



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica
Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche

*Valutazione degli impatti ambientali di una filiera
circolare per il recupero di calzature*

*Environmental impacts assessment of a circular
supply chain for the recovery of footwear*

Relatore:
Prof. Ing. **Michele Germani**

Tesi di Laurea di:
Luca Mancini

Correlatore:
Ing. **Marta Rossi**

Anno accademico 2021 - 2022

UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Via Brezze Bianche – 60131 Ancona (AN) , Italy

Dedica

Alla mia famiglia

Luca Mancini

Indice

Introduzione	1
1 LCA Life Cycle Assessment.....	3
1.1 Cenni storici	3
1.2 Definizione di LCA	5
1.3 Vantaggi e campi d'applicazione.....	6
1.4 Aspetti normativi.....	7
1.5 Studio completo di LCA.....	10
1.5.1 Definizione dell'obiettivo e del campo d'applicazione.....	12
1.5.1.1 Unità funzionale	12
1.5.1.2 Confini del sistema	13
1.5.1.3 Requisiti del campo d'applicazione e dei dati.....	14
1.5.2 Analisi dell'inventario	15
1.5.3 Valutazione degli impatti.....	18
1.5.4 Interpretazione dei risultati	20
1.6 Strumenti software per l'analisi LCA.....	22
1.6.1 Software disponibili sul mercato	22
1.6.2 SimaPro	23
1.6.2.1 Modellazione di un prodotto o servizio	24
1.6.2.1.1 Obiettivo e ambito	27
1.6.2.1.2 Inventario.....	28
1.6.2.1.3 Valutazione dell'impatto.....	29
1.6.2.1.4 Interpretazione dei risultati	30
1.6.2.2 Ecoinvent.....	31
1.6.2.3 EF Method.....	33
1.6.2.3.1 Categorie d'impatto	34
2 Emergenza ambientale e approccio sostenibile nel settore calzaturiero	39
2.1 Incidenza dell'uomo sull'ecosistema.....	40
2.1.1 Inquinamento di aria, acqua e suolo	41
2.2 Sostenibilità in un'azienda	45
2.2.1 Settore calzaturiero.....	47
2.2.1.1 Passaggio all'economia circolare e principio delle 3 R.....	49
2.2.1.2 Ecolabel.....	51
2.2.1.3 Componenti e materiali di una calzatura.....	52

2.2.1.3.1	Ciclo di produzione dal punto di vista della sostenibilità.....	55
2.2.1.3.2	Biopolimeri e bioplastiche di una calzatura	59
2.2.1.3.3	PVC e Poliuretano	59
2.2.1.4	Rischi e misure di prevenzione per la sicurezza dei lavoratori	61
2.2.1.5	Consapevolezza dei consumatori	66
3	Caso studio Eso Recycling	68
3.1	Descrizione dell'azienda	68
3.1.1	Processo che devia dagli scenari di discarica e incenerimento	70
3.2	Obiettivo e confini del sistema	78
3.3	Analisi dell'inventario	79
3.3.1	Assunzioni.....	82
3.4	Calcolo degli impatti	82
3.5	Interpretazione dei risultati.....	86
	Conclusione.....	90
	Bibliografia e Sitografia.....	91
	Ringraziamenti.....	94

Introduzione

Il lavoro di tesi che verrà esposto nelle seguenti pagine nasce dal tentativo di dimostrare che nel mondo industriale, in particolare nel settore calzaturiero, è possibile adottare un approccio sostenibile di fronte alla crescente emergenza ambientale.

La **Life Cycle Assessment** è una metodologia che quantifica tutte le emissioni rilevanti e le risorse consumate da un prodotto o servizio, riuscendo a determinare i relativi impatti sull'ambiente e sulla salute dell'ecosistema. Questa metodologia si diffonde a partire dagli anni '60 quando alcune aziende prendono coscienza del problema del consumo massiccio di risorse energetiche. Attualmente, l'analisi LCA è standardizzata secondo le norme di riferimento UNI EN ISO 14040:2006 e UNI EN ISO 14044:2006, che forniscono una procedura dettagliata ed oggettiva, tale da guidare unanimemente la valutazione degli impatti ambientali di prodotti o servizi. L'impatto ambientale si traduce come uno scambio con la biosfera in termini di input assorbiti e output generati, infatti, nello svolgimento di un'analisi LCA completa, che prevede distinte **fasi**, si è spesso supportati da strumenti informatici specifici: il software **Simapro**, grazie a banche dati e metodi di calcolo presenti al suo interno, è capace di supportare la modellazione di un prodotto o servizio, rendendo possibile un'accurata analisi LCA.

La calzatura, e nello specifico la scarpa, è un capo d'abbigliamento prodotto principalmente per proteggere il piede e garantire una camminata in totale comodità e/o sicurezza e qualunque siano il modello, la forma e il materiale, è possibile distinguere dei componenti essenziali che rendono tale una scarpa. A fronte dell'emergenza ambientale, il **settore calzaturiero** sta attuando una progressiva riqualificazione delle produzioni, indirizzandosi verso soluzioni il più possibile sostenibili, sperimentando nuovi processi e nuovi materiali. Fino ad oggi, i sistemi economici hanno visto la

supremazia del modello dell'economia lineare, che ha arrecato irreparabili danni all'ambiente. L'innovativa economia circolare si fonda su un processo, appunto circolare, in linea con il cosiddetto **principio delle 3R**: riduco, riutilizzo e riciclo. La questione della sostenibilità nel campo produttivo viene evidenziata dalla maggior sensibilità dei consumatori, che da qualche tempo stanno acquisendo una certa **consapevolezza** in merito, nel senso che prima di acquistare un certo prodotto, magari si interrogano sulla storia o su quanto abbia macchiato l'ambiente per realizzarsi. La sostenibilità, però, deve sposarsi anche con le condizioni di **sicurezza**, che rappresentano il requisito essenziale per la salvaguardia della salute delle persone e della dignità dei lavoratori.

Nel caso studio, viene presentato l'innovativo processo dell'azienda **Eso Recycling**, che restituisce ai materiali esausti una seconda vita, deviandoli dal flusso delle discariche e degli inceneritori, due scenari verranno descritti a livello sia impiantistico sia ambientale, verso un processo virtuoso, che li recupera, ricicla e trasforma.

Lo studio LCA di questa tesi prende in considerazione diversi materiali idonei al processo, ciascuno con determinate quantità fisica e composizione chimica, valutando gli impatti ambientali del loro trasporto verso il sito di stoccaggio dell'azienda. Di pari passo, viene quantificato l'impatto del processo di riciclo, in termini di consumo energetico e trasporto verso il sito di produzione della cosiddetta **materia prima seconda**, e infine, si opera una comparazione quantitativa con gli indesiderati scenari di smaltimento in discarica ed incenerimento. I risultati numerici sono ottenuti dall'esecuzione del software Simapro, che offre a disposizione il database Ecoinvent e il metodo di calcolo EF Method (adapted), passando per la definizione dei confini del sistema e di necessarie assunzioni.

1 LCA Life Cycle Assessment

La **Life Cycle Assessment** è una metodologia standardizzata di livello internazionale, che la *Commissione Europea* ha reputato essere in grado di quantificare “tutte le emissioni rilevanti e le risorse consumate, i relativi impatti sull’ambiente e sulla salute e il consumo delle risorse associate a qualsiasi bene o servizio”.

Per il suo potenziale, lo studio LCA può essere combinato con altri strumenti per fornire una valutazione più ampia, che includa anche altri aspetti della sostenibilità come quelli sociali ed economici, di fatto, rappresenta il **pilastro ambientale della sostenibilità**, andando a valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto o servizio, durante l’intero ciclo di vita degli stessi.

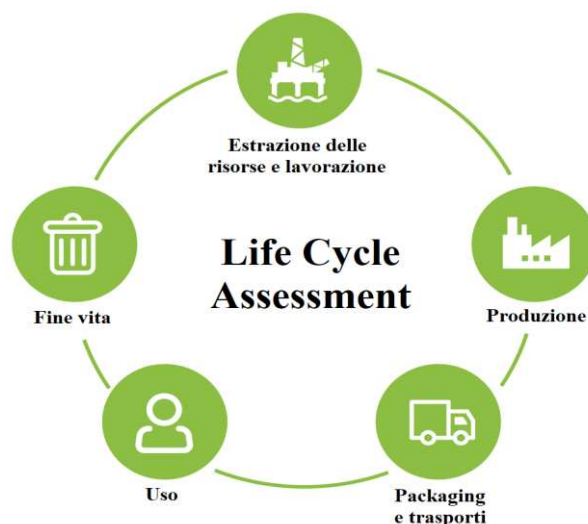


Figura 1 Fasi del ciclo di vita di un prodotto

1.1 Cenni storici

La metodologia LCA scende in campo per la prima volta negli anni '60 quando alcune aziende cominciano ad affrontare il problema del **consumo delle risorse** nei processi industriali, e nello specifico, approfondendo la questione del consumo massiccio di risorse energetiche. I ricercatori si sono proposti di analizzare le risorse primarie e il

loro percorso dall'inizio alla fine del ciclo di produzione: l'estrazione, la trasformazione e il fine vita, dove il prodotto si trasforma in un rifiuto, sempre tenendo conto degli associati ed eventuali trasporti. Questo approccio appare molto **innovativo** perché tiene conto del consumo di risorse primarie e secondarie dei prodotti generalmente dalla culla alla tomba, e, mantenendo sotto controllo tutta la filiera produttiva, le aziende riescono a migliorare l'efficienza dei processi, in particolar modo l'efficienza di ogni singola fase.

Una singola operazione industriale poteva essere resa più efficiente a spese di altre e questo processo, in alcuni casi, trascurava il fatto che i benefici ottenuti localmente potevano essere controbilanciati dai problemi che si creavano a valle del processo comportando un peggioramento complessivo della prestazione.

Con questo approccio innovativo, invece, si riesce ad analizzare tutte le interazioni tra i processi e i miglioramenti (o peggioramenti) di ogni modifica apportata alla fase produttiva. Tutte queste caratteristiche hanno reso la metodologia LCA lo strumento innovativo di quegli anni.

Nel 1974 viene pubblicato dal *Midwest Research Institute*¹, lo studio che si ritiene abbia gettato le **basi** dell'attuale metodologia. Questo studio era di carattere **comparativo** su 9 diversi contenitori per bevande e sui consumi energetici per tale produzione. Per la prima volta, si assiste a uno studio di prodotti, e non più di singoli processi industriali, ai quali era stata fino ad allora applicata la metodologia.

Quando negli anni '80 si stava affermando, su scala mondiale, il problema dei **rifiuti solidi**, un nuovo impulso a questo genere di lavori ha colpito la metodologia LCA, che ha risposto dimostrandosi uno strumento idoneo all'analisi di problemi ambientali.

¹ Ribattezzata nel 2011 MRI Global, è un'organizzazione americana di ricerca a contratto indipendente, senza scopo di lucro, con sede a Kansas City (Missouri).

Contemporaneamente, emerge il vero contributo europeo della metodologia che si specchia con un interesse per la valutazione dei potenziali impatti legati allo sfruttamento delle risorse e alle emissioni nell'ambiente, quindi si è compiuto un notevole passo in avanti rispetto alla semplice contabilizzazione di consumi o emissioni.

1.2 Definizione di LCA

L'acronimo LCA viene coniato negli anni '90, durante il congresso di Vermont della *Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)*, un'azienda interessata allo studio degli aspetti chimico-tossicologici dell'ambiente. Viene istituito un metodo per uniformare le analisi svolte, di fatto, creando uno schema di analisi comune di tutte le fasi e di tutti i periodi, in cui si concentrano maggiormente le criticità ambientali, e come conseguenza, i soggetti devono incaricarsi di progettare piani di miglioramento.



Figura 2 Passaggio da risorse a rifiuti

La SETAC ha definito la Life Cycle Assessment come “un procedimento oggettivo di valutazione di carichi energetici ed ambientali relativi ad un processo o un'attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del processo o

attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale".

Analizzando la definizione di LCA, emerge il fatto che l'analisi sia una valutazione e che quindi comporti un confronto con un altro oggetto o prodotto simile, che non necessariamente sia collocato nelle stesse condizioni operative. Inoltre, l'oggettività del procedimento impone sia passaggi precisi, concettualmente fasi, sia che la valutazione debba derivare dall'analisi di dati scientificamente verificabili e confrontabili.

Nella definizione, si sottolinea il fatto che la valutazione si basa sulla considerazione dei carichi energetici e ambientali che portano alla produzione di un bene o servizio. Infine, si evince che la definizione prende in considerazione l'intero ciclo di vita del processo o servizio, senza tralasciare fasi direttamente imputabili al caso di studio. Vengono considerati aspetti tecnici come la salute umana, la conservazione dell'ambiente e l'esaurimento delle risorse, ma vengono trascurate le valutazioni prettamente economiche o dai risvolti sociali-politici.

1.3 Vantaggi e campi d'applicazione

Attualmente, la metodologia LCA si incastra perfettamente a livello funzionale con gli scopi delle politiche ambientali, per vari motivi: permette di **confrontare** diversi prodotti o servizi anche di settori industriali completamente diversi a parità di funzione svolta; consente di ottenere una valutazione complessiva del prodotto o servizio, analizzando l'intero ciclo di vita del prodotto evitando così il trasferimento degli impatti da una fase all'altra del processo, e infine, può essere associata alla concessioni di **marchi** o etichette, che consentono al consumatore un semplice ed immediato riconoscimento di quei prodotti con associato un minor impatto ambientale rispetto a quello dei beni tradizionali. Dal punto di vista amministrativo, lo studio LCA si prende

la scena quando l'azienda vuole portare avanti progetti di *Desing For Environment* (DFE) oppure *Desing For Recycling* (DFR), ma risulta valido anche come supporto alla *supply chain* o per la valutazione dello sviluppo di nuovi prodotti.

I vantaggi della metodologia LCA si concretizzano in vari campi d'applicazione:

- sviluppo e miglioramenti di prodotti;
- analisi tecnologica degli impatti ambientali e di processo;
- miglioramenti di processi e servizi;
- pianificazione delle strategie aziendali;
- miglioramenti della politica aziendale e dei rapporti con il pubblico;
- marketing.

1.4 Aspetti normativi

Per quanto riguarda le normative di riferimento per la metodologia LCA, si assiste ad una loro **evoluzione nel tempo**, infatti, le prime normative, sviluppate intorno agli anni 2000, sono ormai confluite in 2 normative di riferimento del 2006: la UNI EN ISO 14040:2006, che introduce i concetti della Life Cycle Assessment, compresi quelli della sua procedura, e la UNI EN ISO 14044:2006, che include maggiori dettagli circa la metodologia complessiva, infatti fornisce una procedura guidata per lo svolgimento di un'analisi LCA completa.

Aumentando il grado di dettaglio dell'evoluzione temporale, le prime norme di riferimento erano:

- la serie **UNI EN ISO 14040:1997**, composta da 4 norme, ognuna dedicata ad una parte specifica della metodologia, e questa serie specificava la struttura, i principi e i requisiti per condurre lo studio, senza però entrare nel merito dei dettagli specifici delle tecniche di valutazione;

- la **UNI EN ISO 14041:1998**, che approfondiva le modalità di definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione, chiamando in causa i confini dello studio, e descriveva l'analisi d'inventario, illustrando flussi in entrata ed in uscita dal sistema;
- la **UNI EN ISO 14042:2000**, che si focalizzava sulla valutazione dell'impatto del ciclo di vita, infatti in base alla significatività degli impatti ambientali, costruiva un modello basato su indicatori, o categorie, rappresentativi degli impatti legati alle emissioni (flussi in uscita) oppure all'utilizzo di risorse naturali (flussi in entrata);
- la **UNI EN ISO 14043:2000**, che delineava il modello di interpretazione dei risultati, dove si quantificavano gli impatti permettendo eventuali studi comparativi per valutare la maggiore sostenibilità ambientale di un prodotto rispetto ad un altro, o di un rinnovato ciclo produttivo rispetto al ciclo precedente-tradizionale.

La serie UNI EN ISO 14040:1997 si completava infine con alcuni rapporti tecnici, che costituivano ottimi supporti per l'applicazione delle norme:

- l'**ISO/TR 14049**, che riportava esempi di analisi dell'inventario;
- l'**ISO/TR 14047**, che riportava esempi di valutazione degli impatti;
- l'**ISO/TR 14048**, che definiva il formato dei dati per la presentazione dei risultati dello studio, in maniera omogenea, nel senso di trasparenza in rapporti e interpretazione dei dati, e di qualità in esposizione e scambio dei dati, così da organizzare al meglio le informazioni pertinenti.

Le nuove ed attuali norme di riferimento pubblicate a livello internazionale sono:

- la **UNI EN ISO 14040:2006**, che sostituisce la precedente edizione della norma UNI EN ISO 14040:1997 senza modificare i requisiti e alterare i contenuti tecnici;
- la **UNI EN ISO 14044:2006**, che è nata per integrare le norme UNI EN ISO 14041:1998, UNI EN ISO 14042:2000 ed UNI EN ISO 14043:2000, mettendo in rilievo i requisiti e fornendo le linee guida per effettuare uno studio di LCA.

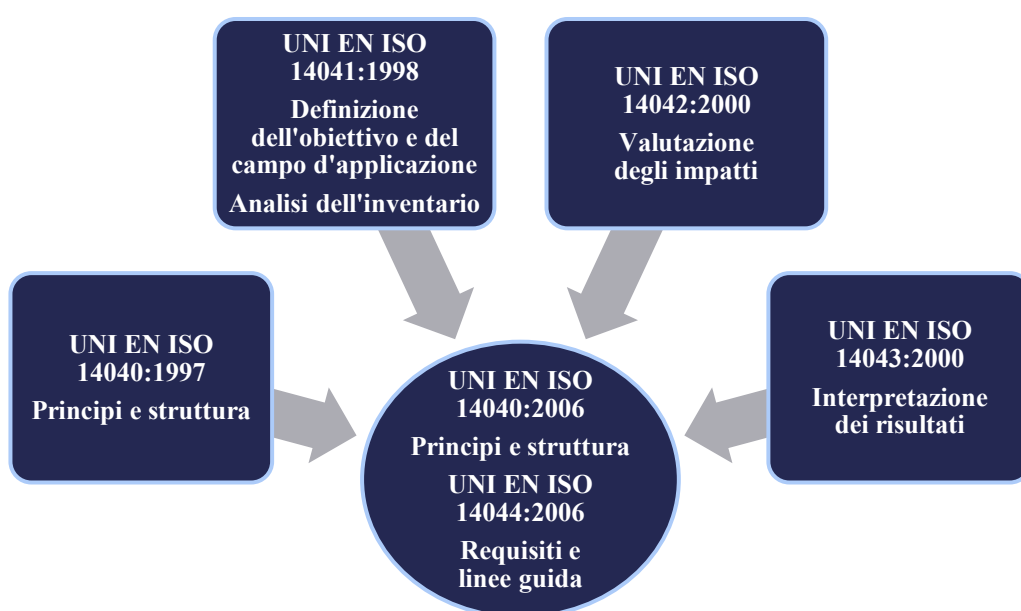


Grafico 1 Evoluzione temporale delle normative di riferimento

Approfondendo il contenuto della norma UNI EN ISO 14040:2006, si distinguono i requisiti, le peculiarità e i limiti delle varie fasi di un'analisi LCA, precisamente:

- la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dell'LCA;
- la fase di inventario del ciclo di vita (LCI);
- la fase di valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA);
- la fase di interpretazione del ciclo di vita;
- la rendicontazione e la revisione critica dell'LCA;

- le limitazioni dell'LCA;
- le correlazioni tra le fasi dell'LCA;
- le condizioni per l'utilizzo delle scelte dei valori e degli elementi facoltativi.

A livello europeo, l'importanza strategica dell'adozione della metodologia LCA, come strumento base e scientificamente adatto all'identificazione di aspetti ambientali significativi, è espressa chiaramente all'interno del *Libro Verde COM 2001/68/CE* e della *COM 2003/302/CE* sulla *Politica Integrata dei Prodotti*, ed è suggerita, almeno in maniera indiretta, anche all'interno dei *Regolamenti Europei EMAS 761/2001/CE* ed *Ecolabel 1980/2000/CE*.

1.5 Studio completo di LCA

Poiché la metodologia LCA è un'operazione molto dispendiosa in termini di tempo e, soprattutto, di risorse finanziarie, questa analisi può essere svolta in maniera più o meno dettagliata, in base all'obiettivo prefissato dall'azienda, nel senso che si possono adottare metodi di **semplificazione** della metodologia così da renderla più snella e adatta alle proprie esigenze, senza mai abbandonare le caratteristiche fondamentali di accuratezza e attendibilità dei risultati. Le strategie per la semplificazione possono agire a livello di metodologia e a livello di processo.

A livello di **metodologia**, si possono scartare fasi di analisi del ciclo di vita riducendo così la quantità di dati richiesti, e quindi, si limita lo studio, solitamente adottando 2 approcci alternativi:

- il *From gate – to - gate*, letteralmente dal cancello al cancello, implica un'analisi unicamente rivolta alla realtà aziendale ovvero alle fasi interne alla azienda;

- il *From cradle - to - gate*, letteralmente dalla culla al cancello, invece, comporta uno studio incentrato inizialmente sull'approvvigionamento delle materie prime e sulle fonti di energia e che poi si conclude con l'immissione del prodotto finito sul mercato, escludendo quindi le fasi di utilizzo e dismissione.

A livello di **processo**, si possono semplificare gli impatti da analizzare di un particolare processo o di una specifica linea di produzione di prodotto o servizio, in modo da avere informazioni specifiche e snelle di una singola attività. Questa operazione può rivelarsi utile se ad esempio, in fase di riesame, la direzione vuole valutare solamente gli impatti di una linea o un processo per prendere future e specifiche decisioni.

L'analisi LCA si scompone in 4 fasi:

1. **Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione** (*Goal and Scope Definition*);
2. **Analisi dell'inventario** (*Life Cycle Inventory - LCI*);
3. **Valutazione degli impatti** (*Life Cycle Impact Assessment - LCIA*);
4. **Interpretazione dei risultati** (*Life Cycle Interpretation*)

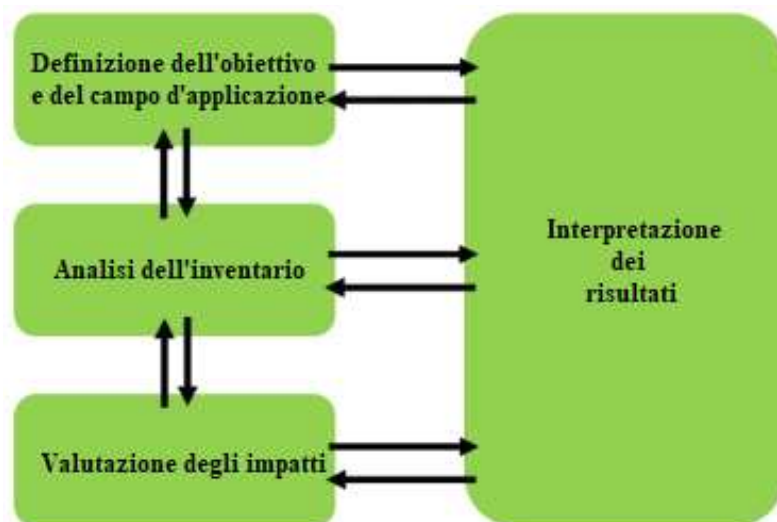


Grafico 2 Struttura della Life Cycle Assessment

1.5.1 Definizione dell'obiettivo e del campo d'applicazione

In questa fase si definiscono, in maniera coerente con l'applicazione prevista, gli obiettivi e il campo d'applicazione dell'intero studio. Il pacchetto degli obiettivi dell'analisi deve contenere l'applicazione prevista e deve specificare, sia le motivazioni per effettuare lo studio, sia il tipo di pubblico a cui è destinato, cioè a quali persone si intendono comunicare i risultati dello studio.

Nel definire il campo d'applicazione si devono descrivere:

- il **sistema dei prodotti** da prendere in analisi;
- l'**unità funzionale**;
- i **confini del sistema**;
- le **procedure di allocazione**;
- la **metodologia dell'LCIA** e i **tipi di impatti**;
- l'**interpretazione** da utilizzare;
- i **requisiti dei dati**, compresi quelli di qualità;
- le **assunzioni e/o limitazioni**;
- il **formato del rapporto** richiesto per lo studio.

1.5.1.1 Unità funzionale

Per svolgere l'analisi LCA è necessario esplicitare in maniera netta le funzioni del sistema. La cosiddetta unità funzionale deve essere coerente sia con l'obiettivo sia con il campo d'applicazione dello studio, e uno degli scopi principali di un'unità funzionale è quello di fornire un parametro di riferimento, al quale i dati in ingresso e in uscita sono normalizzati. Quindi, l'unità funzionale deve essere chiaramente definita e dotata di un'unità di misura, perciò misurabile.

Dopo aver scelto l'unità funzionale, deve essere definito il flusso di riferimento. I confronti fra sistemi devono essere quantificati attraverso la medesima unità funzionale, nella forma dei loro flussi di riferimento.

1.5.1.2 Confini del sistema

I cosiddetti confini del sistema determinano i processi unitari che devono essere inseriti nello studio LCA. La selezione di quest'ultimi deve essere coerente con l'obiettivo dello studio e qualsiasi criterio deve essere identificato e giustificato.

Si precisa che l'eliminazione o omissione di processi, sia in ingresso sia in uscita, può avvenire solo se non modifica in modo significativo le conclusioni dello studio e qualsiasi decisione chiaramente deve essere giustificata.

I confini del sistema possono comprendere:

- la **fase material** ovvero estrazione e processazione dei materiali;
- la **fase produzione** ovvero lavorazione dei materiali per produrre i componenti e il loro assemblaggio;
- la **fase d'uso** ovvero utilizzo del prodotto che permette di valutare oltre l'eventuale manutenzione, anche l'impatto ambientale derivante dal consumo energetico richiesto;
- la **fase fine vita** che comprende gli scenari che si intendono attuare per il corretto smaltimento del prodotto e che riguardano sia gli *open-loop scenari* (incenerimento o deposito in discarica), sia i *closed-loop scenari* (riutilizzo, rigenerazione e riciclo) e, ad esempio, le operazioni di disassemblaggio sono collocate in questa fase.

Gli elementi in ingresso e in uscita che devono essere inclusi nell'analisi presentano ciascuno un associato livello di dettaglio e in particolare, ogni processo unitario deve

essere descritto da dove ha inizio e fin dove termina, passando per le trasformazioni intermedie. I flussi di energia in ingresso e in uscita devono essere trattati come ogni altra entità in ingresso o in uscita dal sistema e sono pertinenti con la produzione e la distribuzione di combustibili (energia di alimentazione del processo) utilizzati nell'intero sistema.

I criteri di **esclusione** sia per gli elementi in ingresso che per gli elementi in uscita vanno valutati sia all'inizio sia nella fase del rapporto finale. A tal scopo si possono utilizzare:

- **criteri di massa**, che si utilizzano quando si imposta una percentuale definita in ingresso al flusso di massa e non si considerano tutte quelle quantità che, cumulativamente, sono inferiori al limite stabilito, perché irrilevanti ai fini dello studio;
- **criteri di energia**, che si utilizzano quando, in maniera analoga, si imposta una percentuale definita in ingresso al flusso di energia e non si considerano tutte quelle quantità che, cumulativamente, sono inferiori al limite stabilito, perché irrilevanti ai fini dello studio;
- **criteri di rilevanza ambientale**, che stabiliscono l'analisi, o meno, di flussi di materia e in questo caso, non si considera la quantità di flussi di massa, ma l'inserimento nell'analisi LCA deriva solo dal fatto della rilevanza ai fini ambientali.

1.5.1.3 Requisiti del campo d'applicazione e dei dati

Prima dell'interpretazione dei risultati, negli studi comparativi deve essere valutata l'equivalenza dei sistemi posti a confronto. Il campo d'applicazione dello studio deve essere definito in modo tale da consentire il **confronto** dei sistemi, mediante la stessa unità funzionale e le stesse procedure metodologiche di confini, prestazione, allocazione

e valutazione, tra gli elementi di ingresso e quelli in uscita. Ogni differenza tra i sistemi deve essere identificata e messa in evidenza.

I dati selezionati per l'analisi LCA dipendono dall'obiettivo e dal campo d'applicazione dello studio, e, in ogni caso, possono essere **raccolti** dal sito di produzione o **calcolati** da altre fonti. Inoltre, i dati possono includere, chiaramente senza limitazioni, l'uso di risorse naturali (produzione a monte delle stesse), emissioni in aria, acqua e suolo, inquinamento acustico, uso del terreno, odore, calore e rifiuti.

Al fine di essere concordi con obiettivo e campo d'applicazione, esistono dei **requisiti** che devono essere rispettati dalla **qualità** di ciascun dato selezionato:

- la **copertura temporale** ovvero l'anzianità dei dati e la minima estensione di tempo in cui i dati dovrebbero essere raccolti;
- la **copertura geografica** ovvero la zona geografica nella quale dovrebbero essere raccolti i dati quindi la loro provenienza per soddisfare l'obiettivo dello studio;
- la **precisione** che per complementarità determina la variabilità o incertezza;
- la **completezza** in termini di percentuale del flusso stimato;
- la **rappresentatività** ovvero quanto l'impronta qualitativa del dato riflette la popolazione interessata;
- la **riproducibilità** ovvero quanto le informazioni circa i valori dei dati permettono ad un esecutore indipendente di riprodurre i risultati riportati dalla relazione dello studio.

1.5.2 Analisi dell'inventario

La definizione del campo d'applicazione suggerisce la pianificazione necessaria alla costruzione dell'inventario del ciclo di vita. I dati da includere nell'inventario,

qualitativi e quantitativi, devono essere raccolti per ogni processo unitario, compreso nei confini del sistema. I dati raccolti, misurati, calcolati o stimati, sono utilizzati per quantificare gli elementi in ingresso e in uscita di un processo unitario.

Per ridurre il rischio di fraintendimenti, deve essere registrata una **descrizione** di ogni processo unitario e qualora ci sia una mancanza di dati, si deve segnalare opportunamente.

Per una comprensione migliore delle fonti dei dati e per la loro coerenza con il sistema produttivo, sono molto utili operazioni e/o strumenti come:

- il **tracciamento di diagrammi di flusso** non specifici del processo, che vanno a descrivere tutti i processi unitari da inserire nel modello, con le loro interrelazioni;
- la **descrizione dettagliata di ogni processo** unitario, rispetto ai fattori che influenzano gli elementi in ingresso e in uscita;
- la **stesura dell'elenco dei flussi e dei dati** pertinenti, per le condizioni operative associate a ogni processo unitario;
- la **descrizione delle necessarie tecniche** di raccolta dei dati e calcolo;
- la **fornitura di linee guida** per documentare in modo chiaro tutti i casi particolari o irregolarità.

Le **categorie genitori**, nelle quali i dati possono essere classificati, comprendono:

- elementi in ingresso di **energia, materie prime e ausiliari**, o altre entità fisiche;
- **prodotti, coprodotti e rifiuti**;
- **rilasci** in aria, acqua e suolo.

Tutte le procedure di calcolo devono essere documentate e le ipotesi devono essere indicate e giustificate. Per quanto è possibile, per determinare i flussi elementari associati alla produzione, si dovrebbe utilizzare la **composizione reale** della

produzione, in modo da riflettere i vari tipi di risorse consumate. Gli elementi in ingresso e in uscita relativi ai materiali combustibili, ad esempio petrolio, gas o carbone, possono essere trasformati in flussi di energia in ingresso e in uscita.

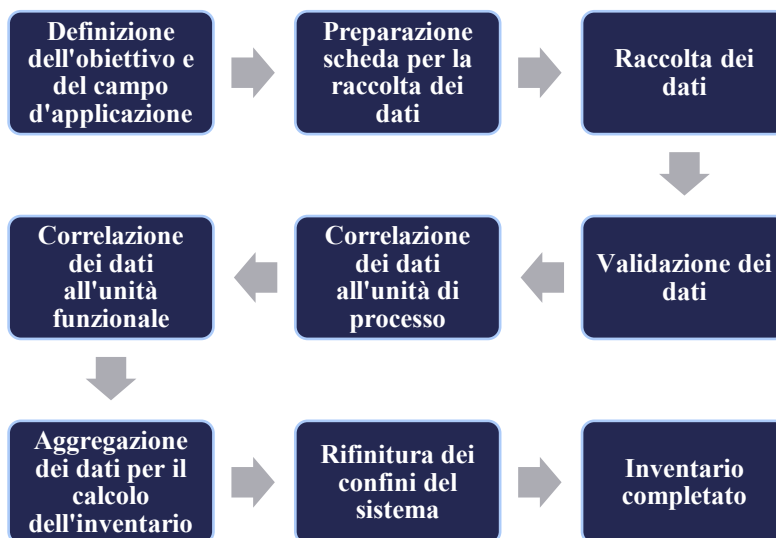


Grafico 3 Fasi per il completamento dell'Analisi dell'inventario

Durante il processo di raccolta dei dati, deve essere effettuato un controllo di validità e la **validazione** può richiedere di stabilire sia bilanci di massa sia bilanci di energia, e poiché obbedisce alle leggi di conservazione di massa ed energia, questi bilanci rappresentano un utile controllo sulla validità della descrizione di un processo unitario. Per ogni processo unitario deve essere determinato un flusso appropriato e i dati quantitativi degli elementi in ingresso e in uscita del processo unitario devono essere calcolati in relazione a tale flusso. Durante la **correlazione** al processo unitario, si deve prestare attenzione all'aggregazione degli elementi in ingresso e in uscita nel sistema di prodotti. Il livello di **aggregazione** deve essere coerente all'obiettivo dello studio. I dati dovrebbero essere aggregati, solamente, se si riferiscono a sostanze equivalenti e a impatti ambientali simili. I sistemi che si vanno ad analizzare possono essere caratterizzati da diversi sottoprodotti e co-prodotti.

In questo caso, è necessario svolgere procedure di **allocazione**, cioè attribuire il carico di energia, materiali ed emissioni a un output del sistema produttivo in esame.

Secondo la norma UNI EN ISO 14044:2006 esistono 2 diverse tipologie di allocazione:

- in relazione alle **caratteristiche fisiche** ovvero l'allocazione è fatta sulla base delle differenze di peso dei prodotti e coprodotti, del numero di utilizzi possibili del prodotto oppure del contenuto energetico;
- in relazione al **valore economico** ovvero l'allocazione è applicata sulla base del prezzo dei prodotti, associando impatti maggiori ai prodotti e coprodotti con prezzo maggiore.

Questa fase sarebbe bene evitarla cercando di attribuire in maniera più specifica i flussi in input e output e dividendo le unità di processo in più sotto processi o allargando i confini del sistema. Durante l'analisi di inventario, risulta molto importante riuscire a identificare graficamente i vari passaggi, mettendo in risalto quelli che sono gli input e output di ogni fase. Per questo, si utilizza solitamente il precedentemente citato diagramma di flusso, che fornisce una rappresentazione grafica di tutti i processi rilevanti, in modo tale da prendere visione delle fasi e degli interventi ambientali più critici.

1.5.3 Valutazione degli impatti

Sulla base dei risultati ottenuti dall'analisi dell'inventario, in questa fase, si passa alla valutazione della significatività del loro potenziale impatto ambientale. Come stabilito dalla norma UNI EN ISO 14040:2006, si assiste all'associazione dei dati dell'inventario a specifiche **categorie** con relativi **indicatori d'impatto** ambientale, al fine di comprenderne gli impatti. Anche questa fase, così come la precedente, è iterativa, infatti, è possibile revisionare l'obiettivo per determinare se questo è stato raggiunto o se invece sia necessario modificarlo. L'importanza di questa fase coincide con la

possibilità di trasformare i flussi elementari dell'inventario, cioè tutti i materiali o l'energia che entrano nel sistema e che non subiscono alcuna preventiva trasformazione, nei loro potenziali impatti sull'ambiente, che sono definiti come cambiamenti ambientali, positivi o negativi, dovuti a un intervento da parte dell'uomo. La trasformazione è utile perché i flussi elementari sono solo quantità emesse o usate, non direttamente confrontabili tra loro in termini di importanza del loro impatto.

Le 2 attuali norme di riferimento, illustrate in precedenza, stabiliscono che a comporre questa fase intervengono elementi **obbligatori** ed elementi **opzionali**.

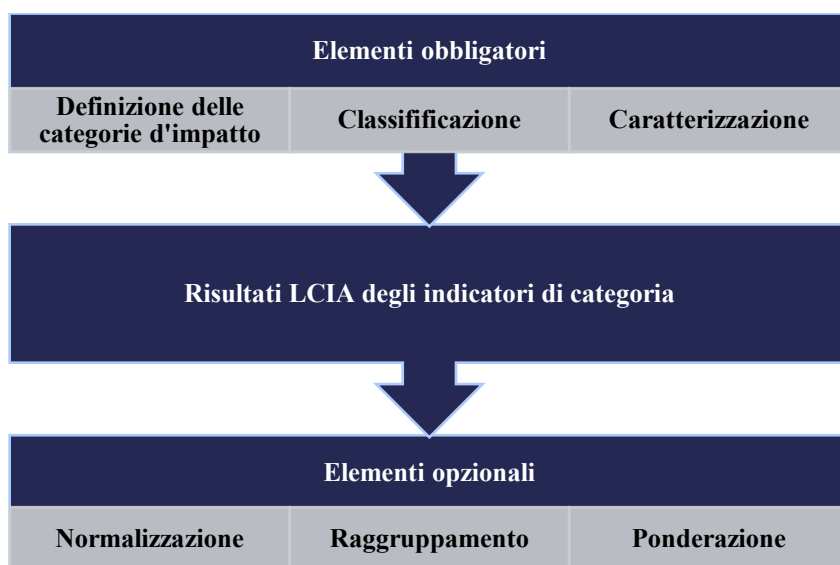


Grafico 4 Elementi obbligatori e opzionali della fase di Valutazione degli impatti

Gli elementi obbligatori sono la definizione delle categorie d'impatto, la classificazione e la caratterizzazione. La **definizione delle categorie d'impatto** implica, appunto, la scelta delle categorie d'impatto in cui raggruppare i potenziali impatti, cercando quelli più utili e necessari in base all'obiettivo. Questa scelta deve garantire che non siano ridondanti, ovvero che non devono causare un doppio conteggio, e inoltre, non devono nascondere gli impatti significativi e devono garantire tracciabilità. La **classificazione** fa in modo che i flussi elementari siano assegnati alle categorie d'impatto scelte e questo passaggio, tuttavia, non è così semplice poiché spesso un solo flusso può contribuire a

più impatti, che sono descritti parallelamente, quando una sostanza contribuisce a diversi impatti simultaneamente, oppure in serie, quando una sostanza ha un effetto negativo che a sua volta ne causa un altro a catena. La **caratterizzazione** implica una valutazione dei flussi in base al grado con cui contribuiscono a un impatto. Alla fine, per ogni categoria di impatto i risultati vengono sommati per determinare il risultato complessivo della stessa. Gli elementi opzionali sono la normalizzazione, il raggruppamento e la ponderazione. La **normalizzazione** fa in modo che i potenziali impatti del sistema in esame siano confrontati con quelli di un sistema di riferimento e questo passaggio può essere utile per dare un'impressione delle grandezze relative dei potenziali di impatto, per presentare i dati in forma idonea per i passaggi successivi, per controllare la coerenza e l'affidabilità, e infine, per poter comunicare i risultati più facilmente. Il **raggruppamento** fa disporre le categorie di impatto in 1 o più gruppi, solitamente secondo l'ordinamento e il raggruppamento del punto medio su base nominale, oppure si ha la classificazione delle categorie secondo una gerarchia di serie. La **ponderazione** può essere utilizzata per determinare quali impatti sono più importanti e il quando. Si precisa che, per questa fase, è necessaria la normalizzazione che permette di assegnare dei pesi a ciascun indicatore di categoria.

1.5.4 Interpretazione dei risultati

La fase di interpretazione dei risultati deve fornire delle raccomandazioni a coloro che possiedono potere decisionale, presentando l'intera analisi in modo che risulti di adeguata comprensione.

Questa fase si scompone in 3 passaggi, infatti si inizia con l'**identificazione dei fattori significativi** sulla base dei risultati dell'LCI e dell'LCIA, e, in un secondo momento, si esegue la **valutazione globale** con controlli di completezza, sensibilità e coerenza. Infine, si giunge a conclusioni, limitazioni e raccomandazioni.



Grafico 5 Fasi dell'Interpretazione dei risultati

I fattori significativi sono quei fattori che in maggior modo impattano nell'analisi LCA, come energia, rifiuti, uso delle risorse e molti altri. Sempre facendo riferimento alla definizione dell'obiettivo e del campo d'applicazione, si evidenziano e si controllano i risultati sugli elementi che sono di grande rilevanza ambientale. Gli obiettivi della valutazione coincidono nella definizione e nel miglioramento dell'affidabilità e dell'attendibilità dei risultati dell'analisi. Aumentando il grado di dettaglio, si valutano la completezza, la sensibilità e la coerenza. La **completezza** cerca di garantire che tutte le informazioni e/o dati pertinenti all'interpretazione siano disponibili e completi e in caso contrario, è obbligatoria una giustificazione registrata. Il controllo della **sensibilità** fa in modo che si valuti l'attendibilità dei risultati finali e delle conclusioni, verificando se sono stati influenzati dalle incertezze nei dati, dai metodi di allocazione, dal calcolo dei risultati degli indicatori di categoria o da altri fattori di incertezza. L'obiettivo del controllo di **coerenza** è stabilire se ipotesi, metodi e dati, siano coerenti con obiettivo, campo di applicazione, allocazioni, calcoli e valutazioni d'impatto. Il terzo, ed ultimo, passaggio di questa fase consiste nel trarre **conclusioni**, nell'identificare i **limiti** e nel fare **raccomandazioni** per il pubblico destinatario dell'analisi LCA. Chiaramente, conclusioni e raccomandazioni devono rispettare l'obiettivo fissato in partenza e tener conto dell'adeguatezza o coerenza dell'unità funzionale e dei confini di sistema.

1.6 Strumenti software per l'analisi LCA

Dalla precedente descrizione, di carattere generale, di un'analisi LCA completa, si nota che è richiesto uno studio accurato e specifico, su ogni processo e su ogni singolo impatto, dell'intero ciclo di vita dei prodotti. Per supportare ed agevolare questo studio, negli anni sono stati sviluppati diversi strumenti informatici specifici, capaci di **elaborazione, analisi e accuratezza**. Pur parlando di numerosi software dalle caratteristiche differenti, è possibile identificare un loro minimo comun denominatore, che coincide nella capacità di accompagnare l'utente nelle 3 fasi principali dell'analisi:

- l'**inventario**, dove il software cerca di fornire all'utente il maggior numero d'informazioni possibili a livello sia qualitativo sia quantitativo, indirizzando l'utente verso una stesura dell'inventario il più oggettiva possibile;
- l'**analisi degli impatti**, dove il software propone il suo modello di calcolo e di elaborazione dei dati, quindi, un metodo chiaro con cui l'utente può anche comparare le diverse categorie;
- l'**interpretazione**, dove il software supporta l'utente intervenendo in termini di grafica, analisi di sensibilità e statistiche di risultati.

1.6.1 Software disponibili sul mercato

La continua e repentina evoluzione del mercato di questi software, dovuta all'importanza di questa analisi ambientale a livello mondiale, ci mette a disposizione un vasto elenco di software.

I principali, nonché più conosciuti, software che sono stati sviluppati sono:

- **SimaPro - PRé**, sviluppato in Olanda e molto utile, oltre che interattivo, nella creazione o modifica dei processi;

- **GaBi - PE Product Engineering**, sviluppato in Germania nell'Università di Stuttgart;
- **Boustead Consulting**, sviluppato nel Regno Unito;
- **EDIP** (*Environmental Design of Industrial Products*) e **EPA** (*Environmental Protection Agency*) sviluppati in Danimarca;
- **TEAM** (*Tools for Environmental Analysis and Management*) - **Ecobalance**, che esegue le fasi di inventario e calcolo degli impatti ambientali con un agevole modellazione del sistema sfruttando un diagramma di flusso.

1.6.2 SimaPro

Impiegato nel caso studio di questa tesi, il software SimaPro, prodotto nel 1990 dalla società olandese PRé (*Product Ecology Consultant*) è ormai utilizzato in aziende, società di consulenza, università e istituti di ricerca di oltre 80 Paesi, dato che permette di raccogliere, monitorare, analizzare le prestazioni ambientali, di prodotti e servizi, esaminando cicli di vita, anche complessi, sulla base delle raccomandazioni delle norme UNI EN ISO 14040:2006 e UNI EN ISO 14044:2006.



Figura 3 Logo SimaPro e diffusione nel mondo

Si tratta di uno strumento **affidabile**, che grazie alla sua spiccata **potenzialità interattiva** permette di creare, modificare e adattare, in sintesi modellare, più testualmente che graficamente, specifici processi sfruttando, all'occorrenza, anche quelli già presenti nel database.

L'interattività si riscontra anche durante l'analisi dei risultati, senza tralasciare la possibilità del software di scegliere tra diverse banche dati o *database*, di grandi dimensioni tali da esaminare la quasi totalità dei processi industriali.

1.6.2.1 Modellazione di un prodotto o servizio

Il software accoglie l'utente con una finestra di impostazione *Explorer* e intuitiva in termini grafici, dal momento che sono presenti ben 3 distinte aree nella finestra di lavoro: spostando lo sguardo da sinistra verso destra, si nota prima la **gestione dell'analisi LCA**, riproponendo le classiche fasi dello studio, poi si ha l'area con i vari **processi** ed infine, l'area **alfanumerica** per la descrizione di tali processi. Rispetto ad altri software, in questo caso la progettazione del modello risulta più facilitata, grazie all'introduzione della funzione *Wizard*, che sostanzialmente semplifica e supporta la creazione del modello di analisi.

L'area di sinistra della finestra guida l'utente lungo il percorso dell'analisi LCA, suddividendo lo studio in:

- **Obiettivo e ambito**, dove per cominciare si descrivono lo studio e i processi, andando ad inserire lo scopo e il campo d'applicazione, e specificando motivazioni, committenza e probabili limitazioni dello studio;
- **Inventario**, dove si impostano, si modificano e si valutano tutte le componenti dello studio, in altre parole si esegue l'impostazione dei requisiti di qualità dei dati, in termini temporali, geografici e tecnologici;

- **Valutazione dell'impatto**, dove il software ci fornisce l'elaborazione dei dati con i relativi impatti;
- **Interpretazione**, dove è possibile gestire i criteri per l'interpretazione dello studio.



Figura 4 Layout dell'area di sinistra della finestra di lavoro

Aumentando il grado di dettaglio dell'area centrale della finestra, si nota che è presente un elenco ad **albero**, circa i processi e i materiali, che vengono chiamati in causa durante l'inserimento dei dati relativi ai flussi in ingresso e uscita dal sistema. L'elenco si sviluppa ramificandosi in 7 categorie, che comprendono quasi la totalità di materia e attività, disponibili all'uomo:

- **Materiali**, che tramite sottocategorie contiene ad esempio sostanze chimiche, carta, plastica, legno;
- **Energia**, che viene definita in base a fonte e/o mix energetico del Paese di riferimento;
- **Trasporto**, che comprende quello sia stradale, sia ferroviario, sia marittimo, sia aereo, con i relativi mezzi di trasporto impiegati;

- **Uso**, che fa distinzione tra le attività umane che trasformano il paesaggio naturale, le azioni con scopo turistico e i processi del mondo network-computerizzato;
- **Elaborazioni**, che distingue i processi in base a metodologia e/o campo d'applicazione ad esempio agricoltura, tessile, meccanica, elettronica;
- **Scenario di smaltimento**, dove si descrivono i flussi dei rifiuti che caratterizzano il sistema;
- **Processo di smaltimento**, dove si considerano le diverse possibilità di trattamento dei rifiuti, tra cui gli scenari di discarica, incenerimento e riciclo.

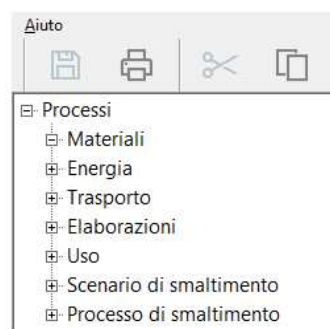


Figura 5 Layout dell'area centrale della finestra di lavoro

Con queste categorie ed innumerevoli sottocategorie, il software permette all'utente, con le dovute accortezze, di schematizzare qualsiasi processo o prodotto di analisi, di fatto, modellandolo come un insieme di dataset, secondo procedure specifiche e diverse per ogni metodo di calcolo.

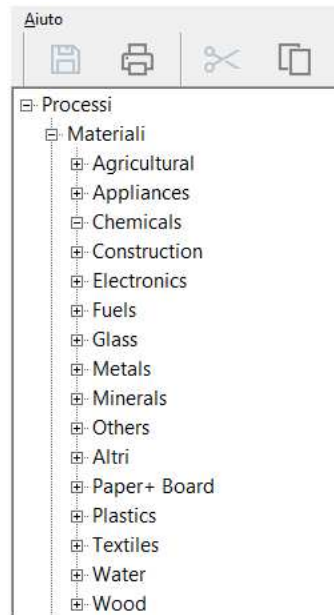


Figura 6 Sottocategorie di Materiali

Data la **flexibilità** del software, è possibile creare un processo che parte dalle impostazioni di un processo già esistente, modificando i necessari valori d'inventario. In questa situazione, ad arricchire l'analisi, il più delle volte intervengono **questionari** o scambi di informazioni con l'azienda stessa, che restituiscono i dati mancanti per modellare adeguatamente.

1.6.2.1.1 Obiettivo e ambito

Il significato della presenza della sezione *Banche dati* sta nel fatto che per svolgere l'analisi LCA, bisogna definire il **cuore** di questo strumento software, rappresentato da database come *Ecoinvent*, che sarà approfondito successivamente.

Inoltre, per ottenere i risultati finali numerici, è necessario selezionare la voce *Methods* perché così facendo il software porta con sé il metodo di calcolo, che verrà in un secondo momento scelto e applicato agli impatti ambientali.

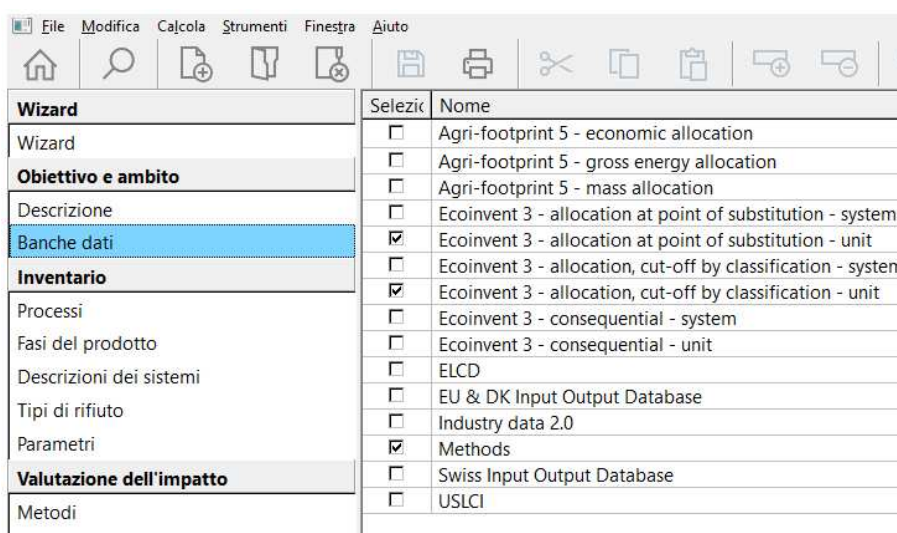


Figura 7 Sezione Banche dati – Selezione Ecoinvent e Methods

1.6.2.1.2 Inventario

Si procede con l’inserimento dei dati che si hanno in ingresso ed in uscita dal sistema in esame, giungendo quindi alla modellazione di tale sistema. L’approccio è di tipo *bottom-up*, nel senso che si inizia con il definire i *processes* che fissano i dati in ingresso ed in uscita, per poi passare alla determinazione degli *assemblies* che contengono i processi definiti in precedenza, in strutture ad albero secondo categorie genitori, ognuna con il proprio nome e la propria *scheda input-output*, all’interno della quale, per ogni componente, bisogna specificare materiale, quantità fisica e processo produttivo.

Durante la selezione dei dati, espressi sotto forma di *dataset*, nell’area di destra della finestra il software presenta una distinzione tra *transformation* oppure *market*: nel primo caso il dataset modella solo il processo di trasformazione, mentre nel secondo caso il dataset porta con sé l’impatto della produzione di quel bene più un trasporto medio del bene per la distribuzione. Perciò, *transformation* viene utilizzato quando si è a conoscenza dei trasporti e delle distanze associate al caso di studio, mentre *market* quando questi non sono conosciuti-noti.

Inoltre, sul titolo di ogni dataset compare una **sigla** in parentesi graffa, che fornisce la localizzazione geografica con annessa validità, ad esempio globale {**GLO**}, svizzero {**CH**}, europeo {**RER**}, americano {**US**}, resto del mondo {**RoW**} e altre.

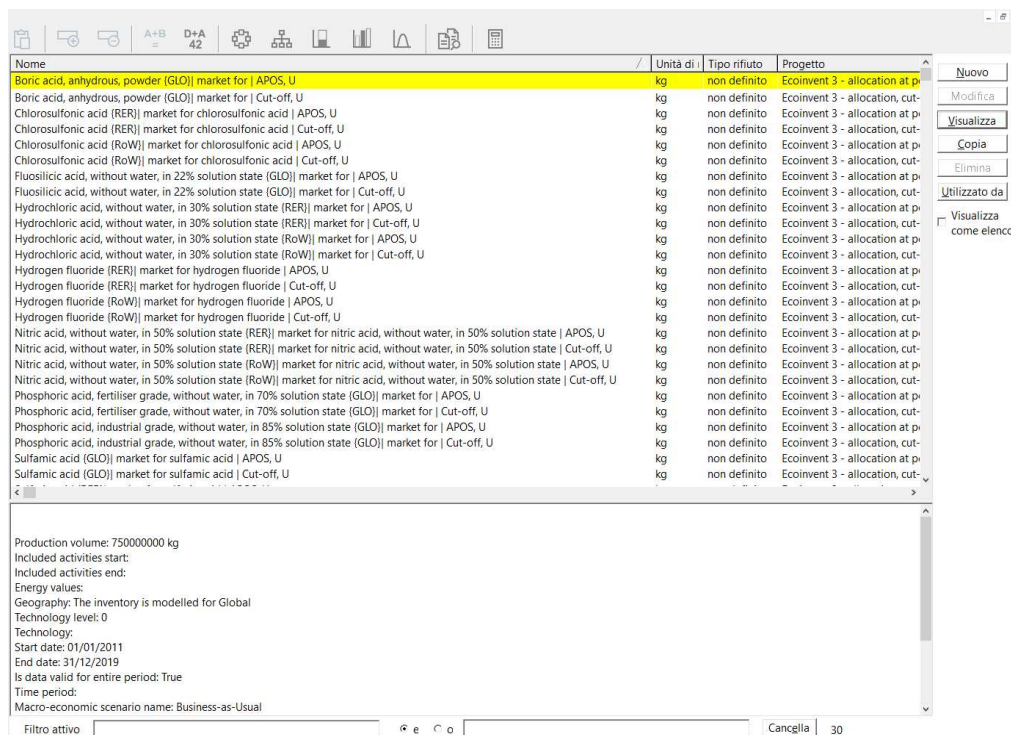


Figura 8 Esempio di dataset nell'area di destra della finestra di lavoro

1.6.2.1.3 Valutazione dell'impatto

La flessibilità del software consente una valutazione degli impatti in qualsiasi momento e in qualsiasi livello del modello. Una volta inseriti i dati dall'inventario, il software invita l'utente in questa fase a scegliere, tra quelli disponibili, il metodo di calcolo per la valutazione dell'impatto ambientale.

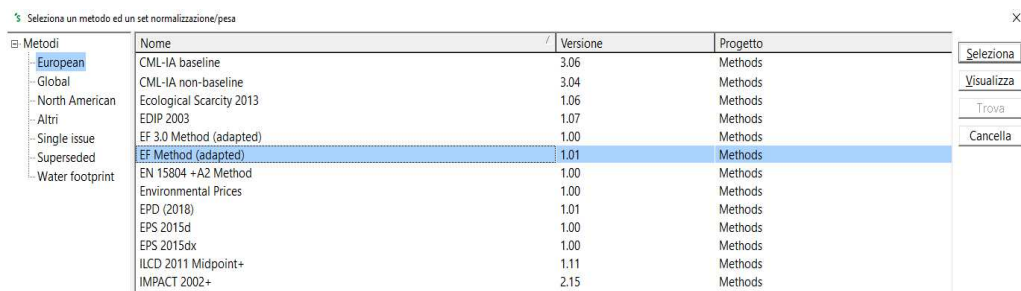


Figura 9 Selezione del metodo di calcolo EF Method (adapted) in SimaPro

EF Method (adapted) è il metodo impiegato nel caso studio di questa tesi e che verrà illustrato successivamente. Stabilito il criterio di valutazione dell’impatto, le sostanze vengono raggruppate con una certa metodologia, dipendente dal criterio, e il software fornisce i risultati sotto varie forme, ad esempio tabelle, istogrammi e schemi ad albero.

1.6.2.1.4 Interpretazione dei risultati

Il software offre la possibilità di analizzare il processo intero e di comparare processi per confrontare gli impatti ambientali. In ogni caso, i metodi di calcolo permettono di suddividere la valutazione degli impatti per **categorie d’impatto**, che migliorano la rapidità di lettura e interpretazione dei dati, oltre che facilitano l’individuazione dei punti deboli del sistema.

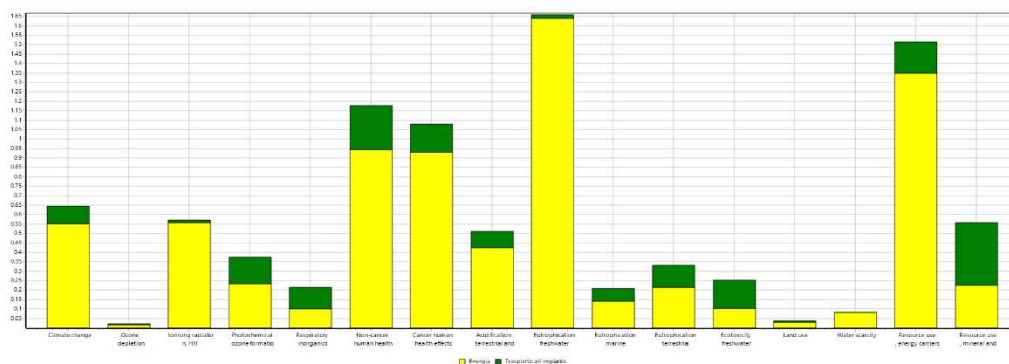


Figura 10 Esempio di normalizzazione dei risultati

Inoltre, **normalizzando** i risultati ovvero andandoli a dividere per valori medi di riferimento, si mettono ben in evidenza le categorie d’impatto più critiche, che

necessitano valutazioni e/o interventi, sempre rispettando il parere o idea di fondo, che l'azienda (che commissiona lo studio) vuol porre nell'analisi. Infine, un'utile funzionalità del software è la possibilità di **estrapolare** i dati, nel senso che i dati sono compatibili per essere estratti dal software e importati, ad esempio in un *foglio Excel*, permettendo all'utente di gestire in maniera personalizzata i risultati, migliorandoli principalmente dal punto di vista grafico.

1.6.2.2 Ecoinvent

L'impatto ambientale va interpretato come uno **scambio** con la biosfera in termini di input assorbiti e output generati. Proprio come è stato sopra illustrato, nello svolgimento di un'analisi LCA si è spesso supportati da strumenti specifici, che hanno implementati al loro interno (condizione necessaria) dei *database* o **banche dati**, che hanno la funzione di supportare la modellazione per una buona riuscita dell'analisi LCA.

Un qualsiasi *database* è costituito da *dataset* ovvero flussi unitari (ad esempio 1 kg o 1 kWh) che permettono di discretizzare la modellazione di un prodotto o servizio. Nei sistemi software LCA, ogni *dataset* ha associato, in altre parole si trascina, un carico ambientale calcolato secondo differenti metodi.

Ecoinvent è un database sviluppato in Svizzera, contenente oltre 15.000 dataset LCI nei settori dell'approvvigionamento energetico, nell'agricoltura, nei trasporti, nei biocarburanti e nei biomateriali, nei prodotti chimici, nei materiali da costruzione, nei materiali di imballaggio, nei tessuti, nei metalli di base e preziosi, nella lavorazione dei metalli, nell'elettronica, nei latticini, nel legno e nel trattamento dei rifiuti.



Figura 11 Logo Ecoinvent

Tutti questi dati sono raccolti grazie al lavoro integrato di istituzioni svizzere e ricerche svolte a livello europeo e in alcuni casi anche mondiale.

La conformità di questi dati alle norme UNI EN ISO 14040:2006 e UNI EN ISO 14044:2006, rende Ecoinvent il database più **esteso** e **affidabile** sul suolo europeo e inoltre, questi dati, essendo corredati da un'ampia **documentazione** contenente nome, unità di misura, derivazione del dato, categoria d'appartenenza e incertezza, permettono al database di essere utilizzato per vari scopi:

- valutazione e/o gestione del ciclo di vita;
- valutazione dell'impronta di carbonio o idrica;
- monitoraggio delle prestazioni ambientali;
- progettazione di prodotto (eco-design);
- dichiarazioni ambientali.

Durante l'esecuzione di uno strumento software come SimaPro, il database Ecoinvent fornisce fino a 6 diverse **versioni** di dataset (figura 7):

- **Allocation at point of substitution – system;**
- **Allocation at point of substitution – unit;**
- **Allocation cut off by classification – system;**
- **Allocation cut off by classification – unit;**
- **Consequential – system;**
- **Consequential – unit.**

Le versioni *allocation* e *consequential* indicano rispettivamente un utilizzo di modelli attributivi e consequenziali. Considerando la versione *allocation*, il discriminante coincide nella modalità di allocazione degli impatti del fine vita, infatti è possibile, in un secondo momento, scegliere tra *at point of substitution (APOS)* e *cut off by classification*: nel primo caso, l'intento è quello di vedere già nel proprio prodotto i

benefici ambientali relativi al riciclo di una determinata materia prima, mentre nel secondo caso non si allocano i benefici del riciclo nel prodotto di partenza, quindi questi non verranno percepiti da chi realizza il prodotto, perché saranno, in precedenza, inglobati nella materia prima.

Infine, si nota anche la distinzione tra *system* e *unit*: nel primo caso vengono presentati tutti i flussi elementari con una elaborazione più sintetica, quindi si perdono informazioni, mentre nel secondo caso sono disponibili informazioni più dettagliate, circa i sottoprocessi e le incertezze, permettendo anche un'eventuale e successiva analisi di incertezza.

1.6.2.3 EF Method

Per la valutazione degli impatti ambientali, sono attualmente disponibili diversi metodi di calcolo, ognuno contenente decine e decine di categorie d'impatto, che si possono opportunamente gestire e aggregare, per svolgere la valutazione desiderata, rimanendo in linea con le direttive fornite dalla vecchia norma UNI EN ISO 14042:2000 e che sono state successivamente aggiornate nel 2006.

Impiegato nel caso studio di questa tesi, l'**EF Method (adapted)** rappresenta il metodo di valutazione dell'impatto ambientale che fa riferimento all'*Environmental Footprint (EF)*, un'iniziativa introdotta dalla *Commissione Europea*. Questo metodo è incluso nel database di SimaPro e possiede una grande capacità di adattamento, di fronte alle varie librerie di dati fornite e modellate all'interno del software SimaPro durante un'analisi LCA.

Di recente, il metodo è stato modificato (*adapted*) e l'implementazione ha portato all'esclusione di sostanze che sarebbero risultate nuove per SimaPro, ad esempio flussi di uso del suolo regionalizzati. Allo stesso tempo, la modifica ha comportato

l'inclusione di ulteriori sostanze che in precedenza risultavano fortemente ricercate nel database EF tramite loro sinonimi:

- *Resource use, energy carriers* – flussi espressi in unità di massa;
- *Resource use, mineral and metals* – flussi aggiuntivi di minerali e metalli già caratterizzati;
- *Water scarcity* – flussi di aree geografiche non coperte dal vecchio metodo EF.

Poiché alcuni progetti per problemi di esecuzione la richiedono, è ancora disponibile la versione 2.0 di questo metodo EF, ma ormai è stata aggiunta anche la versione 3.0, che presenta molte modifiche e novità circa *Human toxicity, Ecotoxicity e Land Use*.

1.6.2.3.1 Categorie d'impatto

Le categorie d'impatto, associate al metodo di calcolo *EF Method (adapted)* e che sono state impiegate per aggregare e confrontare gli impatti ambientali nel caso studio di questa tesi, suddividono gli impatti tra quelli diretti, all'**ecosistema**, alla **salute umana** e alle **risorse**. Complessivamente le categorie sono:

- **Climate Change (Cambiamento Climatico)**, il cui indicatore misura le emissioni di gas a effetto serra che modificano la temperatura media globale e il clima, incidendo indirettamente anche sugli ecosistemi, sulla salute umana, sulla disponibilità di risorse naturali;
- **Ozone depletion (Impoverimento dell'ozono)**, il cui indicatore misura le emissioni che danneggiano lo strato di ozono, ad esempio gas CFC, portando ad un aumento delle radiazioni ultraviolette con conseguenti effetti negativi sulla salute umana e sulla vegetazione;




- **Ionizing radiation (Radiazione ionizzante)**, il cui indicatore misura l'emissione in ambiente di radiazioni ionizzanti che hanno effetti avversi sulla salute umana;
- **Photochemical ozone formation (Formazione di ozono fotochimico)**, il cui indicatore misura le emissioni che portano all'aumento dell'ozono nella troposfera con danni per la vegetazione e le vie respiratorie dell'uomo.
- **Respiratory inorganics (Respiratori inorganici)**, il cui indicatore misura gli effetti avversi sulla salute umana delle emissioni di particolato PM e dei suoi precursori NO₃, SO₃ e NH₃.
- **Non-cancer human health effects (Effetti non cancerogeni sulla salute umana)**, il cui indicatore si riferisce alle emissioni di sostanze tossiche che attraverso inalazione di aria, ingestione di cibo/acqua o penetrazione cutanea, danneggiano la salute umana;
- **Cancer human health effects (Effetti cancerogeni sulla salute umana)**, il cui indicatore si riferisce alle emissioni di sostanze tossiche che attraverso inalazione di aria, ingestione di cibo/acqua o penetrazione cutanea, portano ad un aumentato rischio di cancro;
- **Acidification terrestrial and freshwater (Acidificazione terrestre e dell'acqua dolce)**, il cui indicatore misura le emissioni di sostanze acidificanti

nell'ambiente, che comportano l'acidificazione delle acque e dei suoli, provocando il deterioramento delle foreste e dei laghi;

- **Eutrophication freshwater (Eutrofizzazione dell'acqua dolce)**, il cui indicatore misura le emissioni di sostanze che favoriscono l'eutrofizzazione delle acque dolci, ovvero l'eccessiva presenza di sostanze nutritive nell'ambiente acquatico, sconvolgendo l'equilibrio della natura portando ad esempio a fioriture di alghe e moria di pesci;
- **Eutrophication marine (Eutrofizzazione marina)**, il cui indicatore, analogo al precedente, misura le emissioni di sostanze che favoriscono l'eutrofizzazione delle acque marine, ovvero l'eccessiva presenza di sostanze nutritive nell'ambiente marino, compromettendo l'equilibrio della natura;
- **Eutrophication terrestrial (Eutrofizzazione terrestre)**, il cui indicatore misura le emissioni di sostanze che favoriscono l'eccessiva presenza di nutrienti nell'ambiente (per mutazione naturale o favorito da scarichi urbani, agricoli e industriali), sconvolgendo l'equilibrio della natura;
- **Ecotoxicity freshwater (Ecotossicità dell'acqua dolce)**, il cui indicatore si riferisce alle emissioni di sostanze tossiche che rappresentano un pericolo per organismi come pesci, alghe e altri organismi che vivono in acqua dolce, modificando struttura e funzione del loro ecosistema;

- **Land use (Uso di suolo)**, il cui indicatore si riferisce all'utilizzo e alla trasformazione del suolo che mette in pericolo la salute e fertilità del suolo e la sopravvivenza di alcune specie di animali e piante, nonché crea pressioni sulla disponibilità del suolo come risorsa per il futuro.
- **Water scarcity (Scarsità d'acqua)**, il cui indicatore misura l'impoverimento della risorsa idrica in relazione alla scarsità locale di tale risorsa.
- **Resource use – energy carriers (Uso di risorse – vettori energetici)**, il cui indicatore misura l'impoverimento di risorse fossili che influisce sulla loro disponibilità per usi futuri;
- **Resource use – mineral and metals (Uso di risorse - minerale e metalli)**, il cui indicatore misura l'impoverimento delle risorse minerali e metalli che influisce sulla loro disponibilità per usi futuri.

Di seguito (tabella 1) si illustrano le categorie d'impatto con associati simboli identificativi, unità di misura e indicatori:

Categoria d'impatto	Simbolo	Unità di misura	Indicatore d'impatto
<i>Climate change</i>		kg CO ₂ eq	GWP100: Potenziale di surriscaldamento globale totale nell'orizzonte temporale di 100 anni
<i>Ozone depletion</i>		kg CFC11 eq	Potenziale di danneggiamento dello strato di ozono stratosferico nell'orizzonte temporale di 100 anni
<i>Ionising radiation, HH</i>		kBq U-235 eq	Quantificazione dell'impatto delle radiazioni ionizzanti sulla popolazione













<i>Cancer human health effects</i>		CTUh	Comparative Toxic Unit for human: aumento della morbilità cancerogena nella popolazione totale per unità di un chimico emesso
<i>Acidification terrestrial and freshwater</i>		mol H ⁺ eq	Valutazione dell'impatto delle sostanze acidificanti negli ecosistemi terrestri e delle acque dolci
<i>Eutrophication freshwater</i>		kg P eq	Livello di contaminazione delle acque dolci da parte dei nutrienti espressi in fosforo equivalente
<i>Eutrophication marine</i>		kg N eq	Livello di contaminazione delle acque marine da parte dei nutrienti espressi in azoto equivalente
<i>Eutrophication terrestrial</i>		mol N eq	Valutazione dell'impatto delle sostanze eutrofizzanti negli ecosistemi terrestri espressi in moli di azoto equivalente
<i>Ecotoxicity freshwater</i>		CTUe	Comparative Toxic Unit for ecosystems
<i>Land use</i>		Pt	Soil quality index (indice della qualità del suolo)
<i>Water scarcity</i>		m ³ depriv.	Impoverimento della risorsa idrica
<i>Resource use, energy carriers</i>		MJ	Impoverimento delle risorse abiotiche in termini di combustibili fossili
<i>Resource use, mineral and metals</i>		kg Sb eq	Impoverimento delle risorse abiotiche minerali e metalliche
<i>Photochemical ozone formation, HH</i>		kg NMVOC eq	Potenziale contributo alla formazione di ozono fotochimico
<i>Respiratory inorganics</i>		disease inc.	Incidenza della malattia dovuta all'emissione di PM 2.5

Tabella 1 Categorie d'impatto con unità di misura e indicatori d'impatto

Figura 12 Simboli identificativi delle Categorie d'impatto

2 Emergenza ambientale e approccio sostenibile nel settore calzaturiero

Oramai l'**inquinamento ambientale** è un fenomeno che sta colpendo a livello internazionale tutti gli Stati del mondo, con un'intensità tale da non poter più temporeggiare o chiudere gli occhi, anzi, occorre intervenire tempestivamente per evitare che questi cambiamenti da esso provocati diventino irreversibili o irrecuperabili, devastando gli equilibri naturali e la salute umana. Essendo un sistema chiuso, la Terra possiede un'associata **capacità di carico**, che è il risultato delle risorse fornite dall'ambiente e dei rifiuti (prodotti dall'attività umana) assorbiti. Questa capacità di carico è in equilibrio se le velocità di rigenerazione e di prelievo sono uguali, così come le velocità di scarto e di smaltimento. Ecco che questa capacità suggerisce delle indicazioni sui limiti di un determinato territorio in termini di sostegno delle attività umane. In questa situazione, interviene l'**impronta ecologica**, che rappresenta un indicatore che rileva il peso apportato da una comunità o un'attività sull'ambiente circostante, ovvero quantifica la superficie che si impiega per assorbire tutte le emissioni prodotte.

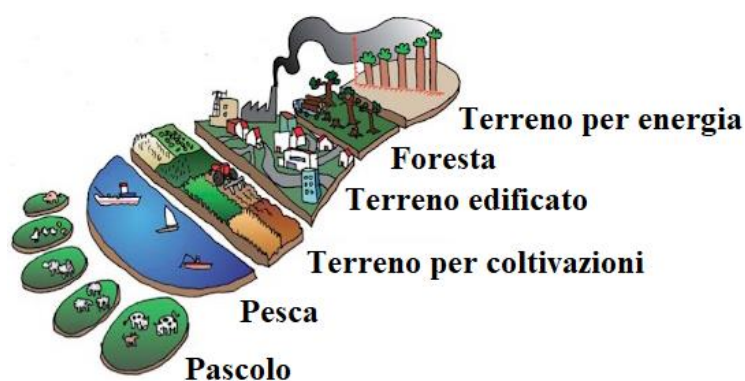


Figura 13 Impronta ecologica

In altre parole, l'impronta ecologica misura l'area biologicamente produttiva di mare e di terra necessaria a rigenerare le risorse consumate da una popolazione umana e ad assorbire i rifiuti prodotti.

Utilizzando l'impronta ecologica è possibile stimare quanti *pianeta Terra* servirebbero per sostenere l'umanità, qualora tutti vivessero secondo un determinato stile di vita. Confrontando l'impronta di un individuo o di una regione o di uno Stato, con la quantità di terra disponibile pro-capite, cioè il rapporto tra superficie totale e popolazione mondiale, si può stimare se il livello di consumi del campione è sostenibile o meno. L'importanza di questo complesso indicatore è data dall'approccio, che rivoluziona i precedenti: in passato si domandavano quante persone potevano essere sostenibilmente insediate su un dato territorio, ora l'impronta ecologica si domanda quanto territorio è necessario per sostenere una certa popolazione con associato stile di vita e di consumo. Ecco che, ogni valore energetico o di consumo di risorse, inserito nell'indicatore, viene tradotto in termini di **spazio**, rendendo immediata ed universale, la comprensione del consumo di risorse di una popolazione.

2.1 Incidenza dell'uomo sull'ecosistema

Fin dai tempi della preistoria, l'uomo ha visto la necessità di **adattare** l'ambiente per renderlo più accogliente e sicuro, finendo per plasmarlo a sua immagine e somiglianza, in linea con le sue esigenze. Questa emergenza ambientale si può interpretare come conseguenza di un **rapporto conflittuale**, crescente nel tempo, tra attività umane ed ecosistema, perché la società ormai industrializzata vive ed affronta la natura che la circonda come una sfida da vincere e non come dimensione a cui dovrebbe adattarsi. Questo fenomeno pericoloso ha subito una forte accelerazione a seguito sia della crescita demografica della popolazione mondiale, sia del progresso tecnologico, mettendo a rischio anche l'uomo stesso, perché è parte **integrante** dell'ecosistema

colpito. È evidente che da qualche tempo l'ecosistema ha subito un'alterazione su tutti i fronti, in aria, acqua e suolo. L'insieme delle alterazioni provocate nell'ambiente ha come risultato modifiche dell'ambiente a livello fisico, chimico e biologico.

Le sostanze **inquinanti** sono costituite da residui o sottoprodotti dell'attività industriale (produzione di energia e di beni di consumo) e /o agricola (uso di fertilizzanti e pesticidi, deiezioni animali) e da rifiuti civili. Le sostanze inquinanti introdotte nell'ambiente in modo continuativo e incontrollato agiscono negativamente sul ritmo di crescita e sullo stato di salute delle specie viventi e interferiscono con le catene alimentari.



Figura 14 Emergenza ambientale

Questi effetti, sommandosi alla distruzione degli habitat naturali operata dall'uomo attraverso le deforestazioni, le alterazioni idrogeologiche del territorio, le espansioni di insediamenti urbani e industriali, hanno finito per intaccare l'integrità della biosfera in numerosi punti, compromettendo la qualità dell'esistenza dell'uomo stesso. Per analizzare questo fenomeno dannoso, lo si può discretizzare, riferendosi all'inquinamento di aria, di acqua e di suolo.

2.1.1 Inquinamento di aria, acqua e suolo

Alcune sostanze che vengono immesse nell'aria a seguito dell'attività umana sono componenti intrinseci dell'atmosfera, in quanto sono prodotte nel corso di processi naturali, ad esempio la decomposizione di materia organica e gli incendi della

vegetazione. In questi casi, si tratta di gas presenti in piccola concentrazione, a cui vanno aggiunte particelle solide e/o liquide di varia natura, ad esempio polveri, fumi e nebbie. Mentre le emissioni **naturali** si possono considerare fenomeni pressoché stazionari nel tempo, a meno di trascurabili fluttuazioni, le emissioni prodotte dall'uomo, col passare del tempo, ricalcano un andamento in crescita costante, che da un lato ha portato ad aumenti di concentrazione di componenti atmosferici intrinseci trasformandoli in fattori molto più che perturbanti, esattamente inquinanti, dall'altro lato ha introdotto sostanze di natura sintetica. Il contributo prevalente alla produzione di inquinanti atmosferici è dato dai processi di combustione di combustibili fossili, cui si aggiungono gli incendi appiccati a scopo di disboscamento. Le principali fonti di inquinamento dell'aria sono gli impianti di riscaldamento domestico, i motori degli autoveicoli a combustione interna, gli impianti termici industriali, le centrali termoelettriche e gli inceneritori di rifiuti solidi.



Figura 15 Inquinamento dell'aria

A queste fonti, si associa la liberazione nell'atmosfera di biossido di carbonio, monossido di carbonio, biossido di zolfo, ossidi di azoto, piombo, particelle sospese ed idrocarburi. Possiedono delle gravi responsabilità anche gli impianti industriali, ad esempio dei comparti chimico, metallurgico, manifatturiero ed estrattivo, perché sono

appunto i responsabili dell'emissione di polveri e composti organici di varia natura, tra cui il metano e CFC.

I principali effetti su grande scala dell'inquinamento atmosferico sono il cosiddetto buco nell'ozono, ossia la diminuzione dello strato di ozono che filtra i raggi ultravioletti più dannosi per la vita sulla Terra, lo smog fotochimico e il rafforzamento dell'effetto serra, nonché le precipitazioni acide. Quest'ultime, note come **piogge acide**, sono così chiamate per la presenza nell'acqua piovana di acido solforico e acido nitrico, dovuti a reazioni di ossidazione, in seno all'atmosfera, del biossido di zolfo e degli ossidi di azoto provenienti dalla combustione di combustibili fossili. Esse colpiscono soprattutto gli ecosistemi forestali e lacustri, ma producono anche rilevanti danni al patrimonio architettonico e archeologico, poiché tendono a disgregare le pietre da costruzione calcaree.

L'acqua subisce gli attacchi da parte di svariate fonti d'inquinamento, alcune dovute all'immissione diretta di sostanze contaminanti, altre all'ingresso indiretto nei corpi idrici di inquinanti provenienti dall'atmosfera e dal suolo. Le acque naturali possiedono un potere **auto depurante**, nel senso che sono capaci di biodegradare le sostanze organiche di provenienza animale e vegetale, e anche alcune sintetiche.



Figura 16 Inquinamento dell'acqua

Questa capacità è dovuta all'azione di microrganismi presenti nelle acque, che sono in grado di ossidare i materiali biodegradabili, demolendoli in molecole semplici che prendono parte ai cicli naturali. Tale processo avviene in condizioni aerobiche e richiede la presenza di ossigeno, che i microrganismi trovano disciolto nelle acque e il cui consumo è gradualmente compensato dall'assorbimento di nuovo ossigeno atmosferico. Se la richiesta di ossigeno di un corpo idrico è eccessiva e tale da superare la capacità di riossigenarsi, subentrano fenomeni putrefattivi, durante i quali vengono liberate sostanze tossiche e/o maleodoranti, che provocano una degradazione dell'ecosistema acquatico. Questo fenomeno si manifesta in misura accentuata nell'**eutrofizzazione**, ovvero in una proliferazione di vegetazione sommersa, che determina una sorta di asfissia delle specie animali acquatiche. Le cause dell'inquinamento idrico sono principalmente connesse all'immissione di effluenti urbani, industriali e agricoli che interessano sia le acque superficiali sia le acque sotterranee o di falda. Specifiche forme d'inquinamento delle acque sono quelle provocate da petrolio e quelle connesse agli scarichi di acque a elevata temperatura (inquinamento termico o da calore).

Le cause d'inquinamento del suolo vanno, almeno in parte, ricercate tra quelle che interessano l'aria e l'acqua, basti pensare a inquinanti che cadono sul terreno oppure a fertilizzanti e antiparassitari. Passando alle cause specifiche, si hanno lo smaltimento dei rifiuti solidi urbani (**RSU**) e di fanghi provenienti dagli impianti di depurazione delle acque.



Figura 17 Inquinamento del suolo

Tra le cause è presente anche l'allevamento, infatti la separazione delle attività zootecniche da quelle agricole, comporta, insieme all'allevamento intensivo, lo scarico nei corsi d'acqua di ingenti quantità di nutrienti organici costituiti dalle deiezioni animali, che potrebbero, invece, essere sfruttate in campo agricolo.

Gli effetti più gravi dell'inquinamento del suolo sono legati alla perdita di fertilità, all'erosione accelerata del terreno e a fenomeni di accumulo nelle catene alimentari, in particolare di antiparassitari e di sostanze tossiche contenute nei fertilizzanti. È il caso di veleni a elevata persistenza e stabilità chimica, come il DDT e le diossine, che si concentrano negli organismi e si diffondono nelle catene alimentari, in concentrazioni assai più elevate di quelle di partenza e ritenute non pericolose.

2.2 Sostenibilità in un'azienda

Passando all'ambito sociale ed economico, la sostenibilità è intesa come un processo di **cambiamento** nel quale lo sfruttamento di risorse, il piano di investimenti e le modifiche istituzionali sono in sintonia e valorizzano il futuro, col fine di far fronte ai bisogni e alle aspirazioni dell'uomo.

Gli obiettivi coincidono nella **tutela dell'ambiente**, nello **sviluppo sociale** e nello **sviluppo economico**, concetti imprescindibili l'uno dall'altro. Un corretto e sensato approccio chiamerebbe in causa anche le **generazioni future**, nel senso che la

pianificazione sostenibile dovrebbe instaurare un percorso a lungo termine, che preveda la sensibilizzazione e l'educazione ad uno stile di vita rispettoso della natura.

La sostenibilità rappresenta un appello ad agire, una **sfida** sociale e politica, che coinvolge il diritto nazionale e internazionale, il sistema urbanistico e dei trasporti, gli stili di vita locali e individuali, il progresso scientifico, la progettazione di sistemi flessibili e/o reversibili, le imprese e le aziende.

L'essere un'**azienda sostenibile** comporta scelte tali da ridurre l'impatto ambientale delle proprie attività produttive, contenere i consumi, progettare e realizzare prodotti non gravosi sull'ambiente, per via delle materie prime scelte, dei processi produttivi svolti e degli scenari di fine vita percorribili.



Figura 18 Scelte sostenibili di un'azienda

L'idea di fondo di un'azienda sostenibile deve coincidere con la ricerca del **benessere**, di una migliore qualità della vita e di una maggiore **responsabilizzazione** nei confronti della natura, ovvero si deve far strada all'intento di considerare ogni risorsa accanto a sé come preziosa ed unica, immaginando un possibile e tangibile percorso di riuso e/o riciclo, a seguito di un eventuale utilizzo.

Con questo *modus operandi*, un'azienda può ritenersi sostenibile e schierata a sostegno della natura. Per attuare questo miglioramento del sistema produttivo in termini di sostenibilità, l'azienda necessita di una conoscenza preliminare dei problemi e delle

criticità riscontrabili nelle varie fasi delle lavorazioni, dal consumo energetico alle emissioni inquinanti, dall'impronta idrica alla generazione di rifiuti, dal grado di biodegradabilità e/o riciclabilità dei beni ai costi ambientali della logistica.

Fin dalla progettazione del prodotto, è richiesta una valutazione oggettiva dei fattori che concorrono a definirlo ad esempio nella quantità di CO₂ necessaria alla sua realizzazione e al suo utilizzo, affinché si possa poi programmare il contenimento dell'impatto ambientale con gli adeguati interventi tecnico-organizzativi.

La sostenibilità applicata alla realtà industriale è strettamente connessa alla ricerca di tecnologie e materiali innovativi, con alla base un costante aggiornamento delle conoscenze tecnico-scientifiche e delle metodologie di analisi, controllo e validazione, di fatto facendo emergere una stretta collaborazione tra azienda e **università**, centri di ricerca, laboratori di analisi.

2.2.1 Settore calzaturiero

A fronte delle problematiche ambientali, il settore calzaturiero sta attuando da decenni una progressiva riqualificazione delle produzioni, indirizzandosi verso soluzioni il più possibile sostenibili, sperimentando nuovi processi e nuovi materiali finalizzati alla riduzione degli impatti ambientali.



Figura 19 Lavorazione di calzature

Le industrie calzaturiere stanno infatti progressivamente eliminando e/o riducendo l'uso di sostanze più pericolose per la salute, dai solventi più inquinanti per l'ambiente di lavoro alle sostanze organiche-volatili-tossiche, e stanno cominciando a sostituire le sostanze riconosciute come inquinanti per le falde acquifere e quelle potenzialmente cancerogene, con sostanze via via meno pericolose.

Il settore calzaturiero rappresenta un insieme complesso di attività non prive di criticità, che richiedono attenzione, e inoltre utilizza materiali la cui produzione richiede alti valori di **GWP100**², che ne determinano la valenza ambientale.

Il processo di produzione della calzatura chiama in causa diversi ambiti e assegna anche a soggetti esterni alla filiera in senso stretto, una valenza determinante. L'industria calzaturiera si compone di aziende produttive specificatamente dedicate alla fabbricazione dei diversi materiali (pelle, cuoio, tessile, gomma) e dei componenti necessari alla costruzione della calzatura (accessoristi, fustellifici, suolifici, solettifici), mentre altre aziende sono fornitrici di servizi e attrezzature finalizzate alle attività produttive.

Analizzando la filiera integrata della calzatura, emergono le problematiche più critiche cui deve fronteggiare il settore calzaturiero nelle varie fasi del ciclo produttivo.

Le 2 aree che sono di maggior interesse dal punto di vista della rilevanza ambientale coincidono con la **concia**³ e i **materiali** o componenti su cui si basa la produzione di calzature. La scarpa, infatti, più di altri prodotti al consumo, concretizza e comunica la propria sostenibilità attraverso l'identità dei materiali, che la costituiscono e contraddistinguono, con associate performance.

² Indicatore del potenziale surriscaldamento globale totale nell'orizzonte temporale di 100 anni.

³ È il trattamento a cui vengono sottoposte le pelli al fine di conservarle e lavorarle, precisamente si trasforma la pelle degli animali in cuoio, rendendone impermeabili e imputrescibili le fibre di cui è formato il derma della pelle stessa.

2.2.1.1 Passaggio all'economia circolare e principio delle 3 R

Fino ad oggi, i sistemi economici hanno visto la supremazia del modello della cosiddetta **economia lineare**, basato su un processo a fasi sequenziali che prevede acquisto, produzione, consumo e smaltimento. Secondo tale modello le aziende acquisiscono risorse, le trasformano in beni adatti a soddisfare i bisogni e li rendono disponibili agli individui. Una volta soddisfatte le esigenze dei consumatori i beni vengono raccolti e distrutti. Questa sequenza per la soddisfazione dei bisogni umani implica quindi la distruzione delle risorse acquistate dalle aziende e la distruzione di quanto prodotto.

L'economia lineare arreca irreparabili danni all'ambiente naturale, compromettendo il patrimonio di risorse disponibili in tempi relativamente brevi, specie laddove la produzione raggiunge volumi che comportano un utilizzo delle risorse a tassi superiori a quello della loro rigenerazione.



Grafico 6 Economia lineare

Con il passare del tempo il modello lineare si è quindi dimostrato inadeguato poiché permette un utilizzo delle risorse solo apparentemente ottimale, portando a un loro progressivo esaurimento. Una possibile soluzione alla non sostenibilità dello sviluppo economico lineare consiste nell'adottare un modello economico di tipo circolare. L'innovativa **economia circolare** si fonda su un processo, appunto circolare, e sul cosiddetto **principio delle 3R**: *riduco, riutilizzo e riciclo*.

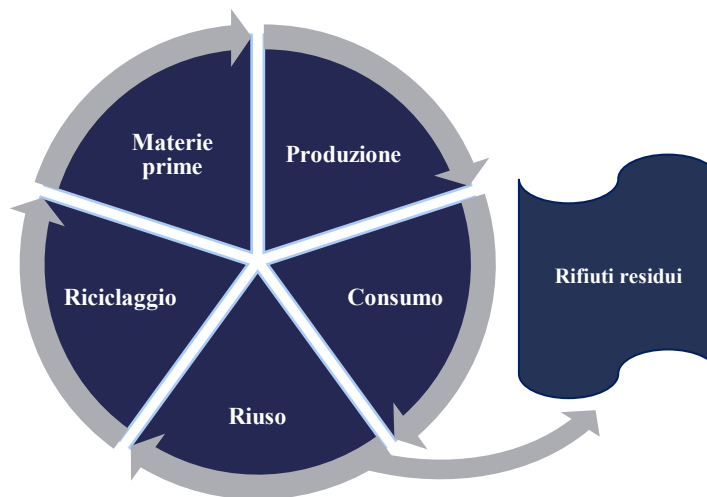


Grafico 7 Economia circolare

Il modello di sviluppo dell'economia circolare prevede quindi un impegno non solo alla riduzione delle risorse utilizzate, ma anche nella **riprogettazione** dei prodotti per renderne possibile il riutilizzo, la riparazione e, una volta a fine vita, un più semplice riciclaggio. Se il modello economico lineare si conclude con un consumo di materie prime e rifiuti da smaltire, nell'economia circolare i prodotti una volta utilizzati avranno una seconda e nuova vita e diverranno materie prime per un nuovo ciclo produttivo, con risultato un radicale abbattimento delle risorse consumate.

Il riciclo di prodotti finiti o rifiuti prevede un processo di trasformazione finalizzato a reinserirli in un nuovo ciclo di vita. È possibile riciclare sia materiali **pre-consumo**, cioè originati da scarti ed eccedenze di produzione, sia materiali **post-consumo**, cioè recuperati a fine ciclo di vita. Nel riciclo diventa ancora più importante il rispetto dei processi produttivi finalizzati alla qualità e resa ottimale delle caratteristiche sostenibili del prodotto. Sono molteplici le filiere produttive nelle quali è possibile introdurre tecnologie mirate questa trasformazione, così da abbattere i costi di produzione e proporre i materiali da riciclo come una concreta e valida alternativa a quelli di origine.

Ogni anno a livello globale si producono circa 24 miliardi di paia di scarpe e il 90% delle vecchie calzature vengono gettate per finire nelle discariche, dove impiegano anni per degradarsi, o negli inceneritori. Queste, prodotte in pelle, tessuto e polimeri, si degradano molto lentamente, poiché costituite da materiali difficili da separare e riutilizzare.

Nonostante le evidenti criticità del settore, il riciclo sta diventando uno dei temi cardini nella comunicazione delle imprese produttrici che si stanno orientando alla sostenibilità.

La produzione di scarti significativi all'interno di un'azienda di calzature è alta e nello specifico, vengono prodotti sfridi e ritagli di pelle, polvere, cuoio, materiali polimerici e tessuti, collanti e solventi, senza tralasciare gli imballaggi. In assenza di un piano di riutilizzo o riciclo, il destino dei rifiuti del comparto si consuma in larga misura in discarica e nei sistemi di incenerimento e/o termovalorizzazione, e con lo stesso criterio si gestiscono anche i prodotti finiti.

2.2.1.2 Ecolabel

Ecolabel rappresenta l'etichetta ecologica stabilita dall'Unione Europea, quindi è un marchio comunitario di certificazione ambientale.

Nato nel 1992 a seguito del *Consiglio europeo 880/92*⁴, si tratta uno strumento a adesione volontaria concesso a quei prodotti e/o servizi che rispettano criteri ecologici stabiliti a livello europeo. L'ottenimento del marchio costituisce un attestato di eccellenza che viene rilasciato nel caso di un ridotto impatto ambientale e questa ecoetichetta rende consapevole qualsiasi acquisto e soprattutto sicuro, permettendo alle aziende di occupare una posizione privilegiata rispetto alla concorrenza.

⁴ Regolamento concernente un sistema comunitario di assegnazione di un marchio di qualità ecologica.

I criteri vengono periodicamente sottoposti a revisione e sono definiti per **gruppi** di prodotto e servizio. Se necessario, i criteri sono resi più **restrittivi** per dare la possibilità di premiare i prodotti migliori dal punto di vista ambientale e per promuovere un continuo miglioramento.



Figura 20 Logo europeo Ecolabel

I criteri inerenti al settore calzaturiero riguardano:

- residui del prodotto finale;
- riduzione del consumo idrico;
- emissioni derivanti dalla produzione di materiale;
- utilizzo di sostanze pericolose;
- consumo energetico;
- imballaggio del prodotto finale;
- informazioni da riportare sulla confezione;
- informazioni da apporre sul marchio di qualità ecologica;
- parametri che contribuiscono alla durata.

Il numero di prodotti che riescono ad ottenere questo marchio ambientale di carattere europeo è in costante crescita, con l'**Italia** attualmente in testa nel settore calzaturiero.

2.2.1.3 Componenti e materiali di una calzatura

Trascurando per un momento il piacere di collezionare e di abbinare la calzatura ai vari outfit dei consumatori, bisogna dire che la calzatura, e nello specifico la scarpa,

rappresenta un capo d'abbigliamento costruito con lo scopo principale di **proteggere** il piede, garantendo una camminata in totale comodità e/o sicurezza. Qualunque siano il modello, la forma e il materiale, è possibile distinguere dei componenti essenziali che rendono tale una scarpa e questi sono la **tomaia**, la **fodera**, la **suola**, la **soletta** e il **tacco**.



Figura 21 Componenti essenziali

L'industria calzaturiera impiega, per realizzare differenti modelli e stili di scarpe, un'ampia gamma di materiali, ad esempio pelli, tessuti, materiali metallici, filati, colle, legno, prodotti chimici e celluloide ⁵.

La **tomaia** è la parte superiore della scarpa, ovvero quella che copre il piede, e che di fatto caratterizza i diversi modelli e stili della calzatura. Ad esempio, se la tomaia è aperta sulla parte anteriore si parla di décolleté; se è tagliata a listarelle si fa riferimento ai sandali; se è completamente chiusa, in base a forma e altezza, si può trattare di un'allacciata, di un mocassino, di uno stivaletto oppure di uno stivale. Solitamente la tomaia è realizzata in cuoio, pelle, suede ⁶, tessuto naturale o sintetico, e può essere tagliata in un unico pezzo oppure composta da diversi elementi. Tra questi elementi

⁵ Prima materia plastica prodotta industrialmente (1869), è una miscela tra canfora e nitrocellulosa, quest'ultima derivante da una trattazione tra cellulosa delle piante e acido nitrico.

⁶ Comunemente "pelle scamosciata", è un derivato del cuoio più vellutato e versatile.

sono presenti la punta (o puntale), che è la parte anteriore a protezione delle dita del piede, e la mascherina, che è la parte centro-laterale. Qualunque tipologia di tomaia è fissata alla suola tramite cucitura o collante specifico.

La **fodera** è la parte che riveste internamente la tomaia, quindi direttamente a contatto con il piede e per questo motivo, è necessaria un'adeguata qualità del materiale, tale da migliorare la traspirabilità nei modelli estivi e trattenere maggiormente il calore in quelli invernali.

La **suola** è la parte inferiore della scarpa, quindi direttamente a contatto con il suolo e per questo motivo, ha il compito di proteggere la pianta del piede conferendo stabilità. Solitamente, si assiste a un uso frequente di soles in cuoio per scarpe classiche ed eleganti; di materiali espansi, ad esempio gomma, EVA e poliuretano, per calzature più sportive e confortevoli; di gomma compatta per calzature tecniche o antinfortunistiche.

La **soletta** è la parte interposta tra la suola e la tomaia e sulla quale poggia il piede, quindi deve rendere il più confortevole possibile la calzata.

Il **tacco** è la parte che costituisce il rialzo della scarpa, conferendole una determinata inclinazione, e che può essere di svariate forme, ad esempio a campana, a rocchetto o a spillo, e di diverse altezze, infatti si passa dai 2-3 cm tipici dei mocassini, ai 12-15 cm ricorrenti nelle calzature più eleganti. Solitamente il tacco è realizzato in cuoio, legno, metallo oppure plastica, e può essere rivestito, principalmente tramite pelle.

Si evince che ogni componente possiede un ruolo specifico nella struttura della calzatura e sono tutte equi importanti per la composizione finale, poiché vanno a influenzarne qualità, vestibilità e aspetto estetico. La conoscenza di questi elementi costitutivi rappresenta il primo passo per un eventuale e consapevole acquisto da parte dei consumatori.

Citati tra i possibili materiali, i componenti **metallici** possono presentarsi nella calzatura sia in maniera netta o visibile sia incorporati per scopi strutturali, ad esempio steli o puntali in acciaio e supporti per il tallone. La rimozione di queste parti metalliche rappresenta una sfida significativa per il riciclaggio, perché i metalli sono spesso chiamati in causa in una piccola percentuale del peso totale della calzatura e sono generalmente molto impigliati con altri componenti. Nelle fasi finali del ciclo di produzione vengono impiegate **tinte**, di solito colori a base di cera e auto lucidanti che appunto colorano la suola prima di una lucidatura. Inoltre, si utilizzano materiali per la **pulizia**, precisamente detergenti specifici, che favoriscono l'evacuazione delle impurità che si depositano sulla calzatura durante le lavorazioni, così da consentire una successiva stesura di **creme**, per la rifinitura ovvero la massimizzazione dell'aspetto estetico. Infine, provenienti dall'industria chimica, i **collanti** sono fondamentali durante l'incollaggio o montaggio. Tipicamente con il termine "**adesivo**" si intendono le sostanze di origine sintetica, mentre il termine "**colla**" è utilizzato per citare le sostanze di origine naturale. Durante la scelta del collante è necessario valutare la natura dei materiali da incollare, le proprietà richieste al giunto adesivo, ad esempio quelle meccaniche, di resistenza e di elasticità, le lavorazioni disponibili, ad esempio incollaggio a caldo piuttosto che a spruzzo, l'attrezzatura necessaria, i rischi, le condizioni di sicurezza e i costi.

2.2.1.3.1 Ciclo di produzione dal punto di vista della sostenibilità

La varietà di parti e materiali, che intervengono per dare vita alla calzatura, definisce un inevitabile **ciclo di produzione** assai complesso. Un sistema produttivo sostenibile, come è stato definito in precedenza, non implica semplicemente un'azione rispettosa dei dettami legislativi del Paese in cui l'azienda opera e/o vende, ma richiede uno sforzo

di continuo miglioramento che l'impresa intraprende con l'obiettivo di ridurre il costo ambientale delle proprie attività.

Analizzando la **filiera circolare** della calzatura emergono delle problematiche ambientali più critiche, all'interno dei molti comparti con cui interagisce il settore calzaturiero nelle diverse fasi del ciclo di produzione, e che di seguito (tabella 2) si illustrano:

Settore	Principali criticità ambientali
<i>Settore agroindustriale</i>	Impatto ambientale degli allevamenti intensivi Impronta idrica Problematiche animaliste
<i>Industria chimica, tessile, dei polimeri, meccanica ed elettronica</i>	Consumo di materie prime, energia, acqua Emissioni Scarti industriali
<i>Produzione forme, soles, tacchi, accessori...</i>	Consumo di materie prime ed energia Emissioni
<i>Terziario, logistica, packaging</i>	Consumo di materie prime, energia, carburanti
<i>Concia</i>	Consumo di energia, acqua Emissioni e contaminazioni in atmosfera, acqua, suolo Uso di sostanze chimiche pericolose Scarti industriali
<i>Industria calzaturiera</i>	Consumo di energia Uso di sostanze chimiche pericolose Scarti industriali
<i>Distribuzione</i>	Consumo di energia, carburanti
<i>Uso e dismissione</i>	Prodotti per pulizia Bassa o nulla biodegradabilità e riciclabilità

Tabella 2 Principali criticità nella filiera circolare della calzatura

Le differenti fasi di lavorazione di una calzatura sono causa di scarti e sfridi, che le nuove tecnologie tentano di riutilizzare in altre fasi. Ad esempio, gli scarti derivanti da rasatura, rifilatura e smerigliature trovano impiego nella produzione di fertilizzanti

tramite compostaggio, e nella produzione di proteine. In questo caso, i vantaggi ambientali coincidono con la riduzione del volume di rifiuti e con la diminuzione del consumo di materie prime vergini.

La fase di **taglio** dei materiali risulta decisiva dal punto di vista della qualità dei prodotti realizzati e per quanto riguarda le logiche eco-compatibili del processo, si interviene riducendo scarti e sfridi, la cui gestione rappresenta sia un costo per l'azienda sia un carico ambientale. Pur essendo una lavorazione in cui l'esperienza dell'operatore ricopre grande importanza, ormai i sistemi **CAD** per il posizionamento dello schema di taglio sono di grande utilità nell'individuare le modalità di ottimizzazione del materiale. Le **attrezzature** per il taglio automatizzato comportano consumi energetici e in alcuni casi immettono nell'atmosfera fumi e polveri che vanno assolutamente considerati nell'analisi LCA del prodotto.

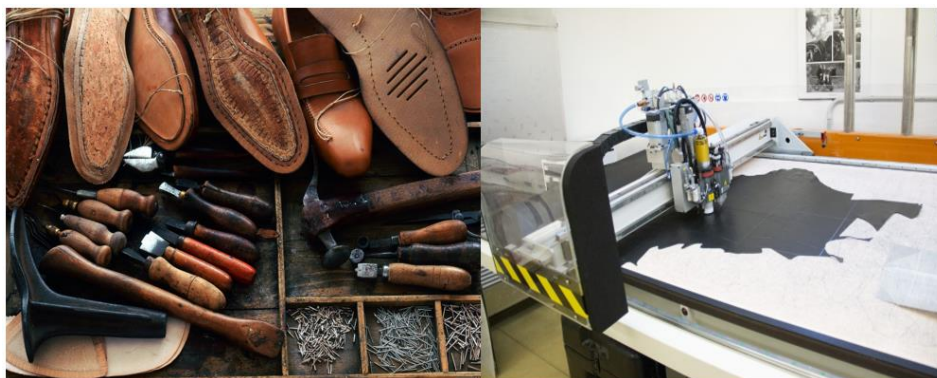


Figura 22 Attrezzature manuali e automatizzate

Durante la fase di preparazione della **giunteria**, la pelle viene visionata e predisposta al montaggio tramite assottigliamento della superficie per uniformare il rilievo, spaccatura per inserire eventuali rinforzi, ripiegatura degli orli e bordatura. Le sagome di pelle possono essere assemblate tra loro oppure con altri componenti di costruzione della calzatura, mediante cucitura, che di solito è eseguita da macchine elettroniche

automatiche. Ecco che in questa fase l'impatto ambientale si concentra sul consumo energetico e la produzione di rumore nell'ambiente di lavoro.

Le principali soluzioni di miglioramento ambientale, applicabili ai processi produttivi delle calzature, possono riguardare:

- l'utilizzo di prodotti a **base acquosa** circa il trattamento di materie prime e componenti, l'incollaggio delle parti e la finitura delle calzature;
- il **recupero** degli scarti di lavorazione a base di cuoio e pellame;
- l'impiego di prodotti **reticolabili** con radiazioni UV, per stampa serigrafica ⁷ e incollaggio e di adesivi solidi termo-fusibili ⁸, principalmente per preparazione della giunteria.

Per poter parlare di filiera circolare, in particolare calzaturiera, è necessario:

- controllare la **catena di fornitura**, integrando i fattori ambientali nelle fasi di realizzazione, trasformazione e trasporto dei prodotti;
- razionalizzare il **flusso dei trasporti**, che spesso può voler dire anche scegliere fornitori secondo logiche di prossimità;
- migliorare il **parco mezzi**, ad esempio attuando la conversione a GPL/metano dei mezzi di trasporto;
- ridurre gli **imballaggi** perché le tecniche di imballaggio possono avere pesanti ricadute ambientali, soprattutto se le scatole di cartone presentano basse percentuali di materiale riciclato.

⁷ Tecnica di stampa in cui l'inchiostro penetra nel tessuto, spinto da un telaio tramite la pressione di una barra. La tinta non viene assorbita dal tessuto, bensì si deposita a strati sulla calzatura.

⁸ Comunemente "colla a caldo", hanno bassa pressione d'iniezione che minimizza il danno ai componenti, sono versatili e di facile utilizzo, sono compatibili con l'ambiente perché formulati con materie prime derivate da fonti rinnovabili come oli vegetali non appartenenti alla catena alimentare (palma, mais ecc.).

2.2.1.3.2 Biopolimeri e bioplastiche di una calzatura

Poiché il mercato offre molte tipologie di calzature realizzate in materiali diversi, è riduttivo definire la scarpa come un prodotto di solo pelle e cuoio.

La calzatura prevede anche materiali **polimerici**, molti dei quali concorrono a formare parti interne, quindi non visibili dal consumatore. L'analisi dell'impatto ambientale di una calzatura non può prescindere dalla valutazione di queste componenti, che sono, soprattutto nell'industria chimica, oggetto di ricerche finalizzate ad abbassare gli impatti dei polimeri tradizionalmente impiegati. Nati soprattutto con lo scopo di ridimensionare l'impatto ambientale di prodotti in plastica, i **biopolimeri** e le **bioplastiche** sono definiti come polimeri preparati attraverso processi biologici, che conferiscono al prodotto finale un'elevata biodegradabilità. Possono essere sia di natura sintetica, ad esempio i derivati da alcuni poliesteri, da alcuni ammidi poliesteri e da alcol polivinilico, oppure di natura vegetale quindi rinnovabili, ad esempio l'amido e le miscele di amido, l'acido polilattico (**PLA**) derivato da zuccheri, la cellulosa o la lignina, i poliidrossialcanoati (**PHA**) e altri. Un'altra sottocategoria che fa capo ai biopolimeri è costituita dai materiali fibrosi derivati da **biomasse** o da **fonte proteica**, come le fibre derivate da caseina e soia. Altre fibre contengono monomeri, ottenuti con processi fermentativi di tipo biotecnologico. Materiali simili sono utilizzati nelle bioplastiche e si sta lavorando per incrementarne le proprietà meccaniche e la lavorabilità per stampaggio ed estrusione.

2.2.1.3.3 PVC e Poliuretano

Un materiale largamente diffuso nel settore calzaturiero è il **PVC**, una resina di natura sintetica composta da cloro, etilene, ossigeno e acido cloridrico, ottenuta in sistema

chiuso tramite polimerizzazione con aggiunta di sostanze oleose e plastificanti, tali da renderlo flessibile ed elastico in base alla sua futura funzione durante l'utilizzo.

Oltre alla sua versatilità e alle sue caratteristiche di resistenza e tenacità, nella versione più morbida ed elastica ben si presta ad essere goffrato ovvero inciso con disegni ed effetti voluti. Questa caratteristica lo rende molto apprezzato nei prodotti fashion in eco-pelle⁹ per i quali si prevede un prezzo al consumo contenuto.



Figura 23 Scarpa in PVC

Purtroppo, i pareri sulla sostenibilità del PVC sono discordanti, infatti secondo una recente ricerca commissionata da **ECVM**¹⁰ (*European Council of Vinyl Manufacturers*), il PVC risulterebbe avere valori competitivi rispetto ad altri materiali in termini di **GER**¹¹ e **GWP**. Di opposta opinione è invece uno studio di *The center for Health, Environment and Justice*¹², secondo il quale il PVC sarebbe responsabile di molti tumori e malformazioni fetali se indossato a contatto con la pelle o ingerito mediante suzione di giocattoli.

In ogni caso, il fatto che attualmente il PVC sia impiegato in attrezzature delle sale operatorie, sacche di sangue, guanti chirurgici e altro, dovrebbe placare la diatriba.

⁹ Secondo la norma UNI EN ISO 11427:2011 il termine Eco-pelle intende un pellame lavorato con modalità rispettose sia dell'ambiente sia della salute degli utilizzatori.

¹⁰ È una divisione di Plastics Europe, associazione europea dei produttori di materie plastiche.

¹¹ Indicatore dell'energia utilizzata nel ciclo di produzione.

¹² Compagnia statunitense a difesa dei consumatori.

Inoltre, di recente il PVC è stato integrato negli standard di certificazione Ecolabel, in quanto è disponibile anche in versione priva di ftalati e metalli pesanti, in linea con le disposizioni del *Regolamento europeo REACH* sull'uso delle sostanze chimiche.

Altro polimero fondamentale nel settore calzaturiero è il **poliuretano**, molto apprezzato in virtù delle sue versatilità e facilità di produzione, lavorazione e applicazione.



Figura 24 Suola in poliuretano

Attraverso l'appropriata selezione di isocianato e poliolo, le caratteristiche dei prodotti realizzati possono variare dalla soffice morbidezza delle schiume flessibili a bassissima densità, alla straordinaria resistenza alle sollecitazioni di flessione dei poliuretanic microcellulari espansi ad acqua, utilizzati per le soles delle calzature.

Di recente, sono stati effettuati diversi miglioramenti in termini di sostenibilità ambientale, ad esempio, è stata approvata la sostituzione degli idroclorofluorocarburi (**HCFC**), agenti espandenti che permettono la produzione della schiuma, con l'acqua, e inoltre, è stata raggiunta la formazione di nuovi polioli con alte percentuali di oli naturali ricavati da semi di soia e girasole, così da rimpiazzare quelli ricavati dal petrolio.

2.2.1.4 Rischi e misure di prevenzione per la sicurezza dei lavoratori

Per poter parlare di prodotto sostenibile, la sostenibilità deve sposarsi anche con le condizioni di **sicurezza**, che rappresentano il requisito essenziale per la salvaguardia della salute delle persone e della dignità dei lavoratori. Il lavoro in sicurezza chiama in

causa macchine sicure, rende gradevole l'ambiente di lavoro e tutela anche la salute dei consumatori, in quanto utilizzatori finali del prodotto.

L'organizzazione del lavoro, supportata da strumenti informatici, automazione e attrezzature di ultima generazione, è fondamentale per rendere sicuro e confortevole l'ambiente di lavoro di un'industria, nello specifico calzaturiera.

Il settore calzaturiero rappresenta l'insieme di tutte quelle lavorazioni che portano alla produzione di manufatti con la funzione di vestire il piede e che sono il risultato di un ciclo di produzione, che spesso prevede la separazione, più o meno ampia, delle fasi di lavorazione tra il calzaturificio vero e proprio e aziende minori complementari, ad esempio tomaifici, solettifici, tacchifici e trancifici.

Parlando di sicurezza dei lavoratori nell'industria calzaturiera, il **rischio infortunistico** si associa principalmente all'utilizzo vero e proprio delle macchine, ad esempio fustellatrici, presse, frese, macchine per cucire e incollatrici, ma a seconda delle fasi lavorative, è bene specificare che esiste una vastissima gamma di **rischi per la salute**, il più delle volte determinati da esposizione a:

- **solventi** (acetone, acetato di etile, cicloesano, eptano, esano e isomeri, metiletilchetone, toluolo, xilolo e altri), che possono determinare fenomeni di tipo tossico come neurotossicità ¹³, epatotossicità ¹⁴ e irritazione delle vie aeree, quindi dal punto di vista della prevenzione, è opportuno privilegiare la scelta di collanti a base acquosa a discapito di quelli a base organica, ma si precisa che la presenza di solventi può anche comportare eventi di esplosione e/o incendio, se non si presta adeguata attenzione al divieto di fumare, presente nella segnaletica normata, oppure alle fiamme libere usate durante il finissaggio;

¹³ Qualsiasi effetto avverso sul sistema nervoso, ad esempio paralisi o perdita funzionale, derivante dall'esposizione a sostanze potenzialmente tossiche.

¹⁴ Capacità di una sostanza chimica di procurare un danno al fegato.



Figura 25 Segnaletica di sicurezza

- **resine naturali o sintetiche**, che possono determinare sensibilizzazioni cutanee in soggetti predisposti
- **inalazione di vapori, nebbie e polveri**, che va contrastata eseguendo una pulizia degli ambienti di lavoro tramite aspirapolvere, e non aria compressa che semplicemente smuove, e utilizzando i dispositivi di protezione individuale specifici per le vie respiratorie;
- **rumore**, che ha un'intensità molto variabile in relazione alle lavorazioni svolte e alle fasi di lavoro, ma in ogni caso le macchine più rumorose coincidono con frese, raspe ribattitrici, battiboette ¹⁵, pre-montatrici, cucitrici Blake ¹⁶, monta fianchi;
- **vibrazioni**, che si intersecano sia solo con il **sistema mano-braccio**, ad esempio durante l'uso di ribattitrice, con la possibilità di indurre angiopatie, neuropatie e degenerazioni artrosiche delle articolazioni dell'arto superiore, sia con il **corpo intero**, durante la movimentazione di materiali e semilavorati all'interno dell'azienda tramite carrelli elevatori, rischiando l'insorgere di

¹⁵ Macchina che tramite martello battente raccorda filo boetta al tacco prefissato sulla calzatura.

¹⁶ La lavorazione Blake tramite un'unica cucitura tiene unite suola, fodera e tomaia, e questa tecnica esclusiva per calzature è sempre riconoscibile grazie all'evidente cucitura interna che attraversa la suola.

degenerazioni artrosiche del rachide dorso-lombare, protrusioni o ernie discali del rachide dorso-lombare;

- **manipolazione di pezzi con bordi o superfici che possono causare tagli o abrasioni** e in base alla situazione, bisogna ricorrere all'opportuno dispositivo di protezione individuale;



Figura 26 Dispositivi di protezione individuale

- **uso dei dispositivi di protezione individuale (DPI)**, perché tute, guanti, scarpe e maschere, che vengono messi a disposizione, devono essere funzionali e confortevoli, quindi tali da non costituire un ulteriore pericolo, ad esempio guanti sfilacciati, maschere con visibilità limitata, cuffie che possono impedire la ricezione di segnali di avvertimento;
- **movimentazione manuale dei carichi**¹⁷, che è presente trasversalmente nelle varie fasi del ciclo produttivo classificando il lavoratore a fasce diverse di esposizione in base al tipo di manufatto da sollevare o trasportare, alla conformazione dello stesso e allo spazio disponibile, quindi risulta opportuno indossare indumenti e/o calzature adeguati, movimentare oggetti in spazi

¹⁷ Questo rischio è approfondito e descritto in dettaglio nell'aggiornata norma **UNI EN ISO 11228:2022**.

tutt'altro che ristretti o caratterizzati da pavimenti scivolosi o con dislivelli sconnessi;

- **sovraccarico biomeccanico degli arti superiori**, che è strettamente connesso alle fasi di taglio manuale, scarnitura, spacca pelli, taglio meccanico, cucitura manuale, lucidatura, incollaggio;
- **organi di trasmissione del moto**, che devono essere provvisti di ripari, dispositivi di sicurezza o segregati in modo da impedire concretamente, contatti pericolosi con gli stessi;
- **movimentazione dei carichi tramite paranchi o carrelli elevatori**, infatti si deve sia garantire la stabilità del carico annullandone il rischio di caduta mediante impiego di idonee e corrette imbracature, sia prevedere percorsi o aree riservate ai mezzi di sollevamento e trasporto, sia assicurare la perfetta visibilità durante le esecuzioni;
- **transito di veicoli**, infatti è necessario garantire la larghezza sufficiente per il passaggio di veicoli e pedoni, segnalare le zone di transito, limitare la velocità, mantenere i pavimenti con superficie regolare e uniforme, ed infine assicurare adeguata visibilità;



Figura 27 Carrello elevatore in transito e segnaletica per pedoni

- **postazioni di lavoro o di manutenzione sopraelevate**, che comportando il rischio di caduta dall'alto, necessitano l'installazione di idonei parapetti e la presenza di barriere di sicurezza ribaltabili nei piani di ricevimento carichi;
- **limitata area di lavoro**, che va calcolata tenendo conto dei movimenti dei lavoratori, dei materiali in lavorazione, dell'uso delle macchine e delle operazioni di stoccaggio;
- **pavimenti sconnessi o scivolosi**, che vanno resi uniformi e puliti da vernici, oli e sfridi;
- **procedure e metodologie di lavoro**, perché è necessario un costante controllo circa l'utilizzo delle attrezzature affinché siano aggiornate e appropriate alle finalità per cui sono state progettate, costruite, scelte ed acquistate.

2.2.1.5 Consapevolezza dei consumatori

La questione della sostenibilità nel campo produttivo è un tema sempre più affrontato e posto al centro, grazie anche alla maggior sensibilità dei **consumatori**.

Da qualche tempo, i consumatori stanno acquisendo una certa **consapevolezza** in merito, nel senso che prima di acquistare un certo prodotto, magari si interrogano sulla storia o su quanto abbia macchiato l'ambiente per realizzarsi.



Figura 28 Calzature in vendita

Inoltre, le scelte dei consumatori sono sempre più prese con un risvolto **etico** perché si sta diffondendo la conoscenza delle realtà di **sfruttamento di manodopera** (anche minorile) a prezzo irrisorio nelle aree più sfortunate e povere del mondo e si sta acquisendo la consapevolezza che la scelta di un certo bene (piuttosto che di un altro) porta con sé un certo impoverimento delle risorse ambientali quindi durante l'acquisto scendono in campo prudenza e ragionevolezza.

Ormai colui che acquista è informato e tende ad esserlo sempre di più. Si tratta di un importante fenomeno sociale, che si è fatto strada nel cuore del settore calzaturiero, diffondendo la convinzione che solamente da nuovi modelli di business e da progetti condivisi, che intervengono sulla sostenibilità di materie prime, accessori, logistica, processi produttivi e/o distributivi, packaging e fine vita, possa nascere una calzatura più sostenibile.

Questo cambio di rotta verso la sostenibilità, ad esempio nel settore calzaturiero, è anche la conseguenza dalle norme vigenti che vincolano la tutela dell'ambiente e della sicurezza sul lavoro, a livello sia nazionale sia internazionale. Infine, sono rilevanti le pressioni esercitate dalle comunità locali, soprattutto in quei distretti dove una forte concentrazione di piccole e medie imprese ha gridato l'esigenza di intervenire sui fenomeni d'inquinamento.

3 Caso studio Eso Recycling

Lo studio è stato reso possibile dalla collaborazione tra l'Università Politecnica delle Marche e la società benefit ¹⁸ Eso Recycling, per svolgere una valutazione dal punto di vista ambientale tra l'auspicato processo di riciclo delle calzature, messo in atto nell'impianto dell'azienda, e gli indesiderati scenari di smaltimento in discarica oppure incenerimento. Il confronto parte dall'applicazione dei concetti della metodologia Life Cycle Assessment e grazie al supporto del software SimaPro, che mette a disposizione il database Ecoinvent e il metodo di calcolo EF Method (adapted), si giunge a una panoramica ambientale caratterizzata sia da valori numerici sia da interpretazioni grafiche.

3.1 Descrizione dell'azienda

L'odierno concetto di economia circolare considera sistema economico e sistema ecologico, non più come due entità separate che si scambiano materie prime e rifiuti, ma li pone in una relazione circolare, dove i prodotti di oggi diventano le risorse di domani perché vengono recuperati il più possibile, minimizzando gli scarti e di conseguenza l'impatto ambientale.

Eso Recycling si posiziona all'interno di questo flusso innovativo dimostrando la sostenibilità economica di un nuovo modello di trasformazione delle risorse.



Figura 29 Logo Eso Recycling

¹⁸ Mentre le società tradizionali esistono con l'unico scopo di distribuire dividendi agli azionisti, le società benefit integrano nel proprio oggetto sociale, oltre agli obiettivi di profitto, lo scopo di avere un impatto positivo sulla società e sulla biosfera.

L'azienda nasce nel 2018 affondando le sue radici in un'idea di **Nicolas Meletiou**, imprenditore che, con esperienza ventennale nell'ambito della raccolta e del riciclo dei rifiuti da ufficio, ha sempre creduto che i rifiuti possano essere valorizzati per diventare risorse. Da appassionato runner, Meletiou già nel 2009 avvia con il progetto *EsoSport*, un servizio dedicato al recupero sostenibile delle scarpe da corsa esauste, e con il passare del tempo, l'imprenditore allarga la raccolta anche a palline da tennis e padel, copertoni e camere d'aria delle biciclette, e indumenti da lavoro, su tutto il territorio nazionale. Inoltre, nel 2018 con il più recente progetto *Back to work* si assiste anche alla raccolta e al riciclo di scarpe antinfortunistiche e di dispositivi di protezione individuale (DPI), fondamentali per la sicurezza dei lavoratori.

La missione di Eso Recycling consiste nella **re-immissione** sul mercato di tutti quei materiali che risulterebbero degli scarti, ma che in realtà possono avere una seconda vita, sotto forma di nuovi prodotti, in modo tale da ridurre l'impatto ambientale e **deviare** i materiali dal flusso delle discariche o degli inceneritori, verso un processo virtuoso, che recupera e ricicla, il cui output corrisponde alla cosiddetta **materia prima seconda** e a nuovi **progetti urbani** come pavimentazioni antitrauma per i parchi giochi per bambini (progetto *Il Giardino di Betty*), piste di atletica (progetto *La pista di Pietro*) e impianti sportivi, quindi si presta particolare attenzione anche al contesto sociale.



Figura 30 Materia prima seconda

Eso Recycling gestisce l'intera **filiera integrata**, dalla raccolta in tutta Italia con la logistica di *ESO*, passando per la presenza sul territorio di *Esosport*, fino alla realizzazione del prodotto nell'impianto. Inoltre, il servizio *ESOWeb* permette di tracciare e controllare il viaggio dei rifiuti, identificandoli con un QR Code che li accompagna fino al sito di lavorazione.



Figura 31 Filiera integrata di Eso Recycling

3.1.1 Processo che devia dagli scenari di discarica e incenerimento

Nell'ambito della gestione dei rifiuti, le imprese lamentano **difficoltà**, per i crescenti tempi di ritiro da parte degli operatori e la significativa lievitazione dei costi di gestione. La principale ragione coincide nella carenza di impianti adatti per dimensioni, numero e tecnologia di trasformazione dei rifiuti.

Eso Recycling rappresenta una start up innovativa che, nel 2022, grazie a un progetto di *crowdfunding*¹⁹, ha concretizzato la costruzione del primo impianto in Italia per il riciclo di rifiuti sportivi e DPI, precisamente a **Tolentino** (MC) nelle Marche. Le prospettive dell'azienda prevedono una serie di impianti, dislocati su tutto il suolo italiano, che contribuiranno alla creazione di posti di lavoro e ad aumentare la

¹⁹ Strumento di raccolta fondi, con lo scopo di cercare sostenitori per il finanziamento di progetti, basato non tanto sulla ricerca di grandi capitali, ma piuttosto sulla contribuzione di piccoli e medi donatori, finanziatori, tramite una piattaforma digitale.

consapevolezza del ruolo cruciale che l'uomo svolge nell'attività di tutela e preservazione dell'ambiente.

Nello stabilimento di Tolentino, l'impianto “**Amato Cannara**” occupa una superficie di 700 m² interni e 2.400 m² esterni, ed è composto da 2 linee: una è dedicata al **riciclo**, mentre l'altra all'attività di **trasformazione** della materia prima seconda, proveniente dalla prima linea, per ottenere nuovi prodotti destinati al mercato.



Figura 32 Apparecchiature dell'impianto

Attraverso le fasi di triturazione e separazione dei granuli misti nei componenti di origine (gomma, tessile, plastica, pelle, metalli ferrosi e non ferrosi), si ottiene la materia prima seconda e, successivamente alla fase di stampaggio, i prodotti finiti. Precisamente, la separazione dei materiali avviene mediante avanzate tecnologie aerauliche e magnetiche, che consentono di estrarre la componente metallica dai prodotti così da isolarli e avviarli al recupero in maniera differenziata. La tela e gli altri materiali più leggeri della gomma vengono separati attraverso la ventilazione forzata e raccolti con un filtro. Solitamente, la tela viene impiegata per pannelli fonoassorbenti utili nel settore dell'edilizia, mentre i metalli vengono consegnati ad aziende specializzate per il loro recupero. Ultima ma non per importanza, la **gomma** delle calzature, spesso sneakers, uno dei principali materiali sottoposti al processo di riciclo dell'impianto, viene triturata in granuli del diametro di 3-5 mm, successivamente impiegati per la realizzazione di piastrelle 50x50 cm oppure amalgamati con una resina per ottenere una pavimentazione, ovviamente in gomma, con funzionalità antitrauma.

Problematica introdotta nel precedente capitolo, ogni anno a livello globale si producono circa 24 miliardi di paia di scarpe e il 90% delle vecchie calzature vengono gettate per finire nelle discariche, dove impiegano anni per degradarsi, o negli inceneritori, principalmente perché il ritmo di introduzione di calzature nel mercato, ovvero la frequenza con cui vengono rese disponibili ai consumatori, non viene assolutamente bilanciato dalle lunghe tempistiche per il riciclo e questa differenza viene rimarcata dalla carenza di soluzioni e/o tecniche di riciclo.



Figura 33 Scarpe in attesa di seconda vita

Se da un lato ci sono i materiali naturali tendono a decomporsi rapidamente, ad esempio il cotone impiega circa 6 mesi mentre la pelle richiede dai 20 ai 40 anni, dall'altra parte c'è il fatto che la maggior parte delle scarpe indossate quotidianamente contiene componenti a base plastica, che sopravvivono molto più a lungo e in ogni caso si tratta di tempi e condizioni che l'ambiente non è più in grado di sostenere.

Altra questione citata in precedenza è che queste scarpe realizzate in pelle, tessuto e polimeri (che tardano a degradarsi), rappresentano un mix di materiali difficili da separare e riutilizzare.

Uno dei due percorsi scartati, grazie al processo Eso Recycling, è rappresentato dall'**incenerimento**. Gli inceneritori sono complessi deputati appunto all'incenerimento, tramite combustione, dei rifiuti. Gli obiettivi di un inceneritore

essenzialmente sono due eliminare i rifiuti utilizzandoli come combustibili e produrre energia con il calore derivante dalla combustione.

Il secondo obiettivo fa scendere in campo il termine *termovalorizzatori*, spesso, in maniera impropria e fuorviante: la quantità energetica ricavabile dal processo di combustione dei rifiuti è di molto inferiore al rendimento di qualsiasi centrale elettrica tradizionale e inoltre, l'intero processo di incenerimento (dalla raccolta allo smaltimento delle ceneri di scarto) consuma molta più energia di quanta ne occorrerebbe valorizzando il rifiuto con il riuso (raccolta differenziata, trattamento e riciclo).

Portando attenzione sulla strumentalità di questo termine in parallelo, l'*Accademia della Crusca* si è espressa sostenendo che “questo spostamento semantico” viene “appoggiato dall'intenzione, da parte di produttori degli impianti e di amministratori, di allontanare nell'opinione pubblica l'idea della pericolosità ambientale e sottolineare il richiamo al valore dell'energia prodotta”.

Il funzionamento di un inceneritore si scompone in 6 fasi:

1. **Movimentazione dei rifiuti**, provenienti dagli impianti di selezione del territorio, nel senso che vengono prima stoccati in un'area dell'impianto dotata di sistema di aspirazione, per evitare il disperdersi di cattivi odori, e poi vengono depositati nel forno mediante gru;
2. **Combustione**, durante la quale si ha un continuo movimento dei rifiuti nel forno, essendo quest'ultimo dotato di griglie mobili, e viene immessa una corrente d'aria forzata per apportare la necessaria quantità di ossigeno che migliora il processo ²⁰;
3. **Produzione del vapore**, perché l'acqua in circolazione nella caldaia posta a valle, viene portata a vaporizzazione dalla forte emissione di calore;

²⁰ Qualora il potere calorifico del combustibile sia basso, viene immesso gas metano.

4. **Produzione di energia elettrica**, perché il vapore generato mette in movimento una turbina che, accoppiata ad un motoriduttore ed alternatore, trasforma l'energia termica in energia elettrica;
5. **Estrazione delle ceneri**, dove le scorie, raffreddate tramite raccolta in una vasca piena d'acqua, sono estratte e smaltite in discariche speciali, mentre le polveri fini intercettate dai sistemi di filtrazione sono normalmente classificate come rifiuti speciali pericolosi;
6. **Trattamento dei fumi**, nel senso che, dopo la combustione, i fumi caldi passano in un sistema di controllo multistadio (di filtraggio) per l'abbattimento del contenuto di agenti inquinanti, sia chimici che solidi, e una volta raggiunto l'opportuno grado di trattamento, questi fumi vengono rilasciati in atmosfera a circa 130-140° C.

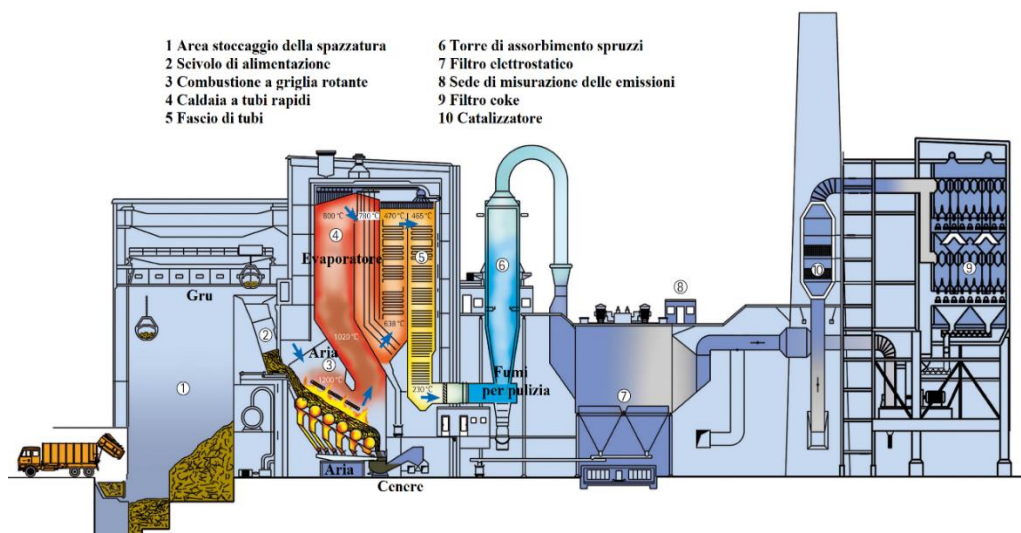


Figura 34 Schema di un inceneritore

Come rileva uno studio condotto dall'*Ispra*²¹, gli impianti di incenerimento, di ultima generazione, recuperano sotto forma di energia elettrica l'85% del calore prodotto dalla

²¹ Acronimo di Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, è un ente pubblico di ricerca.

combustione dei rifiuti, ma in ogni caso, trattandosi di impianti industriali, gli effetti emissivi sono quelli tipici di un processo di combustione in termini di microinquinanti (tra cui IPA ²² e diossine), macroinquinanti (tra cui NH₃) e particolato (PM10). Per valutare qualitativamente l'impatto ambientale degli inceneritori, è opportuno riflettere sul fatto che tali impianti operano costantemente 24 ore su 24 nell'arco di un intero anno, ad eccezione degli eventuali momenti per attività di manutenzione. In questo modo, ogni inceneritore comporta l'immissione in atmosfera di polveri finissime e milioni di m³ di fumi tossici al giorno, che prendono di mira e danneggiano la salute umana.

Il secondo scenario, evitato dal processo Eso Recycling, è rappresentato dalla **discarica** ovvero il luogo dove vengono depositati in modo non differenziato i rifiuti solidi urbani e tutti i rifiuti provenienti dalle attività umane. Purtroppo, secondo i dati 2021 di *Ispira*, in Italia la percentuale di rifiuti indifferenziati che finisce in discarica è ancora piuttosto alta, esattamente il 21% sul totale prodotto, che equivale a circa 6 milioni di tonnellate/anno.

La normativa italiana distingue tra **discarica per rifiuti inerti**, **discarica per rifiuti non pericolosi** (tra cui i rifiuti solidi urbani RSU) e **discarica per rifiuti pericolosi** (tra cui ceneri e scarti degli inceneritori). Inoltre, l'Unione Europea ha stabilito, con la *direttiva 99/31/CE*, che in discarica debbano finire solo materiali a basso contenuto di carbonio organico e materiali non riciclabili, quindi, dando priorità al recupero, la direttiva prevede il compostaggio ed il riciclo quali strategie primarie per lo smaltimento dei rifiuti.

I residui di molti rifiuti, soprattutto di RSU organici, restano attivi per oltre 30 anni e, attraverso i naturali processi di decomposizione anaerobica, producono numerosi

²² Idrocarburi aromatici policiclici, sono un gruppo di sostanze dotate di attività cancerogena/mutagena.

liquami (percolato) altamente contaminanti per il terreno e le falde acquifere. Dal punto di vista delle emissioni in atmosfera di gas responsabili dei cambiamenti climatici, le discariche risultano nocive se il rifiuto non viene preventivamente differenziato e purtroppo questa situazione è molto frequente. Poiché rifiuti in discarica provocano emissioni ad alto contenuto di CH₄ e CO₂, due gas serra molto attivi, una moderna discarica deve assicurare la presenza di opportuni sistemi di captazione. Le emissioni di gas possono essere ridotte mediante tecniche costruttive specifiche e con il pretrattamento dei rifiuti: in particolare la raccolta differenziata della frazione umida e della componente riciclabile.

Una discarica controllata moderna deve essere realizzata secondo una struttura a **barriera geologica** in modo da isolare i rifiuti dal suolo e in grado di riutilizzare i biogas prodotti come combustibile per generare energia. Se la discarica è progettata e costruita correttamente, i rifiuti devono comunque rimanere sotto osservazione per almeno 30 anni dopo la sua chiusura, ma nel frattempo l'area è utilizzabile per altri scopi, ad esempio la piantumazione ²³.

Una moderna discarica controllata deve prevedere:

- **Estrazione, gestione e controllo del biogas**, perché il biogas rappresenta il prodotto finale della degradazione microbica della materia organica, in assenza d'aria, che si verifica all'interno di una discarica, e si tratta di un gas composto prevalentemente di metano e anidride carbonica, che richiede settimanali analisi di qualità, e la sua estrazione (aspirazione) avviene mediante pozzi verticali posizionati nel corpo della discarica, che lo inviano ad una centrale di cogenerazione, in altre parole, è diretto a motori in grado di azionare gruppi elettrogeni;

²³ Messa a dimora di piante ornamentali.

- **Estrazione, gestione e controllo del percolato**, nel senso che il percolato, ovvero il liquido che si genera a seguito dei processi di lisciviazione e fermentazione all'interno di una discarica, viene estratto da pozzi di captazione attraverso pompe, che lo indirizzano in cisterne di stoccaggio, in attesa di un successivo smaltimento in impianti specializzati;
- **Monitoraggio acqua di falda**, tramite pozzi piezometrici posti lungo il perimetro della discarica;
- **Biofiltro**, precisamente un filtro di grandi dimensioni, riempito di compost e corteccia vegetale, utilizzato per il trattamento delle emissioni gassose provenienti dagli impianti di selezione e, soprattutto, dagli impianti di biossidazione ²⁴.

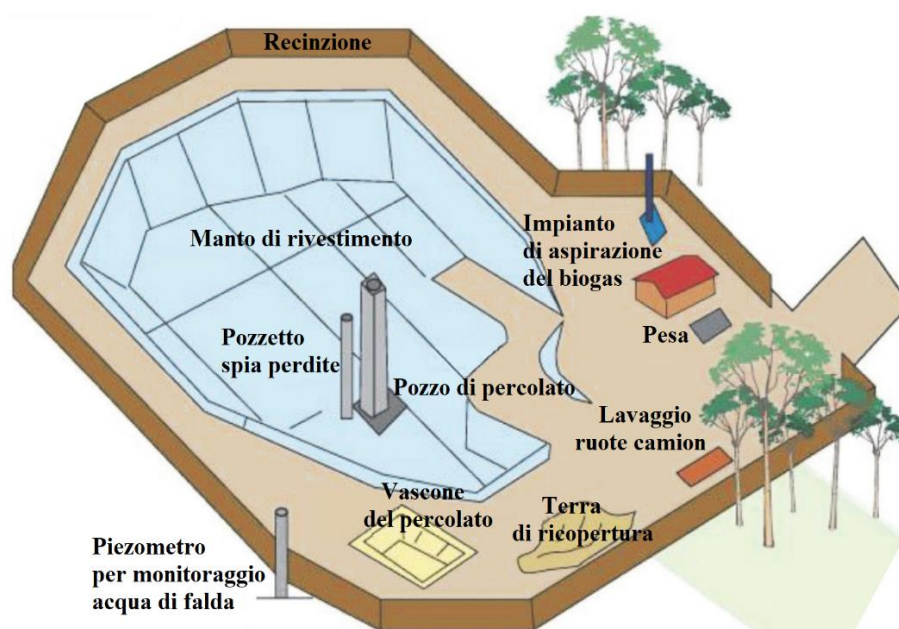


Figura 35 Schema di una discarica moderna controllata

Agli scenari appena descritti, è doveroso affiancare una valutazione, spesso trascurata, circa le immissioni di gas inquinanti che derivano dal **trasporto delle calzature**.

²⁴ Impianti di trattamento del rifiuto organico.

Infatti, più che per altri settori produttivi, il trasporto è un aspetto fondamentale nel settore calzaturiero, dal momento che la maggior parte delle grandi aziende produttrici scelgono di allestire fabbriche in Paesi dove la manodopera risulta a basso, per meglio dire bassissimo, costo, con la conseguente necessità di distribuire, in un secondo momento, le calzature nei diversi mercati internazionali.

Al di là del luogo d'origine e della distribuzione, il trasporto è un elemento che interviene anche tra le altre fasi del ciclo di vita delle calzature, basti pensare ai due terminali trasporti del cerchio vitale, il primo che accompagna questi prodotti esausti verso il sito di stoccaggio dell'impianto di Eso Recycling e il secondo che li re-immette in circolazione per dare il via alla loro seconda vita. Per esattezza, il processo di Eso Recycling prevede anche un trasporto dal sito di stoccaggio all'impianto vero e proprio (sito di produzione di materia prima seconda), infatti nell'analisi si considerano e si associano flussi con diversi impatti a questi trasporti.

3.2 Obiettivo e confini del sistema

Introdotta ad inizio capitolo, l'obiettivo di questo caso studio è la valutazione degli impatti ambientali che derivano dal processo di riciclo Eso Recycling e dagli scenari di smaltimento in discarica oppure incenerimento, mediante una comparazione **quantitativa**, basata sui risultati ottenuti dall'esecuzione del software Simapro.

Per quanto riguarda i confini del sistema, il confronto degli impatti interessa diverse fasi del ciclo di vita dei prodotti, infatti, per la modellazione degli scenari di smaltimento in discarica o incenerimento occorre operare nella **fase fine vita**, dove si trattano le calzature esauste come rifiuti, mentre, per l'innovativa visione di Eso Recycling descritta in precedenza, per modellare il complesso processo di riciclo si fa riferimento alla **fase produzione**, dove dalla lavorazione degli scarti si ottiene la cosiddetta *materia prima seconda*, quindi, le calzature vengono modellate come risorse.

3.3 Analisi dell'inventario

L'analisi dell'inventario, che normalmente richiede maggior tempo e maggiori risorse per garantire un'adeguata accuratezza, è stata svolta ricorrendo a frequenti scambi di informazioni con l'azienda, e l'originario *file Excel* fornito in input dall'azienda, dove devono essere presenti tutti i dati necessari per l'analisi, a seguito di qualche perfezionamento e/o incremento di grado di dettaglio, ha raggiunto la stesura definitiva, caratterizzata da 2 tabelle (tabelle 3-4):

- la *Bill of Materials (BOM)* che contiene tutti i componenti da valutare, specificando quantità, massa, luogo d'origine, mezzo di trasporto e composizione chimica;

Nome	Quantità	Massa [kg]	Luogo d'origine [km]	Mezzo di trasporto	Composizione chimica [%]
<i>Scarpe</i>	365	365	255	Camion	Gomma 64%; Pelle-Tessuto 36%;
<i>Suole scarpe</i>	9444	7020	285	Camion	Gomma 48%; Eva 32%; Cellulosa 20%
<i>Grucce</i>	561	561	255	Camion	ABS 97%; Feltro 2%; Ferro 0,5%; Legno 0,5%
<i>Accessori</i>	2252	2252	255	Camion	ABS 97%; Ferro 3%
<i>Imballo</i>	2474	2474	285	Camion	Cartone 100%

Tabella 3 BOM dell'azienda

- la *Manufacturing Bill of Materials (MBOM)* contenente valori strettamente connessi al processo interno dell'impianto, ad esempio consumi di trasporto ed energia.

imballo) che a meno del processo Eso Recycling verrebbero smaltiti in discarica oppure incenerimento.

Il **processo di riciclo** è stato modellato rispettando i dati di trasporto verso l'impianto e consumo energetico, forniti dall'azienda. Per quanto riguarda gli scenari di fine vita, sia la discarica sia l'incenerimento sono stati modellati ex-novo e poiché Simapro chiede di specificare il destinatario di questi scenari, è stata creata la voce *Set Calzatura*, che richiama tutti i componenti dell'assemblaggio, ciascuno con le sue quantità e composizione chimica.

Per lo smaltimento in **discarica**, è stato ipotizzato che l'80% dell'imballo, essendo realizzato interamente in cartone, è destinato al riciclo, mentre, la quota parte restante e gli altri componenti hanno fine vita coincidente appunto con la discarica.

Specifiche del rifiuto	Quantità fisica	Unità di mi
Smaltimento in discarica	1	kg
Input		
Input noti da tecnosfera (materiali/combustibili)	Quantità fisica	
(Inserisci linea qui)		
Input noti da tecnosfera (elettricità/calore)		
(Inserisci linea qui)		
Output		
I tipi di materiale e/o rifiuto sono separati dallo stream rifiuto	Tipo di Materiale / Rifiuto	Percentuale Comment
Core board (waste treatment) (GLO) recycling of core board Cut-off, U	Paper	80 %
Waste plastic, mixture (RoW) treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill Cut-off	All waste types	100 %
(Inserisci linea qui)		
Flussi di rifiuto rimasti dopo la separazione	Percentuale	Commento
Waste paperboard (RoW) treatment of, sani	100 %	
(Inserisci linea qui)		

Figura 36 Particolare di scheda input-output Discarica

Per lo smaltimento in **incenerimento**, restano valide le stesse considerazioni su quantità e/o proporzioni, ed è stato selezionato un dataset specifico, rappresentante lo smaltimento dei rifiuti solidi urbani con annesso riferimento geografico italiano.

Specifica del rifiuto	Quantità fisica	Unità di mi	
Smaltimento in incenerimento	1	kg	
Input			
Input noti da tecnosfera (materiali/combustibili)	Quantità fisica		
(Inserisci linea qui)			
Input noti da tecnosfera (elettricità/calore)			
(Inserisci linea qui)			
Output			
I tipi di materiale e/o rifiuto sono separati dallo stream rifiuto	Tipo di Materiale / Rifiuto	Percentuale	Commenti
Core board (waste treatment) (GLO) recycling of core board Cut-off, U	Paper	80 %	
Municipal solid waste (IT) treatment of, incineration Cut-off, U	All waste types	100 %	
(Inserisci linea qui)			
Flussi di rifiuto rimasti dopo la separazione	Percentuale	Commento	
Inert waste (Europe without Switzerland) tre	100 %		
(Inserisci linea qui)			

Figura 37 Particolare di scheda input-output Incenerimento

3.3.1 Assunzioni

Poiché alcuni dati non sono stati forniti direttamente, per ultimare la modellazione, quelli mancanti e necessari, sono stati dedotti effettuando calcoli specifici o andando a ricercare informazioni in letteratura scientifica.

Nel dettaglio, sono state fatte le seguenti assunzioni: per quanto riguarda i **trasporti**, sono stati scelti trasporti nazionali-europei su gomma di *camion Euro 3 merci 16-32 tonnellate*; per modellare la composizione chimica delle **grucce** è stato necessario un calcolo indiretto per ricavare la quota parte di legno richiesta in m³, assumendo una densità media del compensato di 600 kg/m³; la **pelle**, che compone le scarpe, a causa di *limiti intrinseci* al software e/o alla disponibilità di dataset, è stata modellata come tessuto scegliendo *textile non-woven polyester {GLO} | market | cut off*, per il suo confrontabile impatto di fine vita, in modo tale da consentire il proseguimento dell'analisi fino agli attesi risultati numerici.

3.4 Calcolo degli impatti

Una volta completata la modellazione della struttura ad albero, si lancia la simulazione e l'analisi degli impatti ambientali, in modo tale da quantificarli secondo il criterio del metodo di calcolo **EF Method (adapted)**.

Per realizzare un confronto tangibile fra gli scenari di riciclo, discarica e incenerimento, innanzitutto, per quanto riguarda i vari materiali, è stata focalizzata l'attenzione sull'impatto del loro trasporto verso il sito di stoccaggio. Del processo Eso Recycling, invece, è stato lanciato il calcolo degli impatti dell'energia consumata e del trasporto verso l'impianto, quindi per il finale confronto, è necessaria una somma tra queste 2 voci, strettamente connesse al processo, e i trasporti iniziali dei materiali. Di seguito, si riportano i risultati degli impatti dei trasporti verso il sito di stoccaggio, (tabella 5):

Categoria d'impatto	Unità di misura	Accessori	Grucce	Imballo	Scarpe	Suole
Climate change	kg CO2 eq	95,683871	23,835991	117,482919	15,508265	333,358969
Ozone depletion	kg CFC11 eq	0,000022	0,000005	0,000027	0,000004	0,000076
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	7,489875	1,865817	9,196246	1,213945	26,094441
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	0,766917	0,191048	0,941638	0,124300	2,671908
Respiratory inorganics	disease inc.	0,000010	0,000002	0,000012	0,000002	0,000034
Non-cancer human health effects	CTUh	0,000015	0,000004	0,000018	0,000002	0,000052
Cancer human health effects	CTUh	0,000001	0,000000	0,000001	0,000000	0,000003
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	0,654025	0,162925	0,803028	0,106003	2,278599
Eutrophication freshwater	kg P eq	0,007020	0,001749	0,008619	0,001138	0,024458
Eutrophication marine	kg N eq	0,254833	0,063482	0,312889	0,041303	0,887827
Eutrophication terrestrial	mol N eq	2,789469	0,694890	3,424976	0,452112	9,718404
Ecotoxicity freshwater	CTUe	241,642778	60,196092	296,694716	39,165015	841,874249
Land use	Pt	1460,104788	363,729482	1792,751179	236,651089	5086,949601
Water scarcity	m3 depriv.	4,018919	1,001161	4,934524	0,651379	14,001762
Resource use, energy carriers	MJ	1455,059645	362,472680	1786,556644	235,833384	5069,372532
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	0,002591	0,000645	0,003181	0,000420	0,009027

Tabella 5 Impatti trasporto verso il sito di stoccaggio

A questo punto, si mostrano gli impatti dello scenario di riciclo Eso Recycling, precisamente quelli dell'*internal process* (sia totali sia suddivisi in energia consumata e trasporto verso l'impianto), dell'intera filiera e dell'intero trasporto (tabella 6):

Categoria d'impatto	Unità di misura	Energia	Trasporto verso l'impianto	Totale del processo	Totale dei trasporti	Totale della filiera
Climate change	kg CO2 eq	4285,57873	708,62150	4994,20023	1294,49151	5580,07024
Ozone depletion	kg CFC11 eq	0,00036	0,00016	0,00052	0,00030	0,00066
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	2351,95839	55,46898	2407,42737	101,32931	2453,28769
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	9,52775	5,67968	15,20743	10,37549	19,90324
Respiratory inorganics	disease inc.	0,00006	0,00007	0,00014	0,00013	0,00020
Non-cancer human health effects	CTUh	0,00045	0,00011	0,00056	0,000202	0,00065
Cancer human health effects	CTUh	0,00004	0,00001	0,00004	0,00001	0,00005
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	23,63085	4,84362	28,47447	8,84820	32,47905
Eutrophication freshwater	kg P eq	4,18200	0,05199	4,23399	0,09497	4,27698
Eutrophication marine	kg N eq	4,00982	1,88725	5,89707	3,44759	7,45741
Eutrophication terrestrial	Mol N eq	37,93630	20,65842	58,59472	37,73827	75,67457
Ecotoxicity freshwater	CTUe	1214,36693	1789,57295	3003,93987	3269,145796	4483,51272
Land use	Pt	40782,05967	10813,33385	51595,39352	19753,51999	60535,57966
Water scarcity	m3 depriv.	945,56776	29,76356	975,33132	54,37130	999,93906
Resource use, energy carriers	MJ	88061,94408	10775,97033	98837,91441	19685,26521	107747,20929
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	0,01302	0,01919	0,03221	0,03505	0,04808

Tabella 6 Impatti Eso Recycling

Infine, si presentano separatamente gli impatti degli scenari di smaltimento in discarica e incenerimento (tabella 7):

Categoria d'impatto	Unità di misura	Discarica	Incenerimento
Climate change	kg CO2 eq	1485,954684	6594,321051
Ozone depletion	kg CFC11 eq	0,000042	0,000053
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	15,916528	17,095542
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	1,582499	4,309906
Respiratory inorganics	disease inc.	0,000022	0,000033
Non-cancer human health effects	CTUh	0,000017	0,000658
Cancer human health effects	CTUh	0,000002	0,000110
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	1,232802	3,893785
Eutrophication freshwater	kg P eq	0,024872	0,489313
Eutrophication marine	kg N eq	27,101976	2,033187
Eutrophication terrestrial	mol N eq	4,433461	17,358239
Ecotoxicity freshwater	CTUe	425,172099	29558,480178
Land use	Pt	11467,859590	3599,636446
Water scarcity	m3 depriv.	137,050812	607,116398
Resource use, energy carriers	MJ	3245,956773	4120,801113
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	0,001456	0,003679

Tabella 7 Impatti discarica e incenerimento

3.5 Interpretazione dei risultati

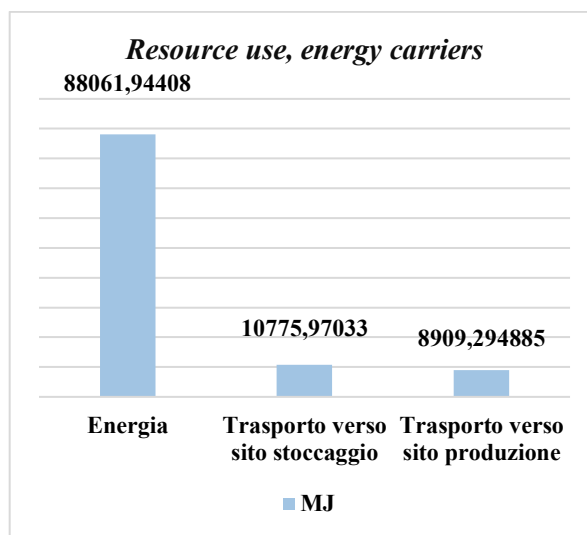


Grafico 9 Resource use, energy carriers

Dall'analisi dell'*internal process* dell'azienda, emerge che la pianificazione di futuri interventi di miglioramento e/o ottimizzazione dovrebbe focalizzarsi non tanto sui trasporti, quanto sul consumo energetico dell'impianto, perché l'elevato valore di MJ, mangiato dal processo e presente sul grafico, con quasi un ordine di grandezza di scarto con le voci dei trasporti, dimostra che le varie fasi di trasformazione, che passano per triturazione e separazione, sono particolarmente energivore, impattando con un'entità certamente non trascurabile.

Un miglioramento del processo Eso Recycling potrebbe passare tramite una valutazione dell'ipotesi di utilizzo di energie rinnovabili, in quanto l'attuale mix energetico nazionale è la vera causa di tutto ciò e, nello specifico, si nota come la produzione di energia elettrica derivante da materia fossile sia la principale fonte di kg CO₂ equivalente.

Dunque, l'eventuale disponibilità di fonti rinnovabili per autoprodurre energia elettrica, potrebbe ridurre notevolmente l'impatto ambientale, ad esempio, ricorrendo alla più

accessibile energia fotovoltaica con l'utilizzo di pannelli solari, ma in quest'ottica, è opportuno citare anche le altre soluzioni principali:

- l'**energia geotermica**, che mediante idonee tubazioni sfrutta il calore naturale presente all'interno della Terra;
- l'**energia eolica**, che con le pale trae beneficio dalle masse d'aria in movimento;
- le **biomasse** che sfruttano materiali organici di scarto, di natura sia vegetale sia animale.

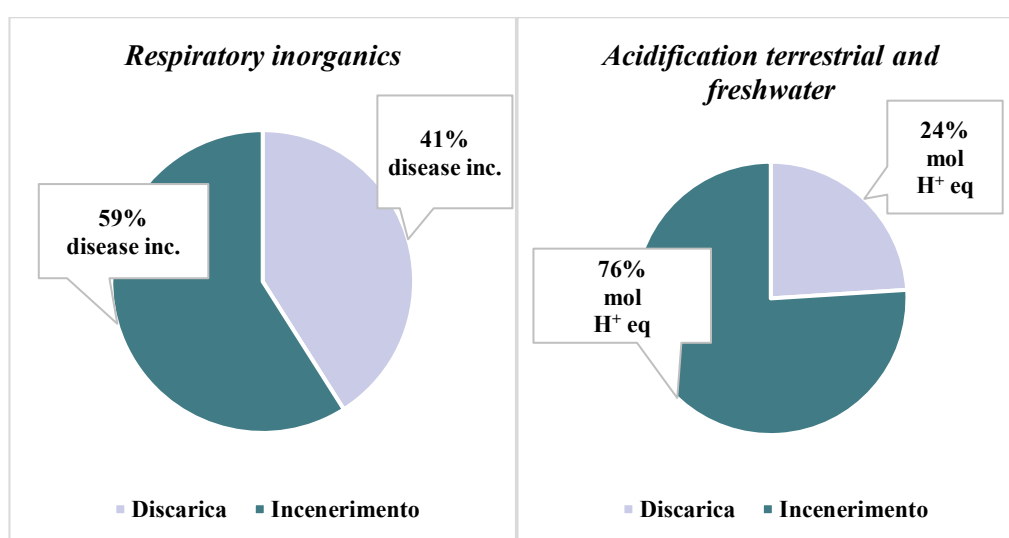


Grafico 10 Respiratory inorganics - Acidification terrestrial and freshwater

Dai grafici che confrontano la discarica, che dovrebbe essere destinata solamente ai materiali che non possono essere sottoposti ad altri trattamenti, e l'incenerimento, che tratta termicamente i rifiuti, emerge che quest'ultimo scenario, proprio per la sua natura di processo di combustione, comporta una maggiore emissione di sostanze inquinanti nell'ambiente (*Respiratory inorganics*) pari al 59% in linea con quanto descritto nei precedenti paragrafi, dove si è presentato l'incenerimento come sorgente di gas acidi, diossine, composti organici, metalli pesanti e particolato. Infatti, anche per quanto riguarda l'acidificazione ambientale (*Acidification terrestrial and freshwater*), questo fenomeno è attribuito per il 76% all'incenerimento, visto che le emissioni di NO_x, SO_x e

NH₃, andandosi a depositare nelle acque e nel suolo, determinano l'incremento della concentrazione di ioni idrogeno e quindi l'aumento dell'acidità.

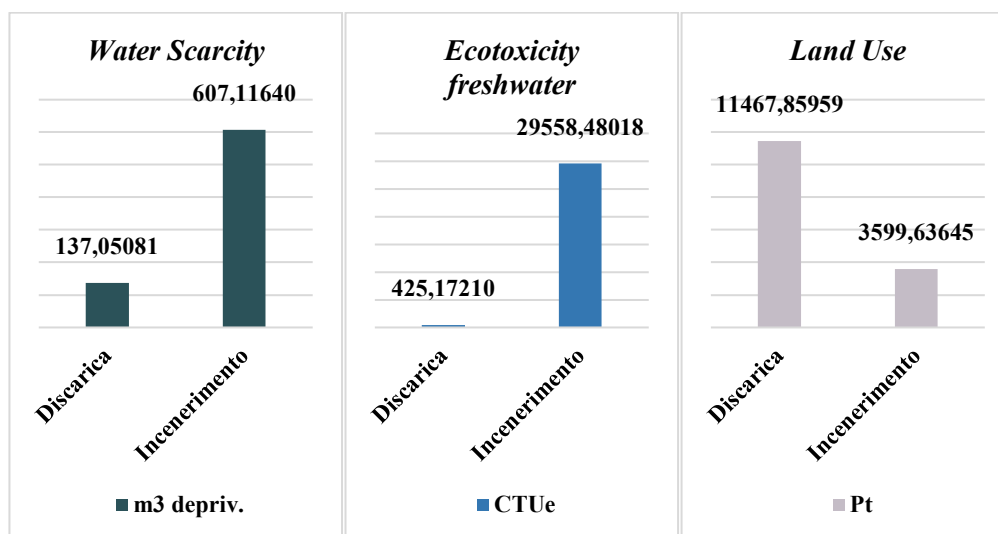


Grafico 11 Water scarcity - Ecotoxicity freshwater - Land Use

Inoltre, a causa dell'enorme quantità di acqua consumata dal processo di incenerimento, in parte evaporata dal calore mentre circola in caldaia, in parte inquinata e quindi necessariamente da depurare per non compromettere l'ecosistema degli organismi viventi in acqua dolce, emerge dai grafici una netta discrepanza con i valori della discarica sia in termini di consumo idrico (*Water scarcity*) sia in termini di tossicità dell'acqua (*Ecotoxicity freshwater*) con il carico ambientale maggiore sempre attribuito all'incenerimento. Infine, dall'analisi dell'uso del suolo (*Land Use*), e si ricorda che il suo utilizzo non fa riferimento solamente alla superficie occupata, ma anche alla sua trasformazione che ne deriva nel senso di pericolo per la fertilità del suolo stesso e la sopravvivenza di alcune specie di animali e piante, si nota che il maggior impatto ambientale è rappresentato dalla discarica, nonostante, ad esempio, lo spazio richiesto per lo stoccaggio dei rifiuti in un inceneritore.

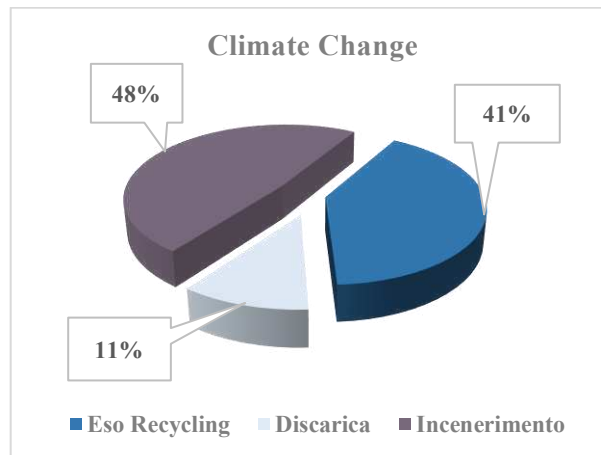


Grafico 12 Climate change

In generale, le quantità di kg CO₂ equivalenti, come quelle presenti nel grafico, consentono di monitorare il percorso che l'uomo sta seguendo in termini di risoluzione del problema climatico: l'**effetto serra** è il fenomeno di regolazione della temperatura del pianeta, consentito dalla presenza dell'atmosfera, infatti, consiste nell'accumulo, all'interno dell'atmosfera, di una parte dell'energia termica proveniente dal sole, ad opera dei cosiddetti *gas serra* che svolgono una funzione da tappo e da filtro. Se inteso come fenomeno naturale, l'effetto serra è essenziale per la presenza e lo sviluppo della vita sulla Terra, ma l'aumento dell'effetto serra provocato dall'intervento dell'uomo che altera lo standard equilibrio termico, sta portando col passare del tempo a mutamenti non trascurabili dal punto di vista ambientale. I gas serra possono essere di origine sia naturale sia antropica: il più importante gas di origine naturale è il vapore acqueo, ma le attività umane rilasciano grandi quantità di altri gas come anidride carbonica, metano e ossido di diazoto, che purtroppo incrementano l'effetto serra e il conseguente riscaldamento climatico. Il grafico mostra che il processo Eso Recycling si pone a metà strada tra gli scenari di discarica e incenerimento, e per cause riconducibili a limiti di accessibilità a dataset su misura, addirittura, il suo quantitativo di kg CO₂ equivalente è confrontabile con lo scenario più impattante, rappresentato dall'incenerimento.

Conclusion

L'analisi LCA svolta su diverse strade di fine vita dei prodotti, ha interposto il processo Eso Recycling tra gli scenari di discarica ed incenerimento, in una chiara posizione **intermedia**, se si fa riferimento al notorio parametro legato ai kg CO₂ equivalenti. Inoltre, l'analisi ha rispettato l'obiettivo di evidenziare sia i punti di forza sia i punti critici del processo di riciclo, così da consentire all'azienda di pianificare futuri interventi di miglioramento.

L'elevato impiego di vettori energetici da parte del processo, suggerisce l'intervento di **fonti rinnovabili**, e questo passaggio-investimento potrebbe essere accompagnato da una maggior **comunicazione** con i clienti, fornitori di rifiuti, dato che attualmente risulta complicato accompagnare il cliente durante la fase d'uso dei prodotti, nel senso che non si sfruttano preziosi scambi d'informazione favorendo, in molti casi, un destino dei materiali esausti coincidente con scenari più impattanti e pericolosi.

In quest'ottica, si ribadisce il ruolo chiave ricoperto dall'**etichettatura** dei prodotti, perché deve essere limpida e tale da includere ogni dettaglio riguardante gli impatti del ciclo di vita e/o lo smaltimento finale, ed infine, risulta opportuno insistere sulla divulgazione, con ogni mezzo, dei vantaggi del riutilizzo e del riciclo, inculcando una maggior consapevolezza nei consumatori, e tutto ciò può essere ottenuto solo attraverso **sforzi congiunti**, una totale collaborazione tra ricercatori, aziende, governo e consumatori.

Bibliografia e Sitografia

- [1] “About PVC.” ECVM. Accessed April 18, 2023.
<https://pvc.org/about-pvc/>.
- [2] “Come è Fatta Una Scarpa.” Accessed April 22, 2023.
<https://calzolaiosegrate.blogspot.com/2017/10/come-e-fatta-una-scarpa.html>.
- [3] “Cosa è Come è Fatta Una Discarica Controllata Moderna.” Educambiente. Accessed April 24, 2023.
<https://www.educambiente.tv/discarica-controllata-moderna>.
- [4] De Agostini, Redazione. “Le Risorse Naturali.” Accessed April 14, 2023.
<https://www.sapere.it/sapere/strumenti/studiafacile/geografia-economica/Le-risorse-naturali/Le-risorse-naturali.html>.
- [5] Ecoinvent. Accessed April 4, 2023.
<https://ecoinvent.org/>.
- [6] “Ecolabel UE.” Accessed April 16, 2023.
<https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/certificazioni/ecolabel-ue>.
- [7] Esorecycling. Accessed April 15, 2023.
<https://www.esorecycling.it/>.
- [8] Germani, Michele. “Gestione Del Ciclo Di Vita Del Prodotto.” Accessed March 31, 2023.
<https://learn.univpm.it/>.
- [9] “Impresasicura: La Sicurezza e La Salute Nel Settore Calzaturiero.” Accessed April 11, 2023.
<https://www.puntosicuro.it/artigianato-pmi-C-28/impresasicura-la-sicurezza-la-salute-nel-settore-calzaturiero-AR-14094/>.

- [10] “Impronta Ambientale, Ecco Le 4 Fasi Dell'Analisi Del Ciclo Di Vita (LCA).” Accessed March 30, 2023.
<https://greenreport.it/rubriche/impronta-ambientale-ecco-le-4-fasi-dellanalisi-del-ciclo-di-vita-lca/>.
- [11] “Inquinamento Ambientale: Suolo, Aria e Acqua.” BioEcoGeo. Accessed April 7, 2023.
<https://www.bioecogeo.com/inquinamento-ambientale-suolo-aria-e-acqua/>.
- [12] “The International EPD System.” Accessed April 21, 2023.
<https://www.environdec.com/home>.
- [13] “ISO 14040:2006.” ISO. Accessed March 28, 2023.
<https://www.iso.org/standard/37456.html>.
- [14] “ISO 14044:2006.” ISO. Accessed March 28, 2023.
<https://www.iso.org/standard/38498.html>.
- [15] “LCA Software for Informed Change-Makers.” Simapro. Accessed April 5, 2023.
<https://simapro.com/>.
- [16] “LCA.” Accessed April 24, 2023.
<https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/certificazioni/ipp/lca>.
- [17] MRIGlobal technological and Scientific Research. Accessed April 14, 2023.
<https://www.mriglobal.org/>.
- [18] Perinelli, Cristian. “Tessuti Biologici, Quali Sono e Perché Sceglierli ”. Vesti la natura. Accessed April 11, 2023.
<https://www.vestilanatura.it/tessuti-biologici/>.

[19] “Qual è L'impatto Ambientale Di Un Inceneritore.” Il Salvagente. Accessed April 21, 2023.

<https://ilsalvagente.it/2022/11/11/qual-e-l-impatto-ambientale-degli-inceneritori/>.

[20] Raboni, Andrea. “Cos'è L'impronta Ecologica: Quanti ‘Pianeti Terra’ Servono per Soddisfare i Nostri Bisogni?” Accessed April 12, 2023.

<https://www.geopop.it/cose-limpronta-ecologica-quant-pianeti-terra-servono-per-soddisfare-i-nostri-bisogni/>.

[21] “Riduco, Riutilizzo, Riciclo.: Lo Sviluppo Sostenibile.” Pearson. Accessed April 3, 2023.

<https://it.pearson.com/aree-disciplinari/storia/temi-attualita/riduco-riutilizzo-riciclo.html>.

[22] Sciencedirect: Explore scientific, technical, and medical research. Accessed April 2, 2023.

<http://www.sciencedirect.com/>.

[23] Society of Environmental Toxicology and Chemistry - SETAC. Accessed April 2, 2023.

<https://setac.org/>.

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare il professore **Michele Germani**, per avermi concesso l'opportunità di svolgere questo lavoro di tesi, di approfondire interessanti tematiche attuali e di sviluppare nuove competenze utili per il mio futuro lavorativo. Questo lavoro mi ha dato anche la possibilità di conoscere la professoressa **Marta Rossi**, che ringrazio, perché con la sua disponibilità e i suoi preziosi consigli, mi ha guidato anche durante il percorso di tirocinio, chiarendo ogni mio dubbio e rispondendo a ogni mia curiosità.

Un po' per la mia iniziale spensieratezza trascinata dall'età scolastica, un po' per la pandemia che ha stravolto la vita di tutti bloccandoci dentro casa, congelando rapporti, devo ammettere che il mio percorso universitario è stato intenso, ricco sia di soddisfazioni, sia di momenti dove è stato davvero difficile mantenere la concentrazione. Il bicchiere, comunque, lo vedo mezzo pieno.

Ringrazio la mia famiglia, babbo **Marco**, mamma **Emanuela** e mio fratello **Francesco**, perché sono stati l'unica costante, e spero che questo mio traguardo sia anche un premio per loro, per tutti i sacrifici fatti. Non mi hanno mai fatto mancare nulla. Questo percorso universitario è stato anche la dimostrazione, o forse, la conferma, che nella vita è bene sforzarsi di voler bene chi si ha intorno, ma poi, non bisogna pretendere nulla in cambio, anzi, bisogna essere in grado di cavarsela da soli in qualunque circostanza. Approfitto di queste righe per salutare e dire a mia nonna **Gabriella**, che purtroppo mi sta osservando dal cielo, che finalmente ce l'ho fatta. A nonna **Maria**, che ormai cieca può solo percepire la mia atmosfera di gioia, le mando un abbraccio, perché, sembrerà una banalità, ma non riuscendo a stare spesso insieme, già solo con il pensiero, sento di proteggerla. A questo punto, voglio ringraziare, e sì, non mi vergogno a dirlo, la mia micina **Emy**, forse il regalo più bello di sempre, una gattina salvata da anonima vita, che mi ha risollevato dal periodo più buio, triste e confuso della mia vita, facendomi

riordinare le idee, oltre che compagnia ogni giorno, mentre studiavo in cameretta. Ripeto tra me e me: lei mi ha salvato la vita e ora io la salvo a lei. La mia fortuna. Ringrazio anche la mia fidanzata **Maria**, che giorno dopo giorno mi sta aiutando a tirar fuori la parte migliore di me e che non mi fa mai sentire sbagliato. Un bacio. Infine, ringrazio i miei migliori amici, **Roberto e Roberto**, per i tanti momenti di divertimento e di sfogo condivisi, e ringrazio il mio amico **Marco**, conosciuto all'università, insieme abbiamo studiato materie complicate, ottenendo spesso risultati eccellenti.