservatorio VeganOK*, 2020.
- (20) Clemente Tartaglione, Sara Corradini con i contributi di Gianmarco Guazzo, Eleonora Magni e Mauro di Giacomo; Stare al passo con la sostenibilità: il settore calzaturiero e l'approccio sostenibile; 2013
- (21) Umberto Bettarini, Mauro Di Giacomo, Clemente Tartaglione; Fabbriche intelligenti: un approfondimento su innovazioni e fabbisogni professionali che sottendono allo sviluppo della fabbrica 4.0 calzaturiera; 2017