



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

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

*Studio di impatti ambientali del fine vita per strumenti di LCA
semplificata. Il caso studio di un elettromandrino*

*Study of End of Life (EoL) environmental impacts for
simplified LCA tools. The case study of an electric spindle*

Relatrice:
Prof.ssa Ing. **Alessandra Papetti**

Tesi di laurea di:
Leonardo Caimmi

Correlatrice:
Dott.ssa **Federica Cappelletti**

Anno accademico 2022/2023

Vive ut vivas vivi

SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE.....	1
ELENCO DELLE FIGURE	3
INTRODUZIONE	5
CAPITOLO 1 METODI E STRUMENTI.....	8
1.1 La metodologia Life Cycle Assessment	8
1.1.1 Descrizione della metodologia	8
1.1.2 Le quattro fasi della metodologia	11
1.1.3 Le normative di riferimento.....	14
1.1.4 LCA e Database.....	15
1.1.4.1 RISULTATI E FATTORI DI INCERTEZZA	15
1.1.4.2 ECOINVENT©.....	16
1.2 SimaPro©: strumento di LCA	18
1.2.1 Descrizione del funzionamento	18
1.2.1.1 STRUTTURA DEL DATASET.....	19
1.2.1.2 INTERFACCIA DI INPUT.....	20
1.2.1.3 INTERFACCIA DI OUTPUT	24
1.2.1.4 ENVIRONMENTAL FOOTPRINT DATABASE (EF METHOD).....	26
1.3 Tool semplificato.....	28
1.3.1 Foglio di input	28
1.3.2 Foglio di output	30
CAPITOLO 2 METODO	32
2.1 Assegnazione dei processi	33
2.2 Estrazione dei dati.....	35
2.3 Implementazione su Excel©.....	38
2.3.1 Inserimento dei dati nel Tool semplificato	38
2.3.2 Creazione della sezione fine vita in input e modifiche.....	40
2.3.3 Creazione della sezione fine vita in output e tabelle aggiuntive	42
CAPITOLO 3 RISULTATI	44
3.1 Estrazione dei dati da SimaPro	44

3.1.1 Processi di riciclo.....	44
3.1.1.1 MATERIALI APOS	44
3.1.1.2 MATERIALI CUT-OFF	48
3.1.2 Processi di discarica.....	48
3.1.2.1 INERT MATERIAL LANDFILL.....	50
3.1.2.2 SANITARY LANDFILL.....	52
3.1.2.3 UNSANITARY LANDFILL.....	56
3.2 Inserimento dei dati e creazione della sezione fine vita nel Tool semplificato	59
3.2.1 Creazione della sezione fine vita.....	59
3.2.2 Inserimento dei dati	59
3.3 Caso studio	61
3.3.1 Elettromandrino HSD©.....	61
3.3.2 Studio degli impatti ambientali dell'elettromandrino nel Tool semplificato	63
CAPITOLO 4 DISCUSSIONE	67
4.1 Struttura gerarchica degli input in SimaPro©	67
4.2 Analisi del caso studio.....	71
4.2.1 Analisi del fine vita dell'elettromandrino.....	71
4.2.2 Tabelle e grafici riassuntivi della composizione dell'elettromandrino	72
4.3 Criticità e opportunità.....	77
4.3.1 Criticità e opportunità in SimaPro©.....	77
4.3.2 Criticità e opportunità nel Tool semplificato.....	78
CONCLUSIONE	80
SITOGRAFIA.....	82

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1-1: Confini del sistema.....	12
Tabella 1-2: Classificazione delle categorie di impatto.....	27
Tabella 1-3: Impatti totali del caso studio in output nel Tool semplificato.....	30
Tabella 2-1: Elenco dei processi di riciclo analizzati.....	33
Tabella 2-2: Elenco dei processi di discarica analizzati.....	34
Tabella 2-3: Esempio di associazione materiale - processo di smaltimento.....	35
Tabella 3-1: Impatti per associazione corretta/errata del processo di smaltimento e del materiale.....	46
Tabella 3-2: Impatti per i processi di riciclo (1).....	48
Tabella 3-3: Impatti per i processi di riciclo (2).....	48
Tabella 3-4: Associazione processo di discarica - tipologia di materiale studiato.....	49
Tabella 3-5: Associazione dataset di discarica - materiali analizzati.....	50
Tabella 3-6: Dataset "Inert Material Landfill" sottoposti ad analisi.....	50
Tabella 3-7: Struttura dei dataset Inert Material Landfill per area geografica.....	51
Tabella 3-8: Impatti "Inert Material Landfill" APOS per area geografica.....	51
Tabella 3-9: Impatti "Inert Material Landfill" Cut-Off per area geografica.....	52
Tabella 3-10: Dataset "Sanitary Landfill" sottoposti ad analisi.....	53
Tabella 3-11: Impatti estratti per "Inert waste {CH} treatment of, sanitary landfill 	54
Tabella 3-12: Impatti estratti per "Inert waste {CH} treatment of, sanitary landfill 	54
Tabella 3-13: Struttura del dataset "Inert waste {CH} treatment of, sanitary landfill APOS, U".....	55
Tabella 3-14: Struttura del dataset "Municipal solid waste {CH} treatment of, sanitary landfill APOS, U".....	55
Tabella 3-15: Dataset "Unsanitary Landfill" sottoposti ad analisi.....	56
Tabella 3-16: Impatti "Unsanitary Landfill" APOS per valori positivi di mm.....	57
Tabella 3-17: Impatti "Unsanitary Landfill" Cut-Off per valore negativo di mm.....	57
Tabella 3-18: Struttura del dataset "Municipal solid waste {GLO} treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, dry infiltration class (100mm) APOS, U".....	58

Tabella 3-19: Struttura del dataset “Municipal solid waste {GLO} treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, hyperarid infiltration class (-250mm) APOS, U”	58
Tabella 3-20: Associazione dei processi di smaltimento per i materiali dell'elettromandrino	64
Tabella 3-21: Impatti totali del fine vita dell'elettromandrino	64
Tabella 4-1: Estrazione impatti per rapporto dataset-materiale APOS.....	69
Tabella 4-2: Estrazione impatti per rapporto dataset-materiali Cut-off.....	70
Tabella 4-3: Tabella riassuntiva della composizione dell'elettromandrino per tipologia	73
Tabella 4-4: Tabella riassuntiva della composizione dell'elettromandrino per categoria.....	74
Tabella 4-5: Tabella riassuntiva del totale dei materiali riciclabili e non.....	75
Tabella 4-6: Tabella riassuntiva della quantità totale in chilogrammi dei tre processi di smaltimento.....	75

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1-1: Life Cycle Assessment.....	9
Figura 1-2: LCA "from Cradle to Grave".....	9
Figura 1-3: LCA "from Cradle to Cradle"	9
Figura 1-4: Life Cycle Thinking.....	10
Figura 1-5: Fasi dell'LCA	11
Figura 1-6: Schema riassuntivo delle fasi di LCA.....	14
Figura 1-7: Evoluzione delle normative per l'LCA.....	14
Figura 1-8: Simulazione Monte Carlo	16
Figura 1-9: Settori interessati dal database EcoInvent.....	16
Figura 1-10: Esempio di Dataset EcoInvent per una lega di alluminio in SimaPro	17
Figura 1-11: Esempio di dataset EcoInvent per una lega di alluminio - dati generali contenuti	17
Figura 1-12: Esempio di dataset EcoInvent per una lega di alluminio - flussi tracciati	18
Figura 1-13: Descrizione della struttura del dataset in SimaPro	20
Figura 1-14: Interfaccia di SimaPro per la selezione della banca dati.....	21
Figura 1-15: Differenza in Ecoinvent tra processi unit e system.....	22
Figura 1-16: Interfaccia di SimaPro per la selezione dei processi.....	22
Figura 1-17: Interfaccia di SimaPro per la selezione di fasi del prodotto	23
Figura 1-18: Interfaccia di SimaPro per la selezione del metodo.....	24
Figura 1-19: Interfaccia di SimaPro per la valutazione dell'impatto - numeri.....	24
Figura 1-20: Interfaccia di SimaPro per la valutazione dell'impatto - grafico.....	25
Figura 1-21: Interfaccia di SimaPro per la visualizzazione ad albero	25
Figura 1-22: Interfaccia di SimaPro per la visualizzazione a rete	26
Figura 1-23: Sezione "Energia" in input nel Tool semplificato.....	29
Figura 1-24: Categoria "Leghe metalliche" della sezione "Materiali" in input nel Tool semplificato.....	29
Figura 1-25: Sezione "Manufacturing" in input nel Tool semplificato	29
Figura 1-26: Sezione "Trasporti" in input nel Tool semplificato	29

Figura 1-27: Schema di funzionamento del Tool semplificato.....	31
Figura 2-1: Ordine delle fasi di lavoro.....	32
Figura 2-2: Finestra di dialogo in SimaPro per il richiamo del materiale	35
Figura 2-3: Finestra di dialogo in SimaPro per la selezione del materiale	36
Figura 2-4: Finestra di dialogo in SimaPro per la creazione dello scenario di smaltimento ..	37
Figura 2-5: Finestra di dialogo in SimaPro per il richiamo del materiale e dello scenario	37
Figura 2-6: Schema riassuntivo del calcolo del fine vita in SimaPro	38
Figura 2-7: Foglio estrazione dati per il riciclo (alcune categorie di impatto)	39
Figura 2-8: Foglio estrazione dati per la scarica - tipologia di materiale "Steel and iron" (alcune categorie).....	39
Figura 2-9: Parte della sezione fine vita nella pagina input nel Tool semplificato.....	41
Figura 2-10: Schema di calcolo del fine vita nel Tool semplificato	43
Figura 3-1: Sulla sx, struttura a rete per “Cast iron {GLO} market for APOS, S” e “Aluminium, primary, liquid {GLO} market for APOS, S” con processo “Steel and iron (waste treatment) {GLO} recycling of steel and iron”; sulla dx, struttura a rete per “Aluminium, primary, liquid {GLO} market for APOS, S” e “Cast iron {GLO} market for APOS, S” con processo “Aluminium (waste treatment) {GLO} recycling of aluminium”	47
Figura 3-2: CAD dell'elettromandrino.....	62
Figura 3-3: Ciclo vita del caso studio dell'elettromandrino.....	62
Figura 3-4: Istogramma degli impatti totali dell'analisi LCA dell'elettromandrino	65
Figura 3-5: Istogramma complessivo del fine vita dell'elettromandrino	65
Figura 3-6: Istogramma con contributo dei singoli processi di smaltimento del fine vita dell'elettromandrino	66
Figura 4-1: Gerarchia di calcolo di SimaPro	67
Figura 4-2: Schema riassuntivo della gerarchia di input di SimaPro	71
Figura 4-3: Struttura dell'elettromandrino	72
Figura 4-4: Grafico ad anello della composizione dell'elettromandrino per tipologia	73
Figura 4-5: Grafico ad anello della composizione dell'elettromandrino per categoria.....	74
Figura 4-6: Grafico ad anello del totale dei materiali riciclabili e non.....	75
Figura 4-7: Grafico a torta della suddivisione delle quantità destinate ai tre processi di smaltimento.....	76

INTRODUZIONE

Venerdì 24 settembre 2021 in piazza Mosca a Pesaro (PU) nelle Marche si è inaugurato il Climate Clock, il secondo in Italia dopo quello sulla facciata del Ministero della Transizione Ecologica. L'Orologio Climatico dice entro quando e cosa fare per salvare la Terra dall'emergenza climatica ormai ampiamente dichiarata. Esso misura il tempo a disposizione dell'umanità per esaurire il budget di CO₂ da emettere in atmosfera prima di oltrepassare la soglia critica (+1,5°) e la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili. È composto da due parti: la Deadline e la Lifeline. La Deadline mostra che, per avere due terzi di possibilità di rimanere sotto la soglia critica di riscaldamento, occorre raggiungere – in circa sette anni – emissioni vicino allo zero. La Lifeline (data dalle azioni per il clima, fra cui la più rilevante è la produzione di energia pulita) mostra che la percentuale di energia globale prodotta da fonti rinnovabili è attualmente al 12,4% ed è in aumento, ma molto più lentamente del necessario. Insieme queste due parti, rendono esplicite la velocità e la portata delle azioni che i leader di tutti i paesi devono intraprendere per limitare impatti climatici catastrofici.

Quali sono le principali fonti di inquinamento? Secondo l'enciclopedia Treccani sono le attività industriali, gli impianti per la produzione di energia, gli impianti di riscaldamento e il traffico. L'Eurostat (Ufficio Statistico dell'Unione Europea) stima che circa tre quarti delle emissioni di gas serra sono dovute alla combustione del carburante. Ciò include la combustione di combustibile per generare elettricità e calore (industrie energetiche), per la produzione di beni e per la costruzione di edifici e infrastrutture (industrie manifatturiere e costruzioni), per riscaldare edifici e acqua calda (famiglie, commercio, ecc.) e per spostare merci e persone (trasporti). La quota rimanente delle emissioni totali di gas serra, circa un quarto, è dovuta ad altre attività che principalmente non comportano la combustione del carburante. Comprende processi industriali e usi dei prodotti, attività agricole e gestione dei rifiuti.

Di fronte a tutte queste problematiche ambientali si comprende come l'azienda non sia più solo mirata al raggiungimento degli obiettivi economici, ma anche di quelli ambientali. Si introduce quindi il concetto di sostenibilità aziendale.

Per sostenibilità aziendale si intende l'impegno concreto di un'azienda nel dar vita a un modello di business che non solo permetta il sostentamento dell'impresa a lungo termine, ma che sia anche attento all'ambiente, al benessere sociale e a una governance equa e lungimirante.

Un'azienda sostenibile dal punto di vista ambientale persegue in generale questi obiettivi:

- ridurre le emissioni inquinanti;
- utilizzare le energie rinnovabili;
- diminuire l'impatto ambientale;
- contenere il consumo di acqua (e delle altre risorse del Pianeta);
- smaltire attentamente i rifiuti;
- adottare soluzioni di economia circolare.

L'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU) ha redatto l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, un programma d'azione che ingloba 17 obiettivi per la sostenibilità, tra cui la lotta contro il cambiamento climatico. L'Unione Europea (UE) è fortemente indirizzata a sensibilizzare le aziende al rispetto dell'ambiente e dei diritti umani. Fra le iniziative più recenti si cita la proposta di "Direttiva sulle due diligence di sostenibilità aziendale" che prevede l'introduzione dell'obbligo per le aziende di esercitare la dovuta diligenza allo scopo di individuare, prevenire, attenuare e tenere conto dei danni esterni derivanti da impatti negativi sui diritti umani e sull'ambiente non solo nelle proprie operazioni, ma anche in quelle della catena del valore globale, con l'obbligo di porre fine alle situazioni che generino impatti negativi. Quindi si parla di responsabilità d'impresa. Per incentivare questo, il legislatore ha previsto l'obbligo per alcune specifiche aziende di redigere la dichiarazione non finanziaria, in cui vengono elencate e misurate le azioni messe in atto per una crescita sostenibile e in accordo con i criteri ESG (Environmental, Social e Governance).

In Italia sono sempre più numerose le aziende che decidono di integrare i criteri ESG nel proprio modello di business: il report EY "Seize the Change Futuri Sostenibili", condotto su un campione di oltre 300 aziende italiane appartenenti a diversi settori, ha evidenziato come il 69% delle imprese interpellate abbia sviluppato un piano di sostenibilità aziendale e nel 44% dei casi fissato un vero e proprio piano strategico con obiettivi quantitativi.

Nasce perciò l'esigenza di avere degli strumenti che permettano una valutazione accurata degli effetti della produzione dei prodotti o servizi dal punto di vista ambientale. La Life Cycle Assessment in questo senso è una metodologia che permette di effettuare considerazioni sulle emissioni e sul loro impatto sull'ecosistema. I risultati vengono poi confrontati con le

normative di riferimento introdotte (in particolare si citano la ISO 14040 e 14044), utili poi per convalidare lo studio di fattibilità. Per fare ciò, si utilizzano dei software che consentono di quantificare, a seguito degli input forniti dei materiali e dei processi di lavorazione, gli impatti. Tra questi si cita SimaPro©, che sarà oggetto di studio di questa tesi.

I programmi di Life Cycle Assessment condividono tutti la stessa modalità di calcolo: si inseriscono i materiali costituenti il prodotto finale, che possono essere ricavati da documenti quali BOM/distinta base, si calcolano gli utilizzi di energia nel corso di tutto il ciclo vita del prodotto e infine si valutano gli impatti ambientali.

Alcuni studenti dell'Università Politecnica delle Marche si sono cimentati nella creazione di un Tool semplificato in Excel© che permette di avere i risultati ambientali in maniera più efficace ed efficiente. Questa idea nasce dal costo elevato e dalle difficoltà di programmazione dei software in commercio. Difatti necessitano solitamente uno studio piuttosto approfondito del loro funzionamento e sono caratterizzati da un'interfaccia complessa. Il Tool semplificato, al contrario, si propone di superare questi limiti, e creare un metodo semplice e veloce di calcolo, condividendo però sempre la stessa modalità computazionale.

In questa tesi si parlerà dell'integrazione del Tool semplificato della sezione di fine vita e dell'applicazione di esso nel caso studio di un elettromandrino.

I passi dello studio possono essere riassunti nei seguenti tre punti:

- estrazione dei dati da SimaPro© per i singoli materiali;
- integrazione del Tool semplificato;
- studio dell'elettromandrino.

L'elaborato segue precisamente l'ordine sopra proposto. Dalla descrizione della metodologia LCA e del software SimaPro©, si procede con l'esposizione del metodo di calcolo utilizzato nell'estrazione dati con la successiva implementazione su Excel©. Vengono poi mostrati i risultati ottenuti, in modo da esplicitare le modalità con cui questi sono stati inseriti nel Tool. Infine, nell'ultimo capitolo, si discutono gli impatti ottenuti, descrivendo sia il funzionamento di SimaPro©, sia il caso studio dell'elettromandrino.

L'analisi di fine vita riguarderà solamente i processi di smaltimento di riciclo e discarica.

Capitolo 1

METODI E STRUMENTI

1.1 La metodologia Life Cycle Assessment

1.1.1 *Descrizione della metodologia*

La metodologia Life Cycle Assessment (LCA) è una procedura standardizzata che permette di quantificare gli impatti ambientali di un prodotto, processo e servizio. Si colloca nel contesto di sostenibilità ambientale e può essere utilizzata sia per il calcolo di un unico prodotto/processo/servizio, sia per la comparazione di due o più prodotti diversi, di gruppi di prodotti, di procedure o di comportamenti. Il concetto chiave legato a questa metodologia è il ciclo vita di prodotto, ossia l'evoluzione del prodotto nelle seguenti cinque fasi:

- reperimento delle materie prime
- processi produttivi
- trasporti
- uso
- fine vita

La metodologia LCA non si interessa solamente di una singola fase tra quelle elencate sopra, piuttosto considera il prodotto nella totalità della sua esistenza. Pertanto, vengono registrati tutti i flussi di materiale ed energia connessi ad un prodotto/processo/servizio durante l'intero ciclo vita. Questo approccio di tipo estensivo comporta un'oggettività dello studio sicuramente maggiore rispetto al caso in cui si considerassero solamente le fasi distinte, evitando perciò errori nella valutazione ambientale.

L'applicazione di tale tecnica può riferirsi a due contesti: “from Cradle to Grave” (“*dalla Culla alla Tomba*”) e “from Cradle to Cradle” (“*dalla Culla alla Culla*”). Nel primo, il ciclo vita del prodotto si considera terminato con la riduzione a rifiuto del prodotto stesso (Figura 1-2). Nel secondo, invece, il ciclo vita si considera non terminato con la riduzione a rifiuto del prodotto, ma con la re-immissione in successivi cicli vita dei rifiuti rigenerati (Figura 1-3).



Figura 1-1: Life Cycle Assessment

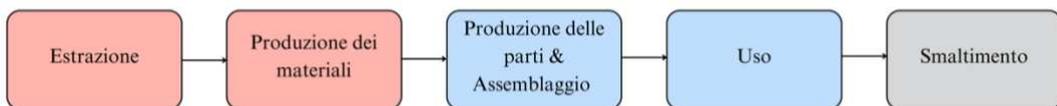


Figura 1-2: LCA "from Cradle to Grave"

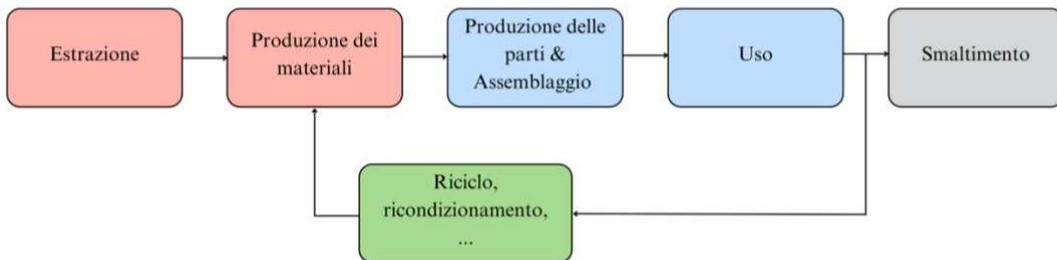


Figura 1-3: LCA "from Cradle to Cradle"

L'LCA può essere impiegata in numerosi contesti, tra cui:

- individuazione di opportunità di miglioramento per gli aspetti ambientali;
- decisioni nella pianificazione strategica, in particolare nella definizione delle priorità e nella progettazione di prodotti o processi (Eco-Design);
- programmi di marketing (Eco-marketing e marchi di qualità ecologica).

In particolare, sono ormai di diffuso interesse i concetti di Eco-Design e Life Cycle Thinking.

L'Eco-Design è un approccio progettuale indirizzato a sviluppare prodotti con particolare riguardo per gli impatti ambientali. È correlato alla domanda mondiale fortemente sviluppata di prodotti più efficienti per ridurre il consumo di energia e risorse.

La legislazione UE in materia è uno strumento efficace per migliorare l'efficienza energetica dei prodotti.

L'approccio Life Cycle Thinking valuta in che modo sia i prodotti di consumo sia le attività umane hanno impatto sull'ambiente durante l'intero ciclo vita, in un quadro olistico di un intero prodotto o sistema di attività. L'obiettivo è rendere le persone e le aziende più consapevoli dei loro prodotti a favore dell'ambiente.

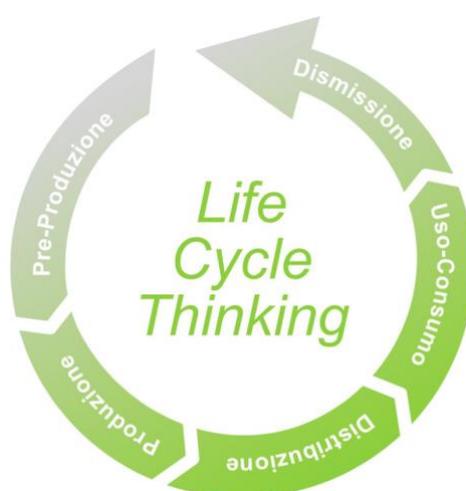


Figura 1-4: Life Cycle Thinking

L'analisi LCA è un metodo che rappresenta il carico ambientale in modo matematico (numeri) basato sulla diversa potenziale modifica degli ecosistemi naturali connessi ad un determinato prodotto/processo/servizio. Tramite questa è possibile raggruppare i diversi tipi di flussi di input/output con l'obiettivo di confrontare i diversi prodotti (nel caso multiprodotto) o i diversi processi (nel caso monoprodotto).

Gli obiettivi possono essere schematizzati nel seguente modo:

- identificare e quantificare gli impatti ambientali connessi all'oggetto di analisi;
- identificare le maggiori criticità ambientali di un prodotto/processo/servizio;
- valutare e quantificare i benefici di possibili strategie migliorative implementate sul prodotto/processo/servizio a fronte delle individuazioni delle maggiori criticità.

1.1.2 Le quattro fasi della metodologia

La metodologia LCA è composta dalle seguenti quattro fasi di lavoro:

- definizione dell'obiettivo e campo di applicazione
- inventario
- valutazione degli impatti (fase LCIA)
- interpretazione dei risultati

Le fasi elencate si intendano conformi alla normativa ISO 14040:2006 – Environmental Management – LCA – Principles and Framework.

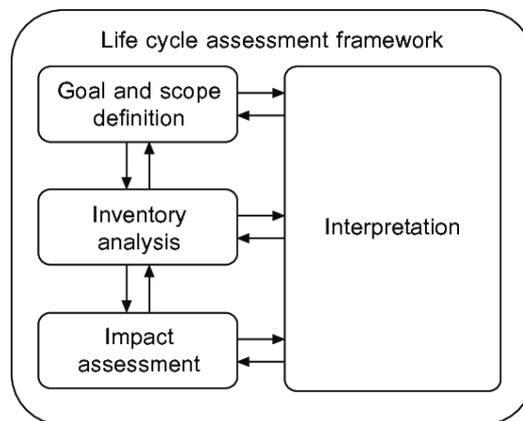


Figura 1-5: Fasi dell'LCA

1. Definizione dell'obiettivo e campo di applicazione

La prima fase consiste nella definizione dell'obiettivo e il suo campo di applicazione.

In funzione di questi, si dichiarano i metodi di collezione dei dati, la loro presentazione e la loro specificità. La chiara identificazione dello scopo è un prerequisito fondamentale di una corretta analisi. Di seguito si elencano alcuni possibili obiettivi:

- definizione e quantificazione del carico ambientale di un determinato ecosistema;
- valutazione delle emissioni di CO₂ associate ad un sistema;
- definizione di linee guida per migliorare prodotti e processi.

È importante inoltre stabilire il destinatario dell'analisi (etichetta Eco-Label¹, informazioni sul prodotto, etc.).

¹ Eco-Label UE è il marchio di qualità ecologica dell'Unione Europea che differenzia prodotti e servizi, i quali, pur garantendo prestazioni elevate, sono caratterizzati da un ridotto impatto ambientale durante l'intero ciclo vita.

Dopo l'obiettivo, si definisce l'unità funzionale, intesa come funzione oggetto di analisi. Essa è dotata di un'unità di misura e costituisce il parametro di riferimento a cui tutta l'analisi si riferisce. È espressa nella forma di un verbo che svolge una funzione.

Successivamente, vengono riportate ulteriori esplicitazioni, tra cui:

- le categorie di impatto ambientale che si intendono assegnare;
- le metodologie per il calcolo degli impatti ambientali secondo le categorie scelte;
- dichiarazioni sulle informazioni sulla qualità dei dati (misurazioni dirette o indirette, fonti di provenienza dirette o indirette);
- esplicitazione delle assunzioni formulate e le semplificazioni considerate.

L'ultimo stadio è la definizione dei confini del sistema, ovvero le fasi di ciclo di vita del sistema in oggetto che vogliamo includere nell'analisi.

Costruzione	Estrazione materie prime Lavorazione materie prime Assemblaggio Trasporto
Uso	Manutenzione
Fine vita	Trasporto Disassemblaggio Smaltimento Riciclo

Tabella 1-1: Confini del sistema

2. Inventario

In questa fase si reperiscono tutti i dati necessari per lo svolgimento dell'analisi, seguendo l'obiettivo precedentemente definito.

Si definiscono i passi principali:

- considerazione dell'obiettivo;
- preparazione della raccolta dati (ad esempio si crea un file Excel su cui poi confluiranno tutti i dati);
- collezione dei dati (dall'azienda, dai clienti, dai fornitori, da letteratura);

- validazione dei dati;
- definizione della relazione dei dati e dell'unità funzionale;
- re-definizione (se necessario – ad esempio per mancanza dati) dei confini del sistema;
- revisione e ripetizione se necessario dei passi sopra elencati.

Per le unità funzionali citate nel punto 1, si raccolgono i dati sotto forma di:

- input energetici, input di materie prime, input ausiliari e altri input fisici;
- prodotti, co-prodotti e rifiuti;
- emissioni nell'aria, scarichi nell'acqua e nel suolo;
- altri aspetti ambientali.

Normalmente è la fase che occupa la maggior parte del tempo e le maggiori risorse. Per ovviare a ciò, spesso si collabora con i soggetti richiedenti l'analisi (solitamente le aziende), con i quali si cerca di estrapolare tutte le informazioni sul prodotto/processo/servizio e tutti i dati necessari per lo svolgimento dell'analisi LCA.

3. Valutazione degli impatti

Nella terza fase, definita come LCIA – Life Cycle Impacts Assessment, si determinano gli impatti ambientali dell'oggetto di studio. Si definiscono perciò le categorie di impatto e la loro pesatura e si ricavano i risultati quantitativi. Si convertono poi i dati raccolti in potenziali impatti ambientali. In aggiunta è possibile scegliere diverse categorie di impatto per la valutazione del carico ambientale di un prodotto/processo/servizio. Tra queste si citano:

- acidificazione (AP)
- eutrofizzazione (EP)
- cambiamenti climatici (GWP)
- esaurimento dell'ozono (ODP)

Lo scopo della fase di LCIA è quello di mostrare i risultati LCA in modo pertinente, comprensibile e facile da gestire (numeri) e da comunicare.

Questa viene generalmente svolta con l'aiuto di strumenti software commerciali o non (es. GaBi©, SimaPro©, ecc.), i quali utilizzano sistemi di caratterizzazione e normalizzazione dei risultati conformi alla normativa.

4. Interpretazione dei risultati

L'ultima fase è relativa alla valutazione dei risultati e la loro interpretazione in relazione all'obiettivo dell'analisi stessa. Durante tale fase si possono ipotizzare soluzioni migliorative,

i cui benefici possono poi essere valutati con successive analisi. Infine si deducono delle conclusioni sulla base dei risultati ottenuti e sulla base degli obiettivi prefissati.

Si riporta uno schema riassuntivo delle fasi appena enunciate.

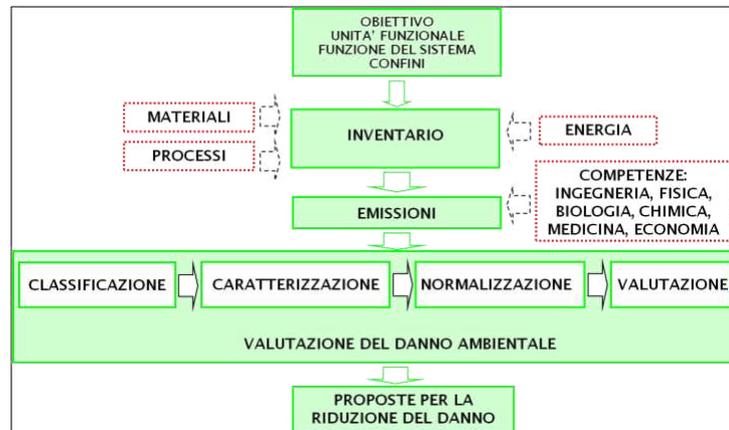


Figura 1-6: Schema riassuntivo delle fasi di LCA

1.1.3 Le normative di riferimento

Nel campo delle normative che regolano la metodologia LCA, si assiste a un'imponente evoluzione temporale delle stesse. Di seguito si riporta un'immagine indicante lo sviluppo con le corrispettive diciture:

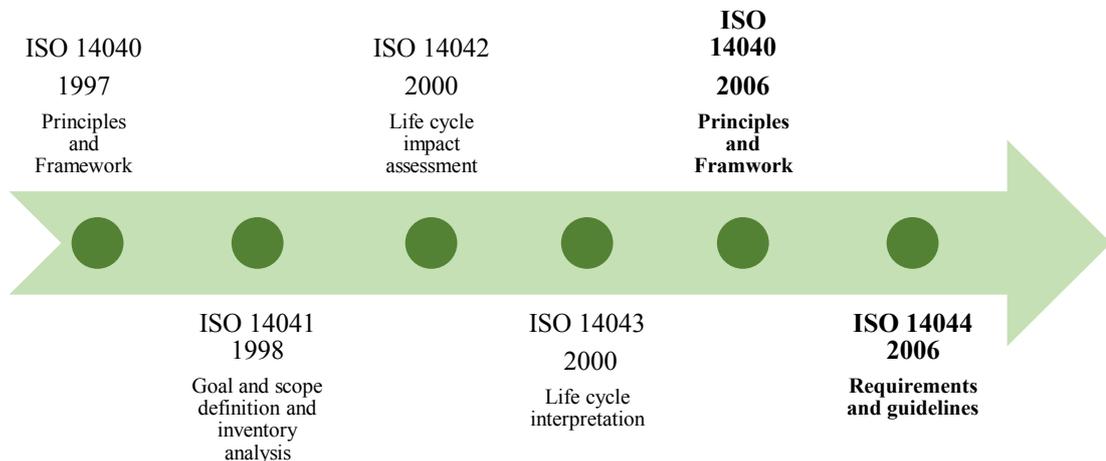


Figura 1-7: Evoluzione delle normative per l'LCA

Come è possibile vedere, tutte le normative sono confluite a quelle sviluppate nel 2006, che costituiscono tutt'ora il riferimento (ISO 14040 e ISO 14044).

La ISO 14040 contiene un'introduzione ai concetti del Life Cycle Assessment e alle sue procedure.

La ISO 14044 include maggiori dettagli circa la procedura e costituisce una spiegazione guidata per lo svolgimento di un'analisi LCA completa.

1.1.4 LCA e Database

Nell'applicazione della metodologia LCA si è spesso affiancati da strumenti specifici, i quali hanno implementati al loro interno dei database. I database sono delle banche dati che hanno la funzione di supportare la modellazione del prodotto per la realizzazione di analisi LCA. Sono costituiti da dataset, ossia processi/flussi unitari.

Avere a disposizione questi database permette sicuramente di semplificare il processo di modellazione del sistema oggetto di analisi. Nei software, ogni dataset ha associato un carico ambientale, calcolato secondo differenti metodi. Si può dunque affermare che il prodotto che si intende esaminare è generato come un insieme di dataset secondo procedure specifiche per ciascuno degli strumenti indicati di calcolo LCA.

1.1.4.1 RISULTATI E FATTORI DI INCERTEZZA

Ogni dato fornito dall'analisi LCA è caratterizzato da un fattore di incertezza, che può essere descritto da una distribuzione espressa tramite la deviazione standard o un intervallo di campionamento. Di conseguenza, non prendere in considerazione la variabilità dei dati può risultare controproducente.

In questo senso, l'Analisi Monte Carlo risulta essere la metodologia più utilizzata. Nel momento in cui si seleziona "calcola" nel software utilizzato (ad es. SimaPro© nell'analisi seguente), inizia una simulazione, in cui viene preso un valore casuale dalla distribuzione dell'incertezza per ogni input di dati incerti e si calcolano e si memorizzano i risultati LCA per l'insieme dei valori campionati. La procedura viene ripetuta un numero di volte molto elevato. I risultati memorizzati formano una distribuzione di incertezza per il risultato finale. Il database, in relazione all'importanza del dato stesso, ne assegna un punteggio diverso. Infine, ci si posiziona sulla curva prodotta dal metodo Monte Carlo individuando il valore di impatto che ha la probabilità così alta di essere accurato.

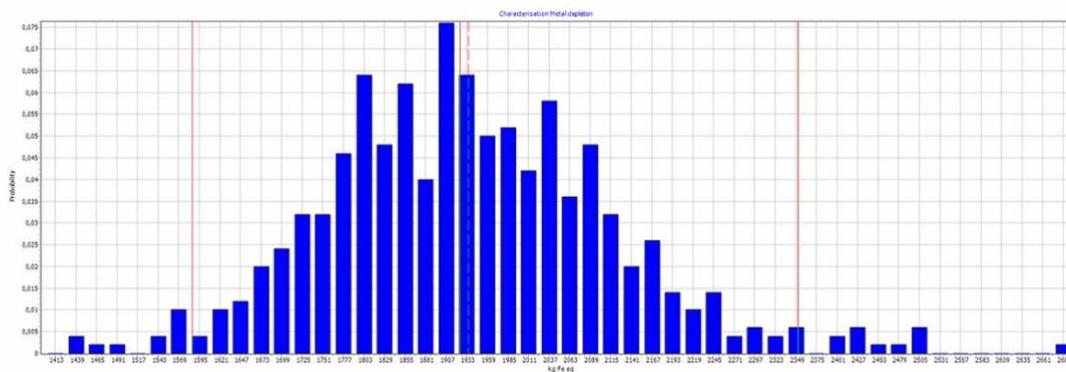


Figura 1-8: Simulazione Monte Carlo

1.1.4.2 ECOINVENT©

EcoInvent DB (database) è stato sviluppato per facilitare gli utenti nella fase LCI.

Ad oggi, può essere considerato il database più completo per scopi commerciali. Ogni dataset incluso descrive un processo unitario (materiale, processo, attività, coprodotto, ecc.) basato sulla sua unità funzionale.

EcoInvent copre un panorama molto ampio di settori economici, dall'energia, all'industria, alla chimica, ai rifiuti, al sistema dei trasporti, etc., permettendo una modellazione completa dei sistemi.

Si riportano di seguito alcune figure stanti a descrivere il database per particolari esempi in SimaPro©.

Sector	Database content	Data generator
Energy	Hard coal	Paul Scherrer Institute
	Oil	ESU-services Ltd.
	Natural gas	ESU-services Ltd., Paul Scherrer Institute
	Nuclear power	Paul Scherrer Institute
	Hydroelectric power	Paul Scherrer Institute
	Wood energy	Paul Scherrer Institute
	Wind power	Paul Scherrer Institute
	Photovoltaics	ESU-services Ltd.
	Solar heat	ESU-services Ltd.
	Electricity supply and mixes	ESU-services Ltd., Paul Scherrer Institute
	Small scale CHP systems	Basler & Hofmann
	Biofuels	ESU-services Ltd., Carbotech, ENERS, ETHZ-UNS ¹ , Infrac, LASEN/EPFL, Paul Scherrer Institute, Umwelt- und Kompostberatung
materials	Building materials	Empa ² , Bau- und Umweltchemie, ESU-services Ltd.
	Metals	Empa ² , ESU-services Ltd.
	Plastics	Empa ²
	Paper and Board	Empa ²
renewable materials	Wood	Empa ²
	Tropical wood	Dr. Frank Werner Environment and Development
	Renewable fibres	Carbotech
Chemicals	Basic Chemicals	ETHZ-ICB ³ , Empa ² , Chudacoff Okoscience, ESU-services Ltd.
	Petrochemical solvents	ETHZ-ICB ³
	Detergents	Empa ²
	Transport services	Paul Scherrer Institute, ESU-services Ltd.
Waste management	Waste treatment services	Doka Life Cycle Assessments
Agriculture	Agricultural products and processes	ART ⁴ , Carbotech, ETHZ-ICB ³
Electronics	Electronics	Empa ²
Mechanical engineering	Metals processing and compressed air	ESU-services Ltd.

Figura 1-9: Settori interessati dal database EcoInvent

Processes		Name	Unit	Waste type	Project
Material	Alloys	Aluminium alloy, AlMg3, at plant/RER S	kg	Non-ferro	Ecoinvent system processes
	Extraction	Brazing solder, cadmium free, at plant/RER S	kg	Non-ferro	Ecoinvent system processes
	Ferro	Chromium steel 18/8, at plant/RER S	kg	Non-ferro	Ecoinvent system processes
	Non ferro	Ferrochromium, high-carbon, 68% Cr, at plant/GLO S	kg	Non-ferro	Ecoinvent system processes
	Waste metals	Ferrochromium, high-carbon, 68% Cr, at regional storage/RER S	kg	Non-ferro	Ecoinvent system processes
	Minerals	Ferronickel, 25% Ni, at plant/GLO S	kg	Non-ferro	Ecoinvent system processes
	Others	Iron-nickel-chromium alloy, at plant/RER S	kg	Non-ferro	Ecoinvent system processes
	Paper+ Board	Magnesium-alloy, AZ91, at plant/RER S	kg	Non-ferro	Ecoinvent system processes
	Plastics	Magnesium-alloy, AZ91, diecasting, at plant/RER S	kg	Non-ferro	Ecoinvent system processes
	Biopolymers	Soft solder, Sn97Cu3, at plant/RER S	kg	Non-ferro	Ecoinvent system processes
	Rubbers	Solder, bar, Sn63Pb37, for electronics industry, at plant/GLO S	kg	Non-ferro	Ecoinvent system processes
	Thermoplasts	Solder, bar, Sn95.5Ag3.9Cu0.6, for electronics industry, at plant/GLO S	kg	Non-ferro	Ecoinvent system processes
	Thermosets	Solder, paste, Sn63Pb37, for electronics industry, at plant/GLO S	kg	Non-ferro	Ecoinvent system processes
	Textiles	Solder, paste, Sn95.5Ag3.9Cu0.6, for electronics industry, at plant/GLO S	kg	Non-ferro	Ecoinvent system processes
	Water				
	Wood				
Energy	Biomass				
	Cogeneration				
	Electricity by fuel				
	Electricity country mix				
	Heat				
	Mechanical				
	Others				

Figura 1-10: Esempio di Dataset EcoInvent per una lega di alluminio in SimaPro

Name	aluminium alloy, AlMg3, at plant/kg/RER	
Status		
Image		
Data Quality Indicators		
Time period	Unspecified	
Geography	Unspecified	
Technology	Unspecified	
Representativeness	Unspecified	
Multiple output allocation	Unspecified	
Substitution allocation	Unspecified	
Cut-off rules	Unspecified	
System boundary	Unspecified	
Boundary with nature	Unspecified	
Infra. process	No	
Date	13/06/2003	
Record	Data entry by: Niels Jungbluth Telephone: 0041 44 940 61 32; E-mail: esu-services@ecoinvent.org; Company: ESU; Country: CH	
Generator	Generator/publisher: Niels Jungbluth Telephone: 0041 44 940 61 32; E-mail: esu-services@ecoinvent.org; Company: ESU; Country: CH	
General reference and sources		
Literature reference	Life Cycle Inventories of Metals/2007/Altha	
Comment	Data has been published entirely in Copyright: true; Page: chapter magnesium	
Collection metho	Sampling procedure: Environmental data for an important producer	
Data treatment	Extrapolations: From 1 producer to average Europe Uncertainty adjustments: none	
Allocation rules		
Verification	Proof reading validation: passed Validator: Mischa Classen Telephone: 0041 44 823 4937; E-mail: empa@ecoinvent.org; Company: EMPA; Country: CH	
Comment	Translated name: Aluminium-Legierung, AlMg3, ab Werk Included processes: Production of alloy from primary metals, no extra infrastructure. Remark: The production of AlMg3 is investigated with the content of different metals used for the alloy. This aluminium alloy contains 3% of magnesium.; Geography: Data for 1 producer Technology: Production of aluminium-magnesium alloy from primary metals, no recycling of input materials. Time period: Environmental report Version: 2.0	

Figura 1-11: Esempio di dataset EcoInvent per una lega di alluminio - dati generali contenuti

Products							
Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category	Comment
Aluminium, cast, alloy, cast/primary	1	kg	Mass	100 %	Non-ferro	Metals/Alloys	Europe
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2* Min	Max	Comment	
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2* Min	Max	Comment
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2* Min	Max	Comment	
Electricity mix, aluminium industry/GLO U	1.59	kWh	Lognormal	1.3		(4,2,1,1,1,5); Literature disaggregated	
Aluminium, production mix, cast alloy, at plant/RER U	0.965	kg	Lognormal	1.2		(2,2,1,1,1,5); Literature	
Chromium, at regional storage/RER U	0.00305	kg	Lognormal	1.2		(2,2,1,1,1,5); Literature	
Cast iron, at plant/RER U	0.00406	kg	Lognormal	1.2		(2,2,1,1,1,5); Literature	
Copper, at regional storage/RER U	0.00102	kg	Lognormal	1.2		(2,2,1,1,1,5); Literature	
Manganese, at regional storage/RER U	0.00508	kg	Lognormal	1.2		(2,2,1,1,1,5); Literature	
Magnesium, at plant/RER U	0.0305	kg	Lognormal	1.2		(2,2,1,1,1,5); Literature	
MG-silicon, at plant/NO U	0.00406	kg	Lognormal	1.2		(2,2,1,1,1,5); Literature	
Zinc, primary, at regional storage/RER U	0.00203	kg	Lognormal	1.2		(2,2,1,1,1,5); Literature	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	0.00193	tkm	Lognormal	2.1		(4,5,na,na,na,na); Standard distance 100km	
Transport, freight, rail/RER U	0.00386	tkm	Lognormal	2.1		(4,5,na,na,na,na); Standard distance 200km	
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2* Min	Max	Comment	
Outputs							
Emissions to air							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2* Min	Max	Comment
Heat, waste	low. pop.	5.74	MJ	Lognormal	1.2		(2,2,1,1,1,5); Literature
Emissions to water							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2* Min	Max	Comment
Emissions to soil							

Figura 1-12: Esempio di dataset EcoInvent per una lega di alluminio - flussi tracciati

1.2 SimaPro©: strumento di LCA

SimaPro© (successivamente richiamato con SimaPro) è un software di LCA che permette di raccogliere, analizzare e monitorare i dati sulle prestazioni di sostenibilità di prodotti e servizi. Può essere utilizzato per varie applicazioni: report sulla sostenibilità, impronta di carbonio e impronta idrica, product design, dichiarazioni di prodotto ambientale e determinazione degli indicatori chiave di prestazione.

Con SimaPro è possibile dunque:

- modellare e analizzare facilmente cicli di vita complessi in modo sistematico e trasparente;
- misurare l'impatto ambientale dei prodotti e servizi in tutte le fasi del ciclo vita;
- identificare i punti caldi in ogni anello della catena di approvvigionamento, dall'estrazione delle materie prime, alla produzione, distribuzione, utilizzo e smaltimento.

1.2.1 Descrizione del funzionamento

Come tutti i software di calcolo, SimaPro è composto da due interfacce: input e output.

Il mezzo con il quale l'utente si interfaccia con l'hardware è, come già anticipato nel paragrafo precedente, il dataset.

1.2.1.1 STRUTTURA DEL DATASET

Riprendendo la definizione di dataset data in precedenza, si intende spiegare brevemente la struttura dello stesso in SimaPro. Indagando la sua struttura interna, è composto dalle voci di input e output. Ognuna di esse è composta da ulteriori sotto voci che vanno a caratterizzare le due interfacce.

Per gli input si hanno:

- Input noti da natura (risorse)
- Input noti da tecnosfera (materiali/combustibili)
- Input noti da tecnosfera (elettricità/calore)

Per gli output, invece, si hanno le seguenti:

- Emissioni nell'aria
- Emissioni in acqua
- Emissioni nel terreno
- Flussi dei rifiuti finali
- Emissioni non materiali
- Temi sociali
- Temi economici
- Output noti a tecnosfera. Rifiuto ed emissioni al trattamento.

Analizzando invece la denominazione, questa riporta in maniera riassuntiva tutte le caratteristiche del dataset e costituisce il mezzo tramite cui l'utente seleziona un particolare processo. Si prende un esempio di dataset di discarica per agevolare l'argomentazione.

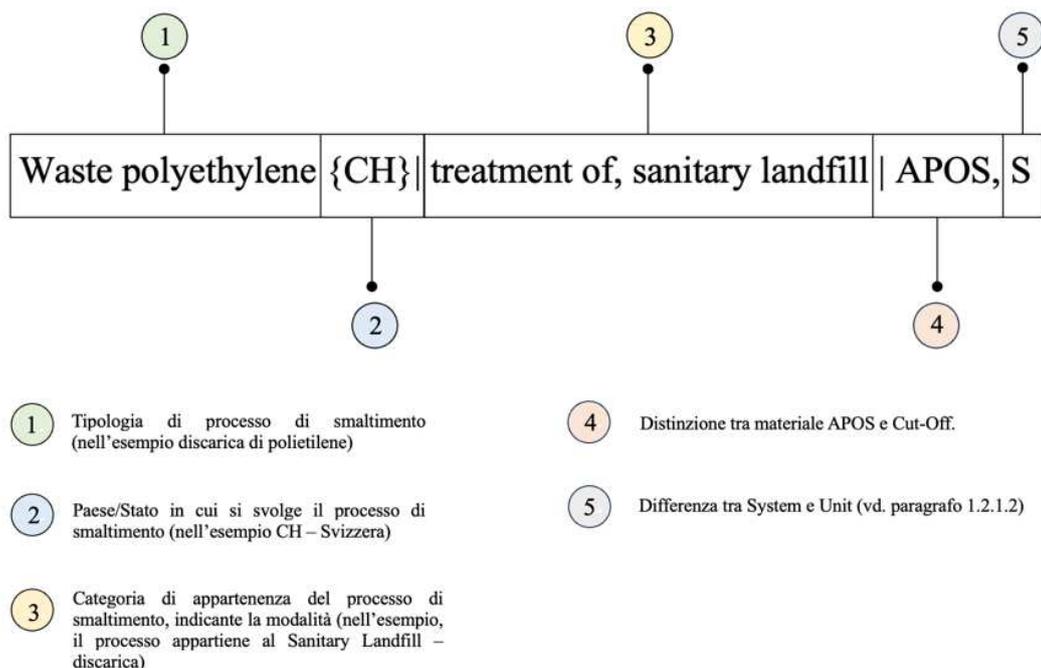


Figura 1-13: Descrizione della struttura del dataset in SimaPro

Riguardo la sezione 4 della struttura del dataset riportata nella Figura 1-13, si ritiene fondamentale indagare sulla distinzione tra dataset APOS e Cut-Off, in quanto nel corso della trattazione costituirà un importante elemento di valutazione:

- APOS: letteralmente significa “at the point of substitution”. Ciò significa che in un dataset di questa tipologia i benefici del riciclo possono essere osservati solamente nei processi di smaltimento. In altre parole, i materiali utilizzati per la modellazione risultano tutti vergini, senza alcuna componente riciclata. Il riciclo, se previsto, si esplicherà solo nel fine vita.
- Cut-Off: rappresentano quei dataset che, al contrario dei precedenti, mostrano i benefici del riciclo già nella fase material, ossia nella fase di modellazione del prodotto. Ciò sta a significare che si useranno in percentuale diversa materiali vergini e materiali riciclati per la realizzazione del prodotto.

1.2.1.2 INTERFACCIA DI INPUT

L’interfaccia di input del software è formata nel seguente modo (si riporta l’elenco in ordine cronologico/di scelta):

1. Selezione del progetto

Si sceglie il progetto all’interno del quale si intende lavorare. Nel caso di un nuovo progetto, ovviamente si provvederà alla creazione di uno ad hoc.

2. Selezione della banca dati

SimaPro mette a disposizione diverse banche dati a cui è possibile fare riferimento.

Si riporta la cattura schermo dell'interfaccia.

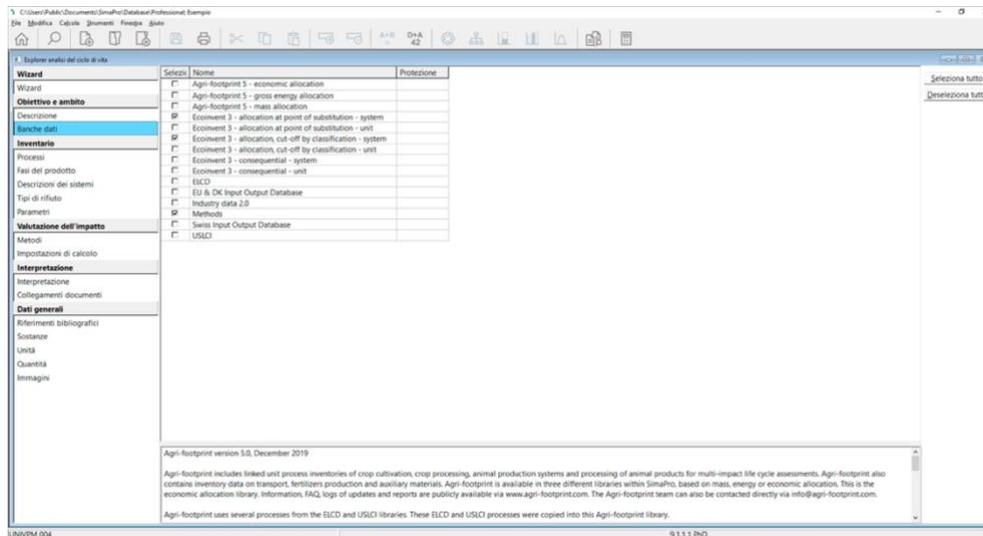


Figura 1-14: Interfaccia di SimaPro per la selezione della banca dati

Nelle analisi svolte, di cui si parlerà ampiamente nei prossimi capitoli, si intenderà selezionata la banca dati EcoInvent3 descritta nel paragrafo 1.1.4.2.

In particolare, si farà riferimento alla dicitura “system” per lo studio, per l’analisi dei dataset, invece, si selezionerà “unit”.

La differenza tra “system” e dicitura “unit” va trovata all’interno dell’analisi del ciclo vita di un prodotto. Solitamente la produzione di un determinato tipo di materiale include al suo interno tutte le procedure di estrazione, trasporto e conversione del materiale stesso. La selezione “unit” permetterà di considerare tutti i processi a monte del mio materiale considerato, mostrandoli all’utente. La selezione “system”, allo stesso modo, permetterà di considerare le stesse attività sopra citate, ma può essere paragonata a una scatola nera: non è possibile visionare tali passaggi. In altre parole, se nella dicitura “unit” le operazioni preliminari sono chiaramente distinguibili e classificabili, nella dicitura “system” sono incluse e registrate nel record del processo, ma non sono individuabili.

Si riporta di seguito una rappresentazione di ciò appena descritto per chiarezza.

ecoinvent distinguishes unit and system processes

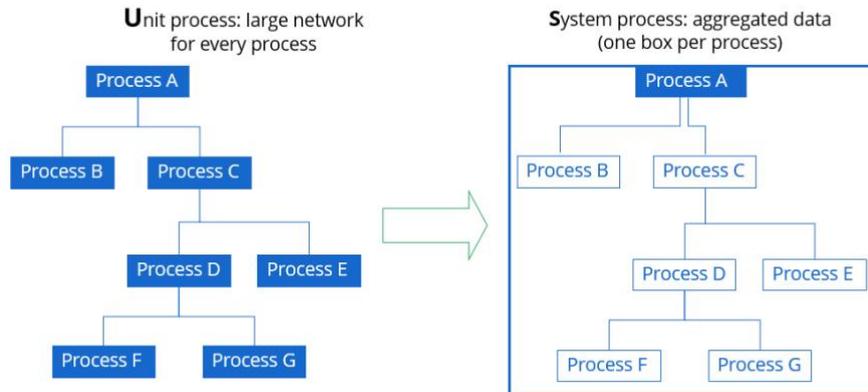


Figura 1-15: Differenza in Ecoinvent tra processi unit e system

3. Selezione dei processi

In questo stadio, come si può vedere nella cattura schermo sotto riportata, si fa riferimento ai materiali, all'energia, al trasporto, alle elaborazioni, all'uso e ai processi di smaltimento che verranno poi richiamati in "Fasi del prodotto".

In particolare, nella trattazione che seguirà si farà sempre riferimento allo scenario di smaltimento e ai processi di smaltimento, in quanto argomenti oggetti di studio della tesi. Pertanto, questa interfaccia verrà utilizzata solamente per la creazione dello scenario di smaltimento.

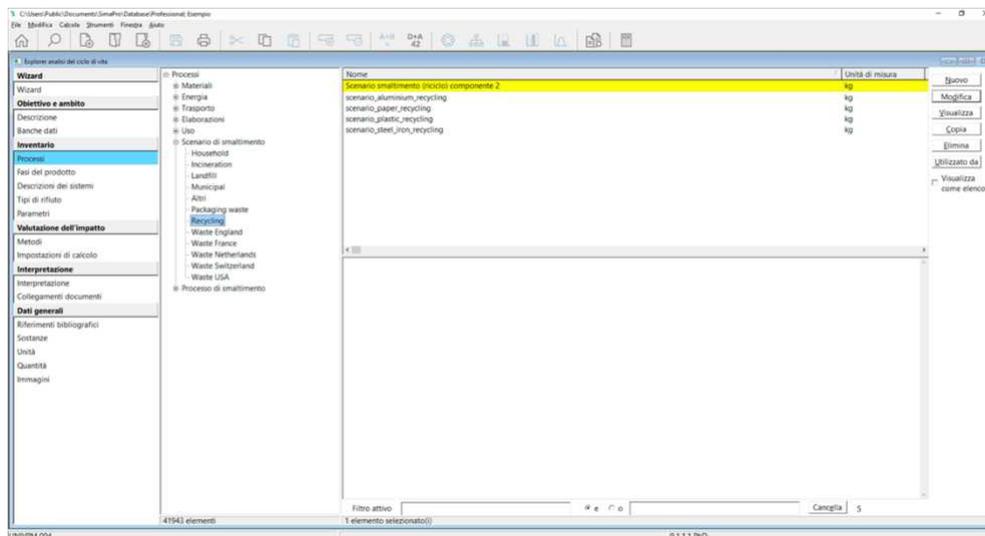


Figura 1-16: Interfaccia di SimaPro per la selezione dei processi

4. Selezioni delle fasi del prodotto

La fase successiva consiste nell'impostare tutte le procedure relative alla modellazione del ciclo di vita nel software. Si generano pertanto tutte le fasi del ciclo vita, richiamando i materiali e i processi di lavorazione.

Nella trattazione di questa, come già anticipato, si citerà solamente la fase del fine vita.

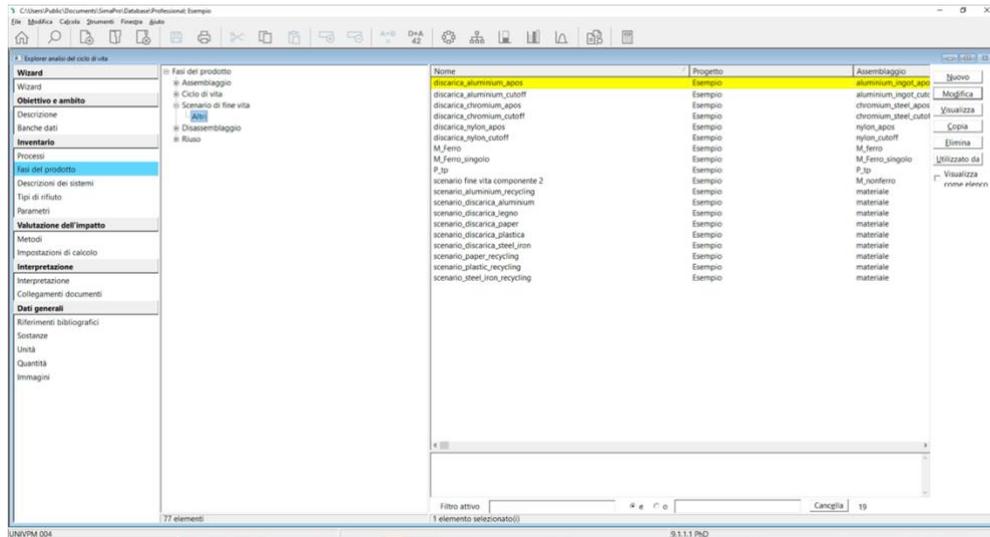


Figura 1-17: Interfaccia di SimaPro per la selezione di fasi del prodotto

5. Selezione del metodo di calcolo utilizzato

È necessario indicare la modalità di calcolo con la quale si intende svolgere l'intera analisi LCA. Nella cattura schermo seguente sono raffigurate tutte le possibili opzioni messe a disposizione nel software.

L'analisi descritta in questa sede si riferisca a metodi di calcolo "EF Method (Adapted)" e "EF 3.0 Method (adapted)".

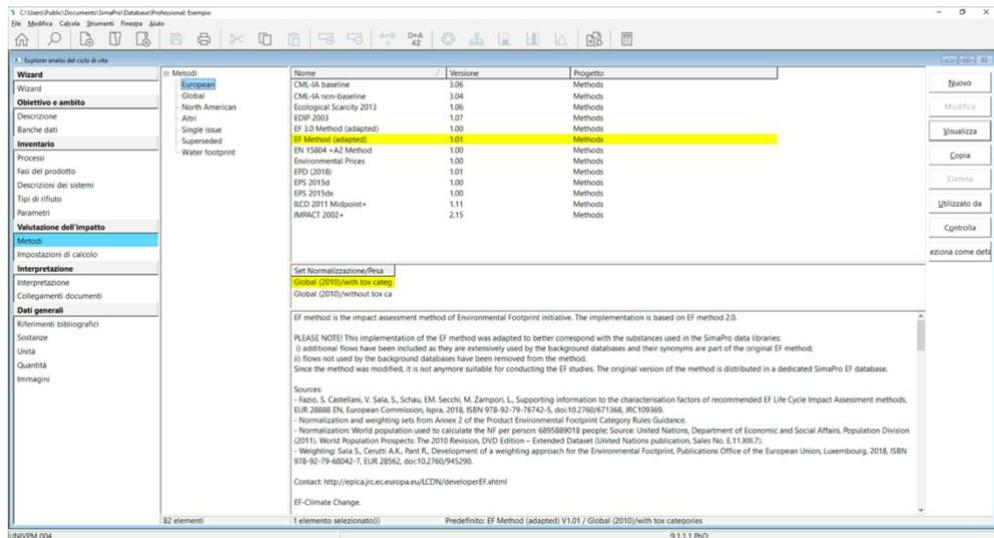


Figura 1-18: Interfaccia di SimaPro per la selezione del metodo

6. Lancio dell'analisi

In quest'ultima fase si predispone il programma al calcolo con gli input da noi forniti. Può essere effettuato tramite il pulsante "Analizza" nella barra menù.

1.2.1.3 INTERFACCIA DI OUTPUT

L'interfaccia output è composta dalle seguenti voci (si riportano in ordine casuale):

1. Valutazione dell'impatto

In questa sezione si visualizzano numericamente e graficamente i risultati dell'analisi LCA.

Selezione	Categoria d'impatto	Unità	Totale	scenario_aluminium_recycling
IP	Climate change	kg CO2 eq	19,9	19,9
IP	Ozone depletion	kg CFC11 eq	-7,02E-7	-7,02E-7
IP	Ionising radiation, HH	kgEq U-235 eq	-0,407	-0,407
IP	Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	-0,0611	-0,0611
IP	Respiratory inorganics	kg SO2 eq	1,54E-6	1,54E-6
IP	Non-cancer human health effects	CTUh	-3,48E-6	-3,48E-6
IP	Cancer human health effects	CTUh	-1,28E-6	-1,28E-6
IP	Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	-0,129	-0,129
IP	Eutrophication freshwater	kg P eq	-0,00643	-0,00643
IP	Eutrophication marine	kg N eq	-0,0299	-0,0299
IP	Eutrophication terrestrial	mol N eq	-0,217	-0,217
IP	Ecotoxicity freshwater	CTUeq	-18,4	-18,4
IP	Land use	ha	-274	-274
IP	Water scarcity	m3 depriv.	-246	-246
IP	Resource use, energy carriers	MJ	-183	-183
IP	Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	-5,07E-5	-5,07E-5
IP	Climate change - fossil	kg CO2 eq	-19,9	-19,9
IP	Climate change - biogenic	kg CO2 eq	-0,0277	-0,0277
IP	Climate change - land use and transform.	kg CO2 eq	-0,0555	-0,0555

Figura 1-19: Interfaccia di SimaPro per la valutazione dell'impatto - numeri

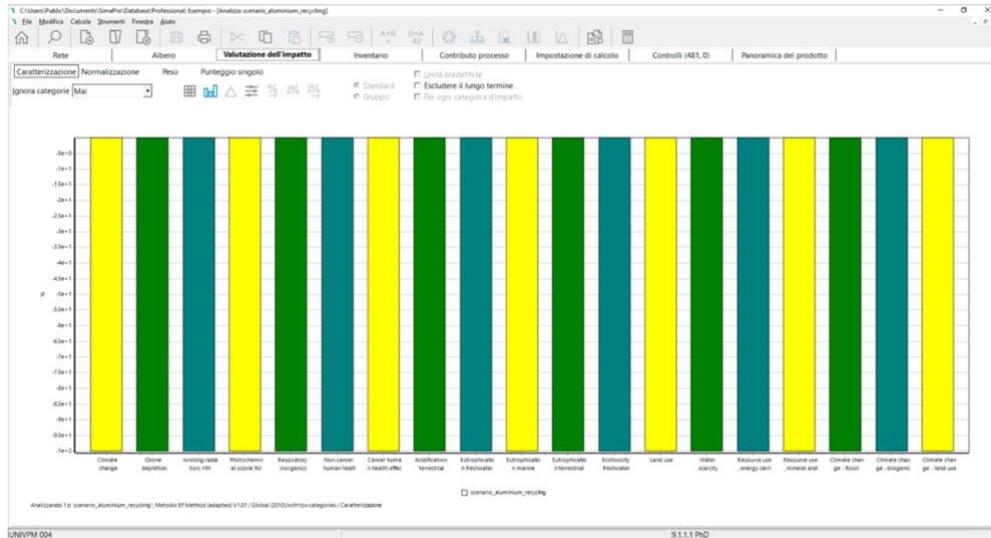


Figura 1-20: Interfaccia di SimaPro per la valutazione dell'impatto - grafico

2. Albero

In una struttura ad albero ogni processo è mostrato con i suoi input. Se ad esempio dieci processi si riferiscono ad un unico processo, saranno mostrati dieci volte. Di conseguenza, è una rappresentazione piuttosto larga in termini di spazio e non molto efficiente. D'altra parte, il grafico ad albero può essere facilmente compreso.

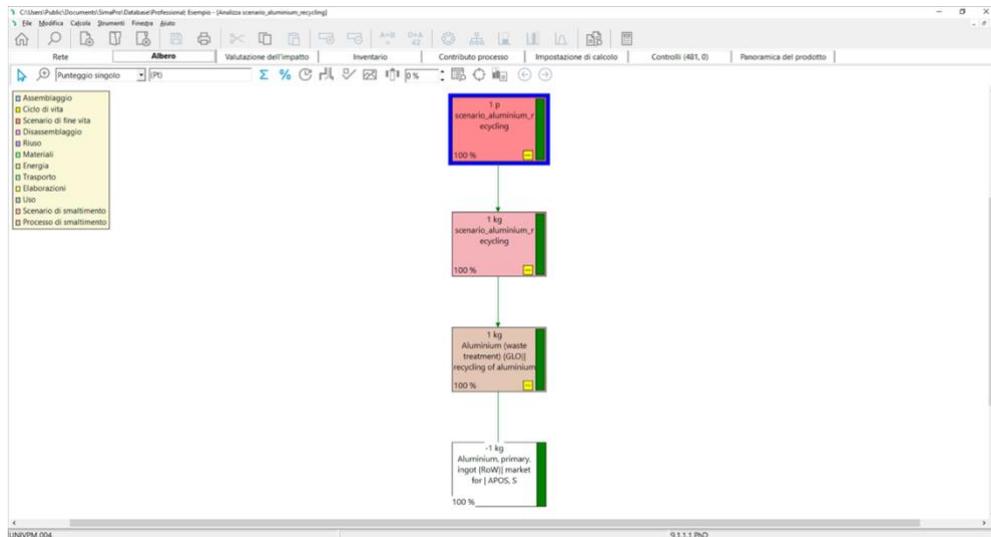


Figura 1-21: Interfaccia di SimaPro per la visualizzazione ad albero

3. Rete

In una struttura a rete ogni processo è mostrato una sola volta. Se due o dieci processi si riferiscono allo stesso processo, verrà visualizzato una sola volta. Rispetto alla

struttura ad albero, è più conveniente in termini di spazio; talvolta però può risultare di difficile comprensione.

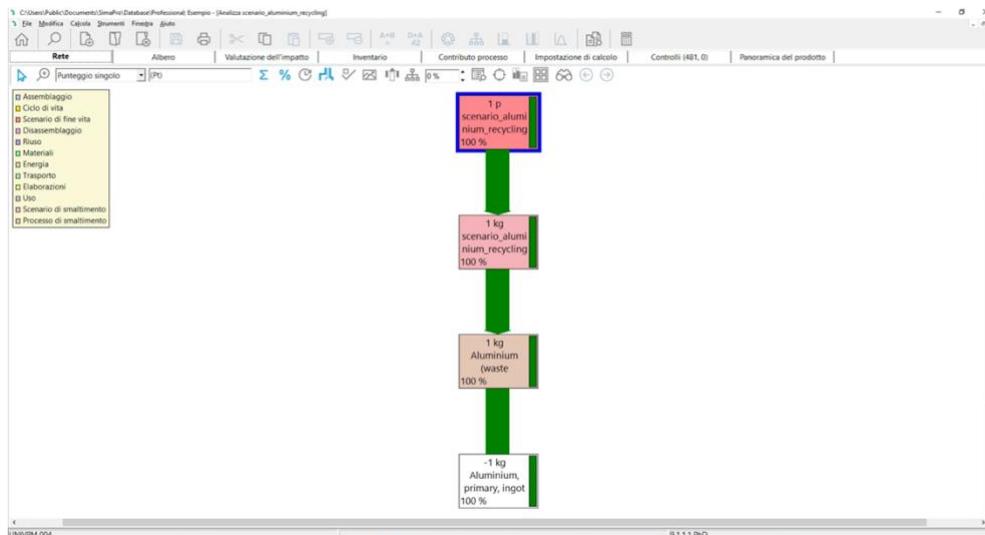


Figura 1-22: Interfaccia di SimaPro per la visualizzazione a rete

Le altre sezioni non sono discusse nel seguente scritto in quanto non sono state utilizzate per la valutazione.

1.2.1.4 ENVIRONMENTAL FOOTPRINT DATABASE (EF METHOD)

Il database Environmental Footprint (EF) fa parte di un progetto approvato dall'Unione Europea, denominato European Commission's Single Market for Green Products Initiative.

L'approccio EF si basa sulle regole della categoria di impronta ambientale del prodotto (Product Environmental Footprint Category Rules – PEFCRs) e su quelle del settore dell'impronta ambientale dell'organizzazione (Organisation Footprint Sector Rules – OEFSRs). Ogni PEFCRs include l'impronta ambientale dei prodotti europei medi.

Di conseguenza, tramite questo è possibile confrontare gli impatti del prodotto studiato con la media europea.

Nella restituzione dei parametri di valutazione dell'analisi LCA, il software fornisce una classificazione degli impatti in base alla metodologia inserita.

Si riporta la tassonomia del metodo EF con una breve descrizione delle categorie di impatto. Si rende noto che le analisi che verranno fatte in seguito si riferiranno alla seguente metodologia.

Categorie d'impatto	Unità di misura	Descrizione
Climate change	<i>kg CO2 eq</i>	Capacità di un gas a effetto serra di influenzare i cambiamenti della temperatura media globale dell'aria a livello del suolo e alle successive variazioni di diversi parametri climatici e dei loro effetti (espresso in cento anni)
Ozone depletion	<i>kg CFC11 eq</i>	Degradazione dell'ozono stratosferico dovuta alle emissioni di sostanze lesive dell'ozono, quali gas contenenti cloro e bromo di lunga durata
Ionising radiation	<i>kBq U-235 eq</i>	Effetti negativi sulla salute umana causati da emissioni radioattive
Photochemical ozone formation	<i>kg NMVOC eq</i>	Formazione di ozono a livello del suolo della troposfera causata da ossidazione fotochimica di composti organici volatili (VOC) e monossido di carbonio (CO) in presenza di ossidi di azoto (Nox) e luce solare
Respiratory inorganics	<i>disease inc.</i>	Effetti avversi sulla salute umana causati dalle emissioni di particolato (PM) e dai precursori (Nox, Sox, NH3)
Non-cancer human health effects	<i>CTUh</i>	Effetti negativi sulla salute degli esseri umani causati dall'assunzione di sostanze tossiche per inalazione di aria, ingestione di cibo/acqua, penetrazione cutanea, nella misura in cui si tratta di sostanze non cancerogene non causate da particolati/smog provocato dalle emissioni di sostanze inorganiche o da radiazioni ionizzanti
Cancer human health effects	<i>CTUh</i>	Effetti negativi sulla salute degli esseri umani causati dall'assunzione di sostanze tossiche per inalazione di aria, ingestione di cibo/acqua, penetrazione cutanea, nella misura in cui si tratta di sostanze cancerogene
Acidification terrestrial and freshwater	<i>mol H+ eq</i>	Ripercussioni delle sostanze acidificanti sull'ambiente
Eutrophication freshwater Eutrophication marine	<i>kg P eq</i>	I nutrienti (principalmente azoto e fosforo) di scarichi fognari e terreni agricoli fertilizzati accelerano la crescita di alghe e altra vegetazione nelle acque. Il deterioramento di materiale organico consuma ossigeno provocando così carenza dello stesso e, in alcuni casi, moria ittica
Eutrophication terrestrial	<i>mol N eq</i>	I nutrienti (principalmente azoto e fosforo) di scarichi fognari e terreni agricoli fertilizzati accelerano la crescita di vegetazione. Il deterioramento di materiale organico consuma ossigeno provocando così carenza dello stesso
Ecotoxicity freshwater	<i>CTUe</i>	Impatti tossici su un ecosistema che danneggiano le singole specie e modificano la struttura e la funzione dell'ecosistema
Land use	<i>Pt</i>	Utilizzo e trasformazione del territorio con attività quali agricoltura, costruzione di strade, case, miniere, etc.
Water scarcity	<i>m3 depriv.</i>	Uso di m3 di acqua connesso alla scarsità locale di acqua
Resource use, energy carriers	<i>MJ</i>	Quantificazione dei consumi energetici di un sistema produttivo nell'arco dell'intero ciclo di vita
Resource use, mineral and metals	<i>kg Sb eq</i>	Quantità in kg di antimonio equivalente
Climate change – fossil	<i>kg CO2 eq</i>	Impatto dei consumi energetici sul cambiamento climatico
Climate change – biogenic	<i>kg CO2 eq</i>	Impatto delle sostanze biogeniche sul cambiamento climatico
Climate change – land use and transform.	<i>Kg CO2 eq</i>	Impatto dell'uso e trasformazione del territorio sul cambiamento climatico

Tabella 1-2: Classificazione delle categorie di impatto

1.3 Tool semplificato

Nell'ambito dell'LCA, come già anticipato nell'Introduzione, alcuni studenti dell'Università Politecnica delle Marche hanno sviluppato un Tool semplificato su Excel che permette di valutare l'impatto ambientale di un prodotto in maniera più efficiente in termini di tempo e di accessibilità. Il Tool può essere definito una esemplificazione di SimaPro.

In questa sezione si intende dare una panoramica generale del modello. I contributi apportati allo stesso verranno poi ampiamente descritti nei capitoli successivi.

Per l'estrazione dei dati contenuti nel Tool semplificato, si fa di nuovo presente che è utilizzata la banca dati Ecoinvent (vd.1.1.4.2) e il metodo EF.

1.3.1 Foglio di input

Il foglio di input è formato da 5 macrocategorie, dentro le quali sono riportate le categorie su cui è possibile selezionare fino a 5 dataset (estendibile), che riguardano materiali/processi/servizi. Per i dataset scelti si mostrano sia gli impatti unitari, estratti dal software e classificati nelle categorie citate nel paragrafo 1.2.1.4, sia gli impatti assoluti, definiti come impatti unitari moltiplicati per la quantità inserita dall'utente.

Si fornisce ora una breve descrizione dalle macrocategorie:

- energia (energy): costituita da un'unica categoria, energia elettrica a basso voltaggio. Possono essere selezionate le differenti provenienze (Europa – RER, Italia – IT, Germania – DE, Francia – FR, Cina – CN). Possono inoltre essere inseriti e calcolati fino a cinque scenari di funzionamento, in cui a ognuno si affida una diversa quantità di kilowattora.
- materiali (materials): sono presenti varie categorie riguardanti i materiali che si intendono considerare (leghe metalliche, metalli da estrazione, metalli ferrosi, metalli non ferrosi, metalli di scarto, biopolimeri, polimeri da riciclo, gomme, polimeri termoindurenti, polimeri termoplastici, acqua industriale, acqua di rubinetto, carta per imballaggi, scatoloni di carta, gpl, olio lubrificante, legno, materiali chimici).
- processi (manufacturing): è possibile selezionare le lavorazioni per asportazione di truciolo, le deformazioni plastiche e le lavorazioni tipiche dei polimeri in ambito globale (GLO).
- trasporti (transports): sono selezionabili dataset riferenti a tre tipologie di trasporto (via terra, via aria e via mare).

Si riportano delle catture schermo del Tool Semplificato. Il menu a tendina che compare nella prima immagine costituisce l'interfaccia tramite cui l'utente può selezionare il dataset.

ENERGY		CALCOLO ENERGIA	
DESCRIZIONE	QUANTITA'	SCELTA ENERGIA	Località Geografica
Funzionamento 1	20000	Electricity, low voltage (IT) market for APOS, S	Italia
Funzionamento 2	0	Electricity, low voltage (FR) market for APOS, S	
Funzionamento 3	0	Electricity, low voltage (IT) market for APOS, S	
Funzionamento 4	0	Electricity, low voltage (DE) market for APOS, S	
Funzionamento 5	0	Electricity, low voltage (CN) market group for APOS, S	
IMPATTO TOTALE ENERGIA ELETTRICA			8,65E+03

Figura 1-23: Sezione "Energia" in input nel Tool semplificato

MATERIALS		LEGHE METALLICHE	
DESCRIZIONE	QUANTITA'	SCELTA LEGHE METALLICHE	Tipologia di Rifiuto
	5,402472924	Aluminium alloy, metal matrix composite (GLO) market for APOS, S	Non-ferro
IMPATTO TOTALE LEGHE METALLICHE			2,68E+01

Figura 1-24: Categoria "Leghe metalliche" della sezione "Materiali" in input nel Tool semplificato

MANUFACTURING		LAVORAZIONI PER ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO	
DESCRIZIONE	QUANTITA'	SCELTA LAVORAZIONI PER ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO	Climate change
	7,647346588	Chromium steel removed by turning, average, computer numerical controlled (GLO) market for APOS, S	8,49E+00
	2,90627109	Chromium steel removed by drilling, computer numerical controlled (GLO) market for APOS, S	6,49E+01
	5,749837539	Chromium steel removed by milling, average (GLO) market for APOS, S	2,11E+01
	6,269854358	Cast iron removed by turning, average, computer numerical controlled (GLO) market for APOS, S	7,22E+00
	3,134927179	Cast iron removed by milling, average (GLO) market for APOS, S	2,90E+01
	4,245014784	Steel removed by turning, average, computer numerical controlled (GLO) market for APOS, S	3,93E+00
	1,658818501	Steel removed by drilling, computer numerical controlled (GLO) market for APOS, S	1,23E+01
	0,727519386	Aluminium removed by turning, average, computer numerical controlled (GLO) market for APOS, S	5,19E+00
	0,455145338	Aluminium removed by drilling, computer numerical controlled (GLO) market for APOS, S	2,20E+01
	0,451684409	Aluminium removed by milling, average (GLO) market for APOS, S	4,33E+00
	0,613658639	Steel removed by milling, average (GLO) market for APOS, S	7,18E+00
IMPATTO TOTALE LAVORAZIONI PER ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO			2,24E+02

Figura 1-25: Sezione "Manufacturing" in input nel Tool semplificato

TRANSPORT		TRASPORTI	
DESCRIZIONE	QUANTITA'	SCELTA TRASPORTI	Tipologia di Trasporto
	18,13701283	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro4 (RER) market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 APOS, S	truck
	441,9134638	Transport, freight, sea, container ship (GLO) market for transport, freight, sea, container ship APOS, S	boat
IMPATTO TOTALE TRASPORTI			7,19E+00

Figura 1-26: Sezione "Trasporti" in input nel Tool semplificato

1.3.2 Foglio di output

In questo foglio, vengono richiamati i totali delle macrocategorie per ogni categoria di impatto, sia in valore numerico sia in valore percentuale. Questi vengono riclassificati in “Energy”, “Materials+Manufacturing” e “Transport”.

Sono presenti in aggiunta una serie di grafici in cui vengono visualizzati sia gli impatti totali sia gli impatti per singola macrocategoria.

Per semplicità, si riporta solamente la tabella degli impatti totali del caso studio. I grafici e i risultati specifici verranno riportati direttamente nel Capitolo 4.

Categoria d'impatto	Unità di misura	Total	Energy	Materials+ Manufacturing	Transport	End of life	% Energy	% Materials + Manufacturing	% Transport	% End of life
Climate change	kg CO2 eq	9,57E+03	8,65E+03	9,31E+02	7,19E+00	-1,59E+01	90%	10%	0%	0%
Ozone depletion	kg CFC11 eq	6,97E+00	1,30E-03	6,97E+00	1,52E-06	-8,06E-07	0%	100%	0%	0%
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	1,17E+03	1,08E+03	9,42E+01	4,79E-01	-3,50E-01	92%	8%	0%	0%
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	3,09E+01	2,07E+01	1,02E+01	1,12E-01	-9,71E-02	67%	33%	0%	0%
Respiratory inorganics	disease inc.	6,97E+00	1,86E-04	6,97E+00	3,48E-07	-2,19E-06	0%	100%	0%	0%
Non-cancer human health effects	CTUh	6,97E+00	8,54E-04	6,97E+00	6,36E-07	-2,16E-06	0%	100%	0%	0%
Cancer human health effects	CTUh	6,97E+00	1,04E-04	6,97E+00	7,52E-08	1,39E-07	0%	100%	0%	0%
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	5,95E+01	4,60E+01	1,34E+01	1,51E-01	-9,37E-02	77%	23%	0%	0%
Eutrophication freshwater	kg P eq	1,02E+01	2,72E+00	7,51E+00	3,72E-04	-6,30E-03	27%	73%	0%	0%
Eutrophication marine	kg N eq	1,51E+01	7,04E+00	8,07E+00	3,85E-02	1,09E-03	46%	53%	0%	0%
Eutrophication terrestrial	mol N eq	9,58E+01	7,75E+01	1,81E+01	4,27E-01	-2,09E-01	81%	19%	0%	0%
Ecotoxicity freshwater	CTUe	6,26E+03	3,47E+03	2,79E+03	8,89E+00	-5,39E+00	55%	45%	0%	0%
Land use	Pt	6,95E+05	6,02E+05	9,35E+04	9,58E+01	-8,99E+02	87%	13%	0%	0%
Water scarcity	m3 depriv.	7,20E+03	6,88E+03	3,17E+02	2,21E-01	-9,86E-01	96%	4%	0%	0%
Resource use, energy carriers	MJ	1,39E+05	1,28E+05	1,11E+04	9,85E+01	-1,98E+02	92%	8%	0%	0%
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	7,28E+00	8,52E-02	7,19E+00	1,06E-04	-9,52E-05	1%	99%	0%	0%
Climate change- fossil	kg CO2 eq	9,47E+03	8,60E+03	8,87E+02	7,18E+00	-2,52E+01	91%	9%	0%	0%
Climate change- biogenic	kg CO2 eq	1,05E+02	4,68E+01	4,92E+01	1,82E-03	9,36E+00	44%	47%	0%	9%
Climate change- land use and transform.	kg CO2 eq	1,77E+01	8,90E+00	8,78E+00	4,09E-03	-5,14E-03	50%	50%	0%	0%

Tabella 1-3: Impatti totali del caso studio in output nel Tool semplificato

Si riporta infine lo schema di funzionamento del Tool semplificato.

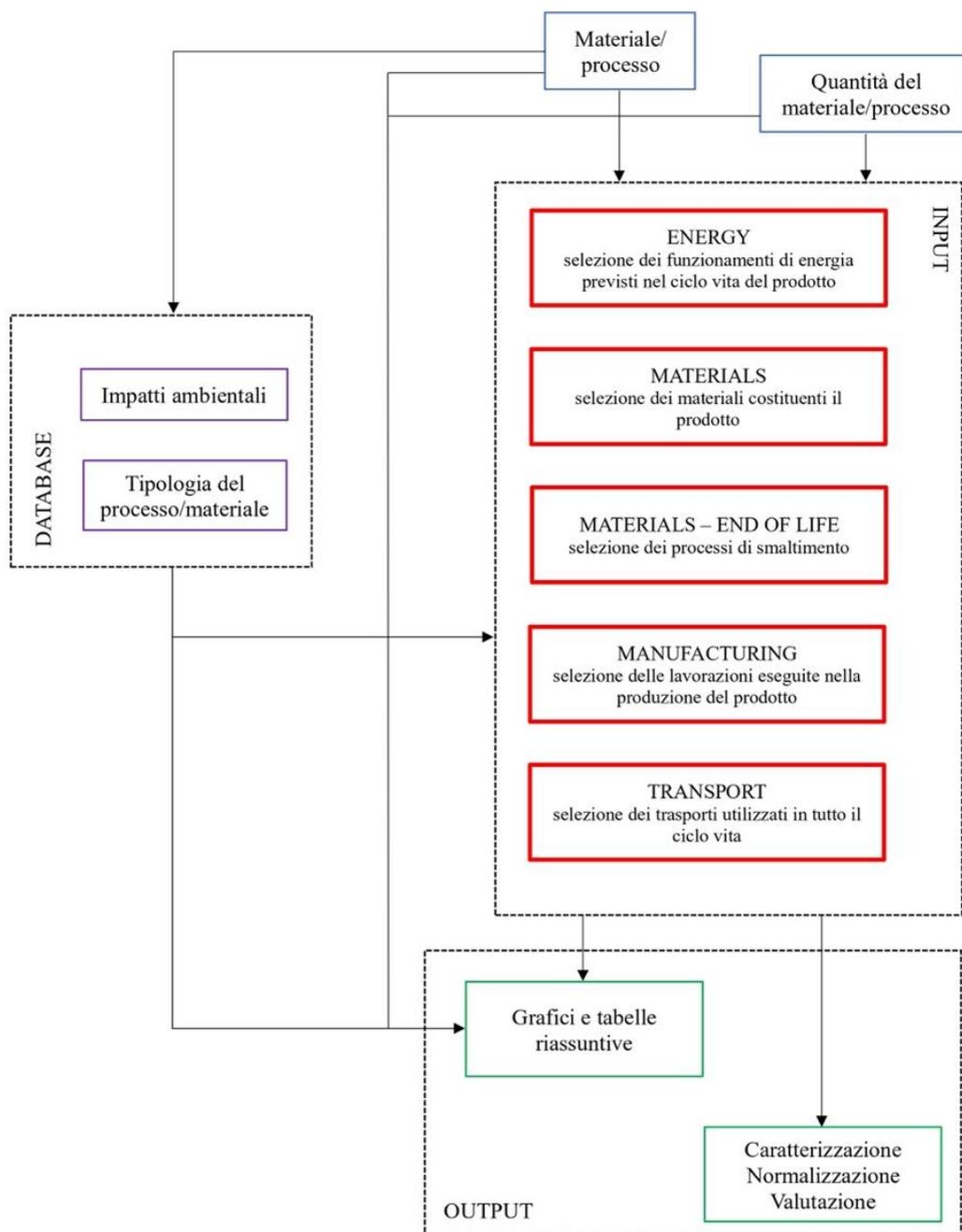


Figura 1-27: Schema di funzionamento del Tool semplificato

Capitolo 2

METODO

Il lavoro effettuato si è articolato in quattro fasi:

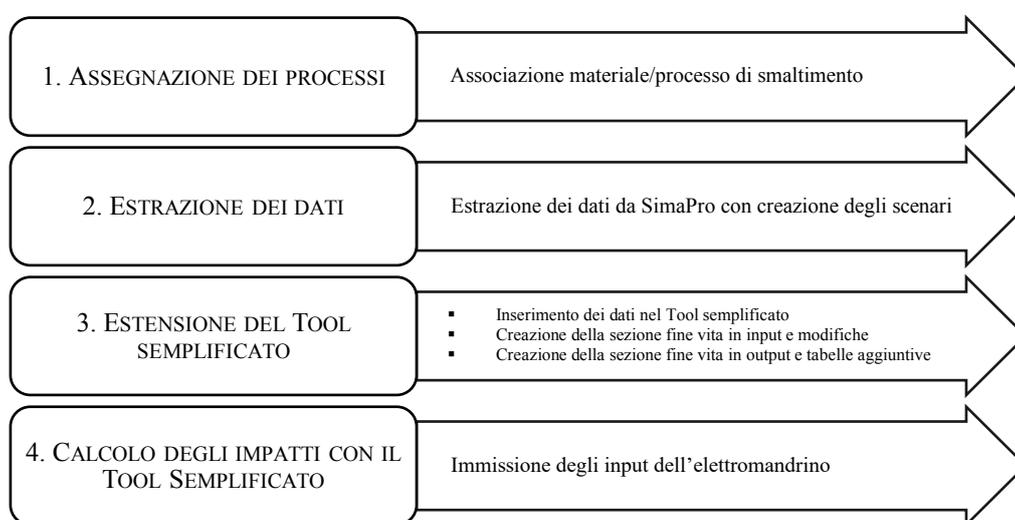


Figura 2-1: Ordine delle fasi di lavoro

Nella prima fase, a partire dai materiali che dovevano essere sottoposti ad analisi e dall'insieme dei processi di smaltimento forniti dal software utilizzato (SimaPro), si è ottenuta una tabella costituita da due colonne: materiali e processi. A ogni materiale si è fatto corrispondere un determinato processo, facendo in modo che ci fosse coerenza tra i due. Per fare ciò, si è dovuto indagare sulla struttura del dataset e sulla tipologia del materiale.

Nella seconda fase, si è passati all'estrazione dei dati dal software. Dunque, si sono effettuate su SimaPro tutte le simulazioni con i materiali e i processi associati, partendo dalla creazione dello scenario per poi arrivare ai risultati stessi. Quest'ultimi sono poi stati esportati in un foglio di calcolo Excel.

La terza fase si è articolata in tre step:

- a. inserimento dei dati: si sono riportati i dati estratti nel Tool semplificato;
- b. creazione della sezione apposita in input: si è creata nella pagina input del tool la sezione a cui si riferiscono i dati inseriti;

- c. creazione della sezione apposita in output: nella pagina output del tool si sono inseriti le tabelle e i grafici che visualizzano gli impatti totali.

Nell'ultima fase, infine, si sono inseriti nel Tool semplificato i dati relativi al caso studio, ossia l'elettromandrino, rendendo dunque il sistema funzionante per un calcolo reale.

Si esplicitano ora le fasi sopra elencate con riferimento al lavoro effettivamente svolto.

2.1 Assegnazione dei processi

In questa prima fase gli input erano composti nel seguente modo:

- lista di 371 materiali circa del Tool semplificato, appartenenti alle varie tipologie di materiale proposto da SimaPro (alluminio, biopolimeri, carta e cartone, rame, non-ferro, polietilene - PE, polietilene tereftalato - PET, polipropilene - PP, polistirene - PS, poliuretano - PUR, cloruro di polivinile - PVC, polivinilidencloruro - PVDC, plastica, gomma, ferro, acciaio, zincati e non definiti);
- lista dei processi di smaltimento selezionati di SimaPro.

Come anticipato nell'Introduzione, l'analisi si è rivolta ai processi di riciclo e di discarica.

Per il riciclo, sono state analizzate solo le categorie inerenti ai materiali presenti.

Per la discarica si sono analizzati i processi ritenuti più significativi.

Di seguito si riportano in forma tabellare le liste dei processi studiati.

Le analisi si intendano effettuate per i materiali sia di tipo APOS sia di tipo Cut-Off.

Processi di riciclo
Aluminium (waste treatment) {GLO} recycling of aluminium
Steel and iron (waste treatment) {GLO} recycling of steel and iron
Paper (waste treatment) {GLO} recycling of paper
Core board (waste treatment) {GLO} recycling of core board
Mixed plastics (waste treatment) {GLO} recycling of mixed plastics
PE (waste treatment) {GLO} recycling of PE
PET (waste treatment) {GLO} recycling of PET
PP (waste treatment) {GLO} recycling of PP
PS (waste treatment) {GLO} recycling of PS
PVC (waste treatment) {GLO} recycling of PVC

Tabella 2-1: Elenco dei processi di riciclo analizzati

<i>Inert Material Landfill</i>
Inert waste, for final disposal treatment of inert waste, inert material landfill
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill
Inert waste, for final disposal {RoW} treatment of inert waste, inert material landfill
Scrap steel treatment of, inert material landfill
Scrap steel {RoW} treatment of, inert material landfill
Scrap steel {Europe without Switzerland} treatment of scrap steel, inert material landfill
Scrap steel {CH} treatment of, inert material landfill
Waste paperboard treatment of, inert material landfill
Waste paperboard {CH} treatment of, inert material landfill
Waste paperboard {RoW} treatment of, inert material landfill
Waste polyurethane treatment of, inert material landfill
Waste polyurethane {CH} treatment of, inert material landfill
Waste polyurethane {RoW} treatment of, inert material landfill
<i>Sanitary Landfill</i>
Inert waste treatment of, sanitary landfill
Inert waste {CH} treatment of, sanitary landfill
Municipal solid waste treatment of, sanitary landfill
Municipal solid waste {CA-QC} treatment of municipal solid waste, sanitary landfill
Municipal solid waste {CH} treatment of, sanitary landfill
Municipal solid waste {RoW} treatment of, sanitary landfill
Waste aluminium treatment of, sanitary landfill
Waste aluminium {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste aluminium {RoW} treatment of, sanitary landfill
Waste graphical paper treatment of, sanitary landfill
Waste graphical paper {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste graphical paper {RoW} treatment of, sanitary landfill
Waste paperboard treatment of, sanitary landfill
Waste paperboard {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste paperboard {RoW} treatment of, sanitary landfill
Waste plastic, mixture treatment of, sanitary landfill
Waste plastic, mixture {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste plastic, mixture {RoW} treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill
Waste polyethylene/polypropylene product treatment of, collection for final disposal
Waste polyethylene/polypropylene product {CH} treatment of, collection for final disposal
Waste polyethylene/polypropylene product {RoW} treatment of, collection for final disposal
Waste polyethylene/polypropylene product {Europe without Switzerland} treatment of waste polyethylene/polypropylene product, collection for final disposal
Waste polyethylene treatment of, sanitary landfill
Waste polyethylene {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste polyethylene {RoW} treatment of waste polyethylene, sanitary landfill
Waste polypropylene treatment of, sanitary landfill
Waste polypropylene {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste polypropylene {RoW} treatment of waste polypropylene, sanitary landfill
Waste polystyrene treatment of, sanitary landfill
Waste polystyrene {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste polystyrene {RoW} treatment of waste polystyrene, sanitary landfill
Waste polyurethane treatment of, sanitary landfill
Waste polyurethane {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste polyurethane {RoW} treatment of, sanitary landfill
Waste polyvinylchloride treatment of, sanitary landfill
Waste polyvinylchloride {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste polyvinylchloride {RoW} treatment of waste polyvinylchloride, sanitary landfill
Waste wood, untreated treatment of, sanitary landfill
Waste wood, untreated {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste wood, untreated {RoW} treatment of, sanitary landfill
<i>Unsanitary Landfill</i>
Municipal solid waste treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, dry infiltration class (100mm)
Municipal solid waste treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, hyperarid infiltration class (-250mm)
Municipal solid waste treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, moist infiltration class (300mm)
Municipal solid waste treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, very wet infiltration class (1000mm)
Municipal solid waste treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, wet infiltration class (500mm)

Tabella 2-2: Elenco dei processi di discarica analizzati

Quello che si ottiene in output è una tabella a due colonne, in cui nella prima si ha il materiale e nella seconda il processo di smaltimento ad esso associato.

Si riportano alcuni esempi del caso del riciclo come rappresentanza.

Tipologia di materiale	Tipologia di processo di smaltimento
Aluminium, primary, ingot {RoW} market for APOS, S	Aluminium (waste treatment) {GLO} recycling of aluminium APOS, S
Cast iron {GLO} market for APOS, S	Steel and iron (waste treatment) {GLO} recycling of steel and iron APOS, S
Poly lactide, granulate {GLO} market for APOS, S	Mixed plastics (waste treatment) {GLO} recycling of mixed plastics APOS, S
Polystyrene scrap, post-consumer {GLO} market for APOS, S	PS (waste treatment) {GLO} recycling of PS APOS, S

Tabella 2-3: Esempio di associazione materiale - processo di smaltimento

2.2 Estrazione dei dati

Nella seconda fase gli output del passo precedente sono diventati input. Si è passati dunque su SimaPro per effettuare le simulazioni richieste.

Per chiarezza dei risultati, di cui si discuterà successivamente, seguendo l'ordine di immissione degli input fatto nel paragrafo 1.2.1.2, si riporta in maniera più dettagliata l'intero iter, solo però per lo scenario di riciclo, intendendo quello di discarica uguale se non per differenziazione di processi.

1. Selezione del materiale

In "Fasi del prodotto", si inizia con la creazione del materiale nella sezione assemblaggio. Si indicano il materiale sottoposto allo studio e la quantità con la rispettiva unità di misura.

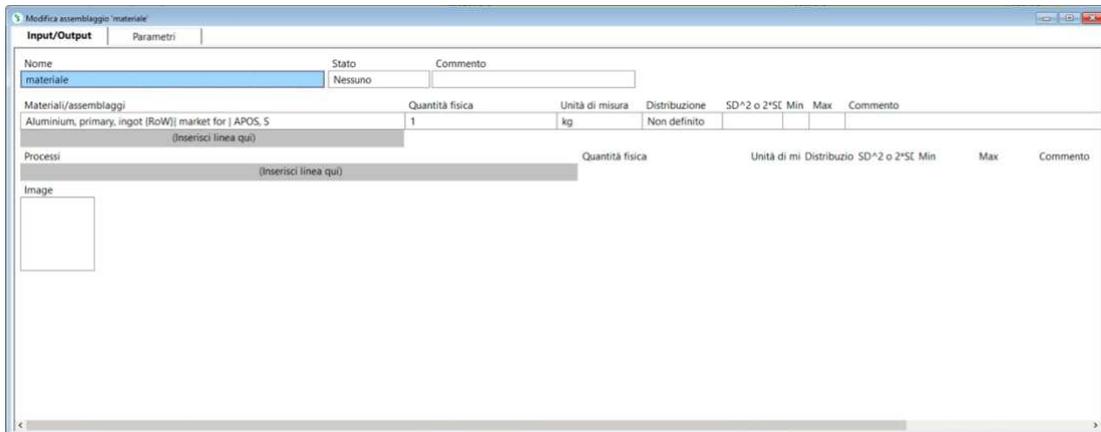


Figura 2-2: Finestra di dialogo in SimaPro per il richiamo del materiale

Si ritiene utile approfondire ulteriormente la sezione "materiali" proposta dal software. Nella successiva cattura schermo, è possibile notare come, accanto a ogni materiale selezionabile, SimaPro fornisca una classificazione in base alla natura dello stesso. Questa ripartizione sarà poi utilizzata successivamente nel Tool semplificato. Tra le varie categorie, risultano essere presenti "Non definito" e quelle senza dicitura,

per le quali non è stato possibile effettuare un'analisi, in quanto impossibili da collocare.

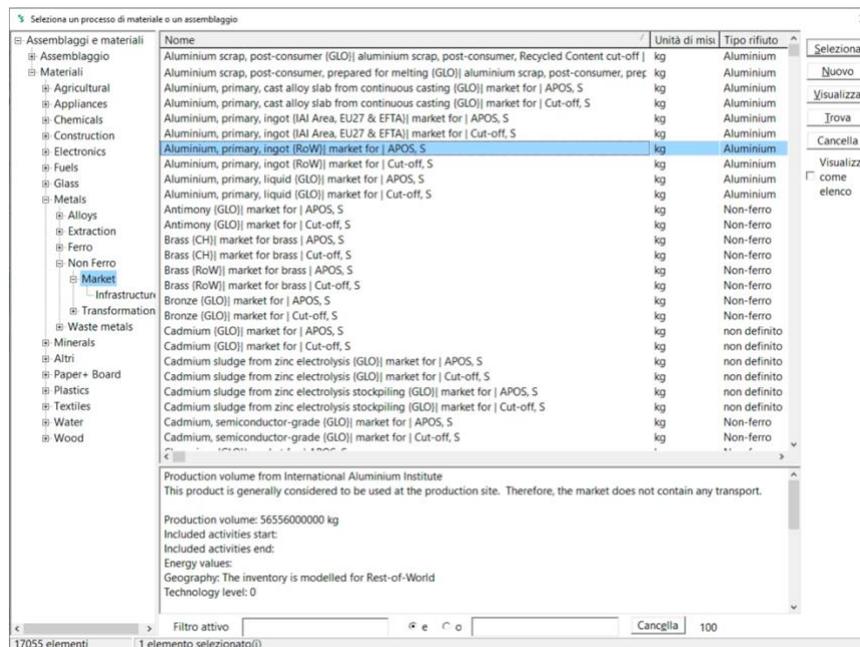


Figura 2-3: Finestra di dialogo in SimaPro per la selezione del materiale

2. Creazione dello Scenario di Smaltimento nella sezione “Processi”

In questo secondo step, si crea lo scenario di smaltimento nella sezione “Processi”. Per fare ciò, si procede nel seguente modo:

- si crea lo scenario;
- si assegnano nome e quantità;
- nella sezione “I tipi di materiale e/o rifiuto sono separati dallo stream rifiuto” si definiscono il processo di smaltimento e il corrispettivo materiale o la tipologia di materiale.

Si indica poi la percentuale del prodotto che si vuole destinare al suddetto scenario di smaltimento (nelle analisi si è assunta 100%);

- nella sezione “Flussi di rifiuto rimasti dopo la separazione” si inserisce un ulteriore scenario denominato “DummyWasteTreatment”, a cui si riferirà allo stesso modo una percentuale (nelle analisi si è assunta 100% perché l’insieme di riferimento era sempre costituito da un solo tipo di materiale).

Specificatamente, il DummyWasteTreatment è un processo fittizio realizzato in modo tale che tutti i materiali che non appartengono al tipo di rifiuto sopra selezionato, fluiscono in esso. Questo trattamento normalmente non possiede emissioni, perciò non viene visualizzato nelle sezioni di output “Albero” o “Rete”.

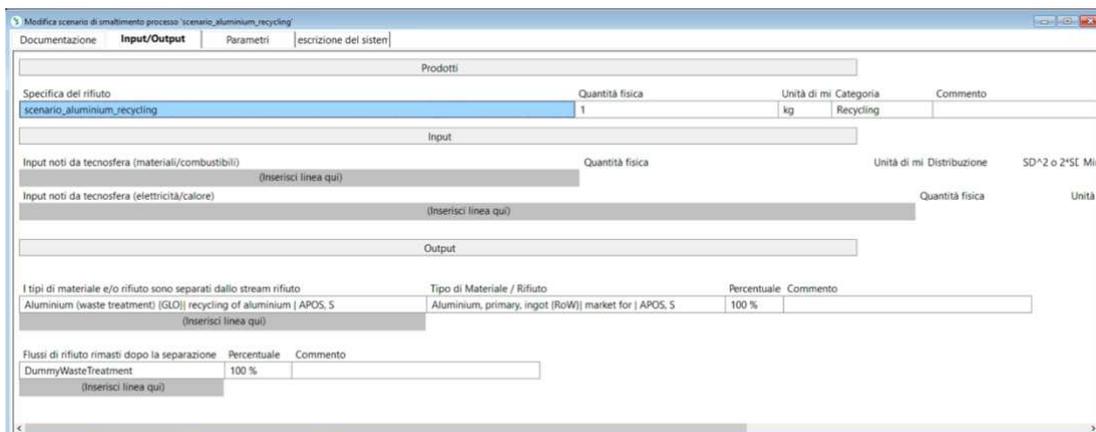


Figura 2-4: Finestra di dialogo in SimaPro per la creazione dello scenario di smaltimento

3. Selezione dello scenario di fine vita e lancio dell'analisi

In quest'ultimo step si provvede alla creazione dello scenario di fine vita in "Fasi del prodotto", all'interno del quale verranno richiamati lo scenario di smaltimento creato in "Processi" (con annessa percentuale) e il materiale (assemblaggio) modellato nel punto uno (con annessa quantità). Al termine di questo, si procede con il lancio dell'analisi.

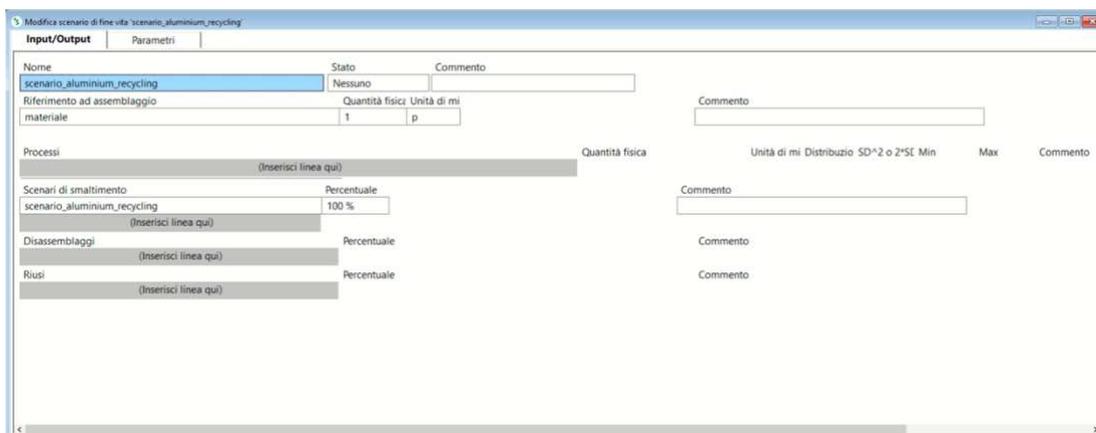


Figura 2-5: Finestra di dialogo in SimaPro per il richiamo del materiale e dello scenario

Si riporta di seguito uno schema riassuntivo dell'iter appena descritto. In particolare, i rettangoli tratteggiati indicano la sezione a cui gli input si riferiscono. È possibile notare come la creazione dello scenario di fine vita funga da collante tra gli input selezionati. È dunque l'interfaccia a cui si riferisce tutto il calcolo degli impatti ambientali.

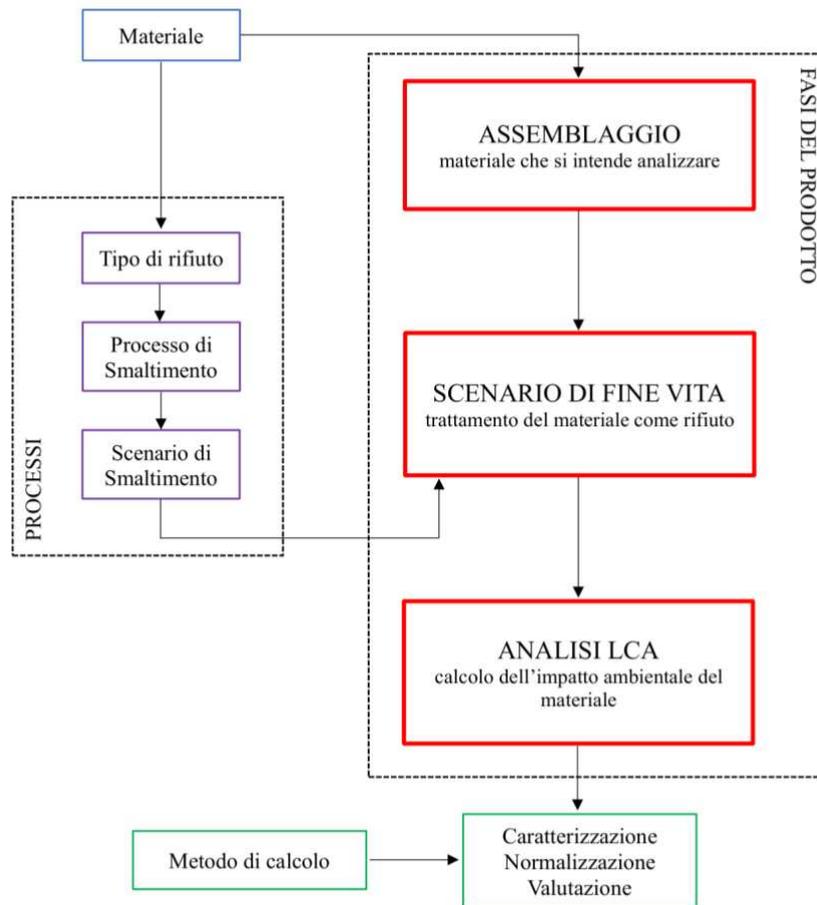


Figura 2-6: Schema riassuntivo del calcolo del fine vita in SimaPro

Alla fine dell'intera procedura riportata, la visualizzazione che si ottiene è quella riportata nel paragrafo 1.2.1.3. I dati ottenuti sono poi esportati in un file Excel.

2.3 Implementazione su Excel©

L'ultima fase, come già anticipato, si è suddivisa in tre sottofasi:

- inserimento dei dati nel Tool semplificato;
- creazione della sezione di fine vita in input e modifiche;
- creazione della sezione fine vita in output e tabelle aggiuntive.

2.3.1 Inserimento dei dati nel Tool semplificato

In un primo momento, si sono inseriti i dati estratti allo step precedente nel Tool semplificato, creando dei fogli appositi per gli scenari di discarica e di riciclo.

Per il riciclo, si è creato un unico foglio in cui vengono riportate le nomenclature dei dataset con le rispettive estrazioni unitarie.

Per la discarica, invece, si sono creati tanti fogli quante sono le tipologie di materiale a cui i processi si riferiscono. Quest'esigenza è nata dalla natura non univoca dei dataset; difatti, contrariamente ai processi di riciclo, i quali si riferiscono inequivocabilmente a una tipologia di materiale, i dataset della discarica coprono uno spettro di materiali più ampio e vario.

La possibilità di riportare l'estrazione unitaria dello specifico dataset, e quindi renderla universale per la tipologia di materiali alla quale si riferisce, si è resa concreta grazie alla comprensione del funzionamento del software SimaPro. Si rimanda al Capitolo 3, in cui si spiega tale concetto.

Categoria d'impatto	Climate chang	Ozone depletion	Ionising radiat	Photochemic	Respiratory inor	Non-cancer hun	Cancer human h	Acidification t
Unità	kg CO2 eq	kg CFC11 eq	kBq U-235 eq	kg NMVOC eq	disease inc.	CTUh	CTUh	mol H+ eq
Aluminium (waste treatment)	-19,933808	-7,02457E-07	-0,4071407	-0,0630978	-1,5401E-06	-3,48108E-06	-1,28113E-06	-0,1279522
-	0	0	0	0	0	0	0	0
Steel and iron (waste treatment)	-1,9495237	-6,28566E-08	-0,0263796	-0,0076016	-1,75453E-07	-1,77131E-07	-8,31369E-09	-0,0071567
-	0	0	0	0	0	0	0	0
Paper (waste treatment) (GLO)	-0,148881	-2,61727E-08	-0,0194564	-0,0015538	-5,53095E-08	-5,05573E-08	-3,27155E-09	-0,0015408
-	0	0	0	0	0	0	0	0
Core board (waste treatment)	-0,3940947	-5,21434E-08	-5,554909	-0,0027464	-5,56139E-08	-5,36463E-07	-1,36457E-07	-0,0043341
-	0	0	0	0	0	0	0	0
Mixed plastics (waste treatment)	-1,8121132	-9,20271E-08	-0,0718906	-0,0058833	-5,44626E-08	-8,68235E-08	-2,12878E-08	-0,0061765
-	0	0	0	0	0	0	0	0
PE (waste treatment) (GLO)	-1,5736074	-3,625E-08	-0,0729552	-0,0055917	-0,000000045	-5,441E-08	-1,914E-08	-0,0050333
-	0	0	0	0	0	0	0	0
PET (waste treatment) (GLO)	-2,4072806	-1,32374E-07	-0,1104465	-0,0075295	-8,03288E-08	-2,15655E-07	-3,89741E-08	-0,0096193
-	0	0	0	0	0	0	0	0
PP (waste treatment) (GLO)	-1,5539381	-1,65305E-08	-0,0417743	-0,004986	-4,48131E-08	-4,48803E-08	-1,20456E-08	-0,0047113
-	0	0	0	0	0	0	0	0
PS (waste treatment) (GLO)	-3,4422177	1,6336E-08	0,06310595	-0,0085232	-1,059E-07	1,7452E-08	-2,057E-08	-0,0114082
-	0	0	0	0	0	0	0	0
PVC (waste treatment) (GLO)	-1,6544784	-0,000001161	-0,25345	-0,0046702	-4,852E-08	-2,741E-07	-2,783E-08	-0,0072292
-	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 2-7: Foglio estrazione dati per il riciclo (alcune categorie di impatto)

Categoria d'impatto	Climate chang	Ozone deplet	Ionising radiat	Photochemic	Respiratory in
Unità	kg CO2 eq	kg CFC11 eq	kBq U-235 eq	kg NMVOC eq	disease inc.
Inert waste, for final disposal (CH) treatment of inert waste, inert material landfill APOS, S	0,00430259	2,09E-09	0,00068321	4,93E-05	8,92E-10
Inert waste, for final disposal (CH) treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,00428589	2,09E-09	0,00067935	4,94E-05	8,91E-10
Inert waste, for final disposal (RoW) treatment of inert waste, inert material landfill APOS, S	0,00529	2,17E-09	0,00066107	5,50E-05	9,72E-10
Inert waste, for final disposal (RoW) treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,00527043	2,17E-09	0,00065774	5,51E-05	9,71E-10
Scrap steel (RoW) treatment of, inert material landfill APOS, S	0,00529	2,17E-09	0,00066107	5,50E-05	9,72E-10
Scrap steel (RoW) treatment of, inert material landfill Cut-off, S	0,00527043	2,17E-09	0,00065774	5,51E-05	9,71E-10
Scrap steel (Europe without Switzerland) treatment of scrap steel, inert material landfill APOS, S	0,00529	2,17E-09	0,00066107	5,50E-05	9,72E-10
Scrap steel (Europe without Switzerland) treatment of scrap steel, inert material landfill Cut-off, S	0,00527043	2,17E-09	0,00065774	5,51E-05	9,71E-10
Scrap steel (CH) treatment of, inert material landfill APOS, S	0,00430259	2,09E-09	0,00068321	4,93E-05	8,92E-10
Scrap steel (CH) treatment of, inert material landfill Cut-off, S	0,00428589	2,09E-09	0,00067935	4,94E-05	8,91E-10
Inert waste (CH) treatment of, sanitary landfill APOS, S	0,00824858	3,11E-09	0,00139257	8,54E-05	1,56E-09
Inert waste (CH) treatment of, sanitary landfill Cut-off, S	0,00821414	3,11E-09	0,00137615	8,56E-05	1,56E-09
Municipal solid waste (CA-QC) treatment of municipal solid waste, sanitary landfill APOS, S	0,75408683	3,38E-09	0,00134907	0,00033285	1,99E-09
Municipal solid waste (CA-QC) treatment of municipal solid waste, sanitary landfill Cut-off, S	0,75403179	3,38E-09	0,00133613	0,00033304	1,98E-09
Municipal solid waste (CH) treatment of, sanitary landfill APOS, S	0,75247858	3,44E-09	0,00363709	0,00032421	1,70E-09
Municipal solid waste (CH) treatment of, sanitary landfill Cut-off, S	0,75231129	3,34E-09	0,00342997	0,00032384	1,68E-09
Municipal solid waste (RoW) treatment of, sanitary landfill APOS, S	0,76100379	3,62E-09	0,00217052	0,00035112	2,11E-09
Municipal solid waste (RoW) treatment of, sanitary landfill Cut-off, S	0,76093538	3,61E-09	0,00214886	0,00035129	2,11E-09
Municipal solid waste (GLO) treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, dry infiltration class (10)	1,39665233	9,59E-10	0,00027821	0,00047583	1,26E-09
Municipal solid waste (GLO) treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, dry infiltration class (10)	1,39663812	9,59E-10	0,00027777	0,00047591	1,26E-09
Municipal solid waste (GLO) treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, hyperarid infiltration class (1)	1,39661829	9,59E-10	0,00027821	0,00047582	2,92E-06
Municipal solid waste (GLO) treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, hyperarid infiltration class (1)	1,39660407	9,59E-10	0,00027777	0,0004759	2,92E-06
Municipal solid waste (GLO) treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, moist infiltration class (1)	1,39665233	9,59E-10	0,00027821	0,00047583	1,26E-09
Municipal solid waste (GLO) treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, moist infiltration class (1)	1,39663812	9,59E-10	0,00027777	0,00047591	1,26E-09
Municipal solid waste (GLO) treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, very wet infiltration class (1)	1,39665233	9,59E-10	0,00027821	0,00047583	1,26E-09
Municipal solid waste (GLO) treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, very wet infiltration class (1)	1,39663812	9,59E-10	0,00027777	0,00047591	1,26E-09
Municipal solid waste (GLO) treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, wet infiltration class (50)	1,39665233	9,59E-10	0,00027821	0,00047583	1,26E-09
Municipal solid waste (GLO) treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, wet infiltration class (50)	1,39663812	9,59E-10	0,00027777	0,00047591	1,26E-09
-	0	0	0	0	0

Figura 2-8: Foglio estrazione dati per la discarica - tipologia di materiale "Steel and iron" (alcune categorie)

2.3.2 Creazione della sezione fine vita in input e modifiche

Il passo successivo è stata la creazione in input di una sezione apposita per il fine vita. I fogli che sono stati inseriti al punto precedente costituiscono il database semplificato per il Tool dal quale estrarre gli impatti nel momento in cui si inseriscono gli input.

Si è optato per la suddivisione secondo le tipologie di materiale assegnate da SimaPro, in modo da semplificare la visualizzazione e il lavoro per l'utente. L'utente, perciò, ritrova la somma in kg dei materiali che appartengono a quella specifica tipologia, e per questa potrà selezionare il processo di riciclo o di discarica che vuole associare. È presente anche un'ulteriore colonna in cui è possibile inserire una percentuale, indicante la quantità di materiale che si vuole assegnare a quel determinato processo di smaltimento. Analogamente alla sezione "materials", una volta effettuata la selezione, si visualizzerà l'interezza degli impatti unitari, estratti dai fogli inseriti, e degli impatti assoluti, calcolati come prodotto tra impatto unitario e quantità in kg (intesa come quantità totale moltiplicata per la percentuale inserita) riferita a quel processo.

Per effettuare il conteggio automatico della tipologia di materiale, si è inserita una colonna di fianco ai materiali, che automaticamente ne mostra la natura nel momento in cui lo si seleziona. Per fare ciò si è aggiunto un foglio che funge da banca dati di classificazione del materiale.

DESCRIZIONE	PERCENTUALE	TIPOLOGIA DI RIFIUTO	QUANTITA' [kg]	Climate change kg CO2 eq
		Aluminium	0	
Riciclo	0,7	-	0	0,00E+00
			Totale	0,00E+00
Discarica	0,3	-	0	0,00E+00
			Totale	0,00E+00
Incenerimento	0		0	
			Totale	
		Steel and Iron	18,52062594	
Riciclo	0,7	Steel and iron (waste treatment) (GLO) recycling of steel and iron APOS, S	12,96443816	-1,95E+00
			Totale	-2,53E+01
Discarica	0,3	Municipal solid waste (RoW) treatment of, sanitary landfill APOS, S	5,556187782	7,61E-01
			Totale	4,23E+00
Incenerimento	0		0	
			Totale	
		PS (Polystirene)	0,041	
Riciclo	0,3	PS (waste treatment) (GLO) recycling of PS APOS, S	0,0123	-3,44E+00
			Totale	-4,23E-02
Discarica	0,7	Waste polystyrene (RoW) treatment of waste polystyrene, sanitary landfill APOS, S	0,0287	1,56E-01
			Totale	4,48E-03
Incenerimento	0		0	
			Totale	
		Plastics - comprende anche Rubber e Biopolymers	0,977876961	
Riciclo	0,3	Mixed plastics (waste treatment) (GLO) recycling of mixed plastics APOS, S	0,293363088	-1,81E+00
			Totale	-5,32E-01
Discarica	0,7	Municipal solid waste (CH) treatment of, sanitary landfill APOS, S	0,684513873	7,52E-01
			Totale	5,15E-01
Incenerimento	0		0	
			Totale	
		PE (Polyethylene)	0,27676177	
Riciclo	0,3	PE (waste treatment) (GLO) recycling of PE APOS, S	0,083028531	-1,57E+00
			Totale	-1,31E-01
Discarica	0,7	Waste polyethylene (RoW) treatment of waste polyethylene, sanitary landfill APOS, S	0,193733239	1,49E-01
			Totale	2,88E-02
Incenerimento	0		0	
			Totale	
		PET (Polyethylene terephthalate)	0	
Riciclo	0,3	-	0	0,00E+00
			Totale	0,00E+00
Discarica	0,7	-	0	0,00E+00
			Totale	0,00E+00
Incenerimento	0		0	
			Totale	
		PP (Polypropylene)	0,023	
Riciclo	0,3	PP (waste treatment) (GLO) recycling of PP APOS, S	0,0069	-1,55E+00
			Totale	-1,07E-02
Discarica	0,7	Waste polypropylene (RoW) treatment of waste polypropylene, sanitary landfill APOS, S	0,0161	1,27E-01
			Totale	2,04E-03
Incenerimento	0		0	
			Totale	
		PVC (Polyvinyl Chloride)	0	
Riciclo	0,3	-	0	0,00E+00
			Totale	0,00E+00
Discarica	0,7	-	0	0,00E+00
			Totale	0,00E+00
Incenerimento	0		0	
			Totale	
		Paper - contiene anche Cardboard	0,812	
Riciclo	0,7	Paper (waste treatment) (GLO) recycling of paper APOS, S	0,5684	-1,49E-01
			Totale	-8,46E-02
Discarica	0,3	Waste graphical paper (RoW) treatment of, sanitary landfill APOS, S	0,2436	1,45E+00
			Totale	3,53E-01
Incenerimento	0		0	
			Totale	
		IMPATTO TOTALE RICICLO		-2,61E+01
		IMPATTO TOTALE DISCARICA		1,02E+01
		IMPATTO TOTALE INCENERIMENTO		

Figura 2-9: Parte della sezione fine vita nella pagina input nel Tool semplificato

Per quanto riguarda i materiali non definiti, SimaPro non fornisce una vera e propria attribuzione dei processi di smaltimento. Dunque, nel Tool semplificato si è pensato di inserire un menù a tendina estendibile, entro cui si richiamano i materiali non definiti selezionati nella fase “materials” e ad ognuno si assegna uno specifico processo. Questo è dipeso inoltre dalla eterogeneità dei materiali appartenenti a questa categoria.

Per i materiali non classificati, non si è predisposta alcuna riga in quanto il software non fornisce risultati.

2.3.3 Creazione della sezione fine vita in output e tabelle aggiuntive

Nella pagina “Risultati” si è aggiunta la sezione del fine vita, richiamando sia il totale degli impatti dei due processi di smaltimento (definiti per categoria) sia la percentuale di questi. Ai valori numerici si è affiancato un grafico come quelli già presente per “energy”, “materials” e “transport”. In aggiunta, un secondo grafico indicante il contributo di ciascun processo per categoria d’impatto.

A seguito di questo, in linea con l’idea di presentare uno strumento effettivamente semplificato e che possa agevolare lo studio di un prodotto, si sono introdotte delle tabelle che forniscono un resoconto di tutti gli input forniti dall’utente. Si elencano di seguito:

- tabella e grafico riassuntivi della composizione del prodotto per tipologia di materiale offerta da SimaPro. È riportata una colonna dove viene richiamata la quantità in valore numerico di quella tipologia di materiale (tramite la funzione CONTA.SE di Excel si è contato quante volte è richiamata quella specifica tipologia); un’altra colonna indicante la percentuale sul totale; un’ultima che riporta la quantità totale in kg;
- tabella e grafico riassuntivi della composizione del prodotto per categoria di materiale preesistente nel Tool. È riportata una colonna dove viene richiamata la quantità in valore numerico di quella tipologia di materiale (tramite la funzione CONTA.SE di Excel si è contato quanti materiali appartengono a quella categoria); un’altra colonna indicante la percentuale sul totale; un’ultima che riporta la quantità totale in kg;
- tabella e grafico riassuntivi del totale dei materiali riciclabili e dei materiali non riciclabili. È riportata una colonna dove viene richiamata la quantità in valore numerico del totale delle due tipologie e una colonna dove viene riportato il valore in percentuale.

Materiali considerati riciclabili: alluminio, ferro, acciaio, plastica, PE, PET, PP, PS, PVC, gomma, biopolimeri, carta e cartone, rame.

Materiali considerati non riciclabili: PUR, PVDC, legno, materiali zincati, non-ferro, non definiti, senza categoria (-);

- tabella e grafico riassuntivi della quantità di materiale assegnata ai vari processi di smaltimento per tipologia. Sono riportate tre colonne indicanti la quantità in kg per ogni tipologia destinata ai processi di riciclo, discarica e incenerimento;
- tabella e grafici riassuntivi dei funzionamenti dell'energia elettrica inseriti in "Input". Nella tabella sono riportate cinque righe indicanti i funzionamenti e le quantità ad essi associate. Sono presenti poi due grafici di diversa natura, per visualizzare in maniera opportuna i risultati;
- tabella e grafici riassuntivi delle tipologie di trasporto. Nella tabella sono riportate le quantità in tonnellata-chilometro (tkm). I due grafici di diversa natura servono per visualizzare in maniera differente i risultati.

Di seguito si riporta lo schema di calcolo del fine vita nel Tool semplificato.

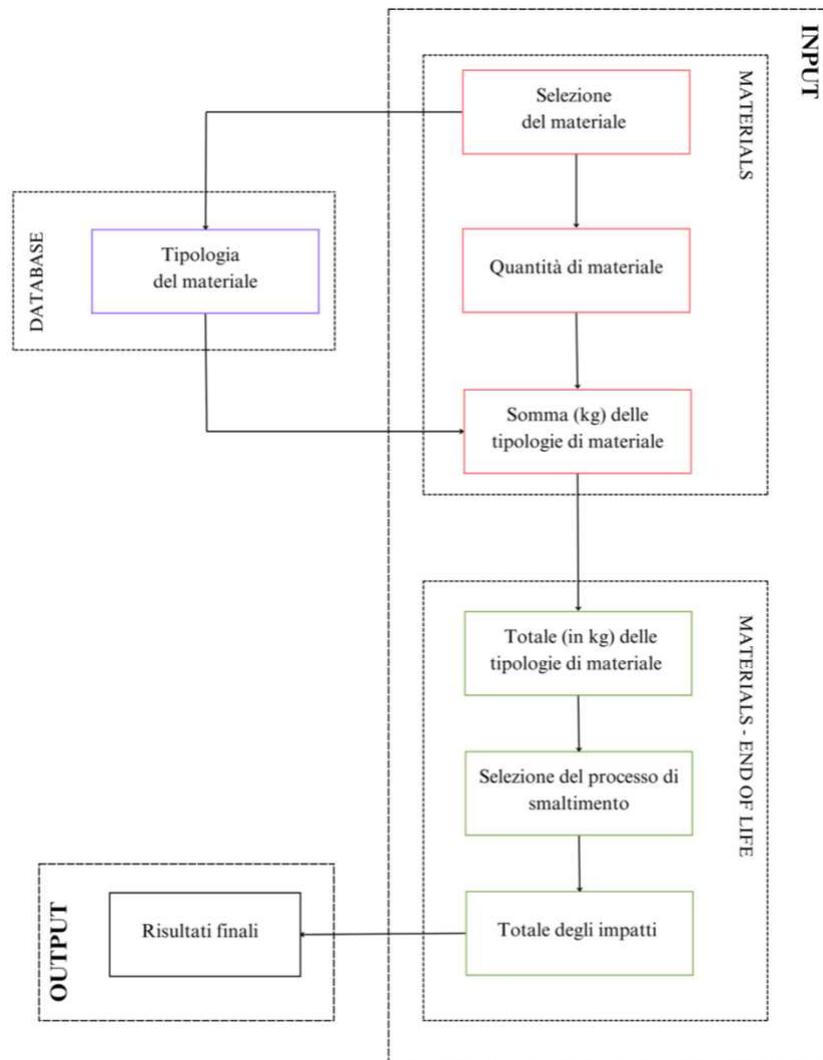


Figura 2-10: Schema di calcolo del fine vita nel Tool semplificato

Capitolo 3

RISULTATI

In questo capitolo si intende fornire una panoramica generale sui risultati ottenuti, con lo scopo di far comprendere la logica dietro l’inserimento dei dati nel Tool. Per la loro discussione, e quindi per le considerazioni di tipo tecnico-formali, si rimanda al Capitolo 4.

3.1 Estrazione dei dati da SimaPro

3.1.1 *Processi di riciclo*

Come già discusso nel Capitolo 2, si sono analizzati i processi di riciclo riportati nella Tabella 2-1. Seguendo l’iter riportato nel paragrafo 2.2, si sono estratti i dati relativi ai materiali inclusi nel Tool semplificato.

Le estrazioni si sono fatte sia per i materiali APOS sia per i materiali Cut-Off.

3.1.1.1 MATERIALI APOS

Nell’extrapolazione dei risultati dei materiali APOS si è riscontrato un principio di funzionamento del software che ha consentito di ridurre il numero di dataset analizzati, raggruppandoli e definendo un risultato campione come rappresentante. Si intende ora spiegare meglio quanto appena scritto con un esempio.

Si prendano in considerazione i seguenti dataset di materiale con associato il proprio processo di smaltimento. Si ritiene funzionale alla comprensione ribadire i seguenti concetti: nella sezione “Processi”, si seleziona il processo di smaltimento che si vuole assegnare al materiale, con la relativa di tipologia di rifiuto o di materiale; nella sezione “Fasi del prodotto” si richiama il materiale che si è inserito in “Processi”. Pertanto, nella suddivisione sotto proposta, nella prima sezione la tipologia di rifiuto/materiale è quella scelta associata al processo; nella seconda sezione, piuttosto, la tipologia di materiale è quella fornita da SimaPro nella catalogazione proposta (descritta in Figura 2-3).

1. PROCESSI

Processo di smaltimento: Steel and iron (waste treatment) {GLO}| recycling of steel and iron

Tipologia di rifiuto/materiale: Ferro metals

FASI DEL PRODOTTO

Materiale: Cast iron {GLO}| market for | APOS, S

Tipologia di materiale: Ferro metals

2. PROCESSI

Processo di smaltimento: Aluminium (waste treatment) {GLO}| recycling of aluminium

Tipologia di rifiuto/materiale: Aluminium

FASI DEL PRODOTTO

Materiale: Aluminium, primary, liquid {GLO}| market for | APOS, S

Tipologia di materiale: Aluminium

3. PROCESSI

Processo di smaltimento: Aluminium (waste treatment) {GLO}| recycling of aluminium.

Tipologia di rifiuto/materiale: Ferro metals

FASI DEL PRODOTTO

Materiale: Cast iron {GLO}| market for | APOS, S

Tipologia di materiale: Ferro metals

4. PROCESSI

Processo di smaltimento: Steel and iron (waste treatment) {GLO}| recycling of steel and iron.

Tipologia di rifiuto/materiale: Aluminium

FASI DEL PRODOTTO

Materiale: Aluminium, primary, liquid {GLO}| market for | APOS, S

Tipologia di materiale: Aluminium

Come è possibile osservare, nei primi due punti c'è coerenza tra tipologia di materiale e processo di smaltimento. Si può dunque affermare che l'associazione è stata fatta correttamente. Nel terzo e quarto punto, invece, si può intuire che le relazioni fatte sono erranee, in quanto la matrice del materiale è diversa da quella specificata dal dataset del processo di riciclo.

Si riportano i risultati per queste due estrazioni, sia in valore numerico sia con la visualizzazione a rete. Nella tabella, in rosso sono indicate le associazioni errate. Sono riportati dello stesso colore invece gli stessi risultati.

Categoria d'impatto	Unità	1° caso	2° caso	3° caso	4° caso
		PROCESSI			
I tipi di materiale e/o rifiuto sono separati dallo stream rifiuto					
		Steel and Iron recyc...	Aluminium recycl...	Steel and Iron recyc...	Aluminium recycl...
Tipo di rifiuto/materiale					
		Ferro metals	Aluminium	Aluminium	Ferro metals
FASI DEL PRODOTTO					
Materiale					
		Cast Iron...	Aluminium, prima...	Aluminium, prima...	Cast Iron...
Tipo di rifiuto/materiale					
		Ferro metals	Aluminium	Aluminium	Ferro metals
Climate change	kg CO2 eq	-1,95	-19,93	-1,95	-19,93
Ozone depletion	kg CFC11 eq	-6,286E-08	-7,02E-07	-6,29E-08	-7,02E-07
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	-0,026	-0,41	-0,026	-0,41
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	-0,0076	-0,063	-0,0076	-0,063
Respiratory inorganics	disease inc.	-1,76E-07	-1,54E-06	-1,76E-07	-1,54E-06
Non-cancer human health effects	CTUh	-1,77E-07	-3,48E-06	-1,77E-07	-3,48E-06
Cancer human health effects	CTUh	-8,31E-09	-1,28E-06	-8,31E-09	-1,28E-06
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	-0,0072	-0,13	-0,0072	-0,13
Eutrophication freshwater	kg P eq	-0,00050	-0,0064	-0,00050	-0,0064
Eutrophication marine	kg N eq	-0,0017	-0,021	-0,0017	-0,021
Eutrophication terrestrial	mol N eq	-0,016	-0,22	-0,016	-0,22
Ecotoxicity freshwater	CTUe	-0,48	-18,40	-0,48	-18,40
Land use	Pt	-54,00	-274,48	-54,00	-274,48
Water scarcity	m3 depriv.	-0,0052	-2,46	-0,0052	-2,46
Resource use, energy carriers	MJ	-13,58	-182,99	-13,58	-182,99
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	-0,0000052	-5,01E-05	-0,0000052	-5,01E-05
Climate change - fossil	kg CO2 eq	-1,95	-19,85	-1,95	-19,85
Climate change - biogenic	kg CO2 eq	-0,00056	-0,028	-0,00056	-0,028
Climate change - land use and transform.	kg CO2 eq	-0,00037	-0,055	-0,00037	-0,055

Tabella 3-1: Impatti per associazione corretta/errata del processo di smaltimento e del materiale

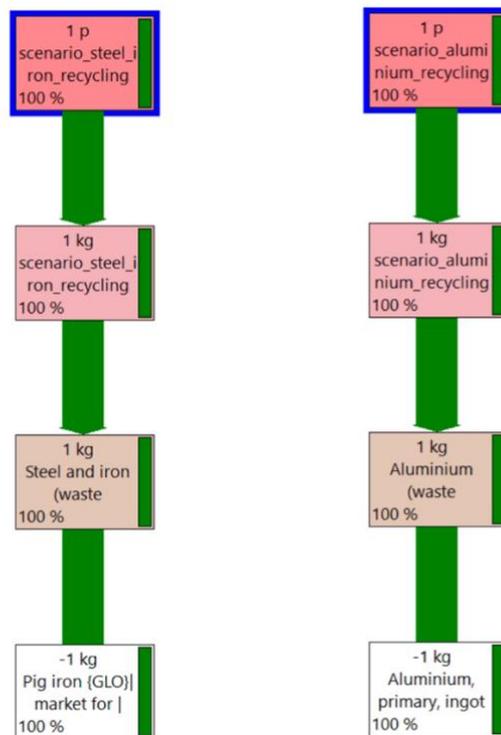


Figura 3-1: Sulla sx, struttura a rete per “Cast iron {GLO} | market for | APOS, S” e “Aluminium, primary, liquid {GLO} | market for | APOS, S” con processo “Steel and iron (waste treatment) {GLO} | recycling of steel and iron”; sulla dx, struttura a rete per “Aluminium, primary, liquid {GLO} | market for | APOS, S” e “Cast iron {GLO} | market for | APOS, S” con processo “Aluminium (waste treatment) {GLO} | recycling of aluminium”

L’ottenimento dei risultati sopra riportati esplicita un funzionamento preciso del programma, che non tiene conto dell’effettuale correttezza degli input da noi forniti. Si può dedurre che il software SimaPro dà priorità al dataset del processo di smaltimento e non al dataset del materiale. Di conseguenza, l’assegnazione di un materiale a un determinato processo è totalmente a discrezione dell’utente, che deve analizzare il suo prodotto accuratamente in modo tale da ricevere risultati attendibili. Per agevolare questo, si intende seguire la catalogazione dei materiali offerta da SimaPro (vd. Figura 2-3).

Le tipologie di materiale “non-ferro” e “non definito” creano delle perplessità in termini di allocazione. Pertanto, analizzando i processi di riciclo presenti in SimaPro, queste due categorie non sono allocabili in nessuna di esse. I materiali “non definiti” si possono intendere non riciclabili; i materiali “non-ferro”, al contrario, necessitano di un’indagine più approfondita in modo tale da poterli assegnare al processo che più si addice ad essi.

Si riporta di seguito il totale degli impatti estratti per il riciclo.

Categoria d'impatto	Unità	Aluminium	Steel and Iron	Paper	Core Board	Mixed Plastics
Climate change	kg CO2 eq	-19,93	-1,95	-0,15	-0,39	-1,81
Ozone depletion	kg CFC11 eq	-7,02E-07	-6,29E-08	-2,62E-08	-5,21E-08	-9,20E-08
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	-0,41	-0,026	-0,019	-5,55	-0,072
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	-0,063	-0,0076	-0,0016	-0,0027	-0,0059
Respiratory inorganics	disease inc.	-1,54E-06	-1,75E-07	-5,53E-08	-5,56E-08	-5,45E-08
Non-cancer human health effects	CTUh	-3,48E-06	-1,77E-07	-5,06E-08	-5,36E-07	-8,68E-08
Cancer human health effects	CTUh	-1,28E-06	-8,31E-09	-3,27E-09	-1,36E-07	-2,13E-08
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	-0,13	-0,0072	-0,0015	-0,0043	-0,0062
Eutrophication freshwater	kg P eq	-0,0064	-0,00050	-5,05E-05	-0,00035	-0,00017
Eutrophication marine	kg N eq	-0,021	-0,0017	-0,00052	-0,0011	-0,0011
Eutrophication terrestrial	mol N eq	-0,22	-0,016	-0,0057	-0,010	-0,012
Ecotoxicity freshwater	CTUe	-18,40	-0,48	-0,18	-4,33	-0,83
Land use	Pt	-274,48	-54,00	-367,20	-152,68	-17,41
Water scarcity	m3 depriv.	-2,46	-0,0052	-0,80	-6,83	-1,55
Resource use, energy carriers	MJ	-182,99	-13,58	-1,89	-66,69	-64,68
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	-5,01E-05	-5,19E-06	-4,95E-06	-0,0073	-8,77E-05
Climate change - fossil	kg CO2 eq	-19,85	-1,95	-0,15	-0,39	-1,81
Climate change - biogenic	kg CO2 eq	-0,028	-0,00056	-0,00051	-0,0032	-0,0027
Climate change - land use and transform	kg CO2 eq	-0,055	-0,00037	-0,00094	-0,0023	-7,54E-05

Tabella 3-2: Impatti per i processi di riciclo (1)

Categoria d'impatto	Unità	PE	PET	PP	PS	PVC
Climate change	kg CO2 eq	-1,57	-2,41	-1,55	-3,44	-1,65
Ozone depletion	kg CFC11 eq	-3,63E-08	-1,32E-07	-1,65E-08	1,63E-08	-0,000012
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	-0,073	-0,11	-0,042	0,063	-0,25
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	-0,0056	-0,0075	-0,0050	-0,0085	-0,0047
Respiratory inorganics	disease inc.	-0,000000045	-8,03E-08	-4,48E-08	-1,06E-07	-4,85E-08
Non-cancer human health effects	CTUh	-5,44E-08	-2,16E-07	-4,49E-08	1,75E-08	-2,74E-07
Cancer human health effects	CTUh	-1,91E-08	-3,90E-08	-1,20E-08	-2,06E-08	-2,78E-08
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	-0,0050	-0,0096	-0,0047	-0,011	-0,0072
Eutrophication freshwater	kg P eq	-0,00011	-0,00047	-5,20E-05	0,00017	-0,00059
Eutrophication marine	kg N eq	-0,00089	-0,0019	-0,00079	-0,0017	-0,0013
Eutrophication terrestrial	mol N eq	-0,0096	-0,019	-0,0085	-0,019	-0,013
Ecotoxicity freshwater	CTUe	-0,63	-1,62	-0,54	-1,20	-1,10
Land use	Pt	-11,57	-45,35	-8,82	8,84	-45,54
Water scarcity	m3 depriv.	-1,56	-1,28	-1,35	-2,17	-3,36
Resource use, energy carriers	MJ	-65,26	-62,35	-66,32	-75,70	-46,96
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	-0,000019	-0,00039	-1,78E-05	3,51E-07	-0,000053
Climate change - fossil	kg CO2 eq	-1,57	-2,40	-1,55	-3,43	-1,65
Climate change - biogenic	kg CO2 eq	-0,0017	-0,0036	-0,0017	-0,012	-0,0039
Climate change - land use and transform	kg CO2 eq	0,000085	-0,00094	0,00023	0,00084	-0,0011

Tabella 3-3: Impatti per i processi di riciclo (2)

3.1.1.2 MATERIALI CUT-OFF

Gli impatti ottenuti per i materiali Cut-Off sono tutti pari a 0.

Il risultato è conforme alla definizione di materiale Cut-Off (vd. paragrafo 1.2.1.1). Il contributo del riciclo si considera nella fase material, dal momento che i materiali utilizzati sono riciclati e non tutti vergini.

Di conseguenza, tutti i materiali Cut-Off non vengono considerati nel calcolo degli impatti ambientali nel fine vita.

3.1.2 Processi di discarica

Per i processi di discarica analizzati si faccia riferimento alla Tabella 2-2. L'iter seguito è identico a quello spiegato per il riciclo; l'unica variazione riguarda la selezione del processo di smaltimento.

A valle del ragionamento compreso estraendo i dati del riciclo, si è cercato di replicare le considerazioni anche per la discarica, in modo da agevolare il lavoro e rendere l'estrazione più efficace ed efficiente in termini di tempo e risultati. Di conseguenza, per ogni processo si sono analizzati solo dei materiali campione associabili a quel processo, per verificare effettivamente il principio di funzionamento. Si riportano di seguito le associazioni fatte per chiarezza.

Processo di discarica	Tipologia di materiale
<i>Inert Material Landfill</i>	
Inert waste, for final disposal treatment of inert waste, inert material landfill	Steel, Al, Pla
Scrap steel treatment of, inert material landfill	Steel, Al, Pla
Waste paperboard treatment of, inert material landfill	Paper, Cardboard
Waste polyurethane treatment of, inert material landfill	PUR
<i>Sanitary Landfill</i>	
Inert waste treatment of, sanitary landfill	Steel, Al, Pla
Municipal solid waste treatment of, sanitary landfill	Steel, Al, Pla
Waste aluminium treatment of, sanitary landfill	Aluminium
Waste graphical paper treatment of, sanitary landfill	Paper
Waste paperboard treatment of, sanitary landfill	Paper, Cardboard
Waste plastic, mixture treatment of, sanitary landfill	Pla
Waste polyethylene/polypropylene product treatment of, collection for final disposal	PE, PP
Waste polyethylene treatment of, sanitary landfill	PET
Waste polypropylene treatment of, sanitary landfill	PP
Waste polystyrene treatment of, sanitary landfill	PS
Waste polyurethane treatment of, sanitary landfill	PUR
Waste polyvinylchloride treatment of, sanitary landfill	PVC
Waste wood, untreated treatment of, sanitary landfill	Wood
<i>Unsanitary Landfill</i>	
Municipal solid waste treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, dry infiltration class (100mm)	Steel, Al, Pla
Municipal solid waste treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, hyperarid infiltration class (-250mm)	Steel, Al, Pla
Municipal solid waste treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, moist infiltration class (300mm)	Steel, Al, Pla
Municipal solid waste treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, very wet infiltration class (1000mm)	Steel, Al, Pla
Municipal solid waste treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, wet infiltration class (500mm)	Steel, Al, Pla

Tabella 3-4: Associazione processo di discarica - tipologia di materiale studiato

La tabella va letta nel seguente modo: per un determinato processo a tre tipologie di materiale associate, si è analizzato un materiale campione per tipologia, sia di categoria APOS sia di categoria Cut-Off. Per i processi a una tipologia di materiale associata, sono stati selezionati due materiali campione della stessa tipologia, sia di categoria APOS sia di categoria Cut-Off. È corretto intendere che i materiali APOS e Cut-Off siano gli stessi, differenziati solo per suddetta categorizzazione. Dunque, a un processo con tre tipologie corrispondono sei estrazioni dati; a un processo con una tipologia di materiale, corrispondono quattro estrazioni dati. Per ogni processo, si è analizzata la diversa provenienza geografica (si faccia ancora riferimento alla Tabella 2-2). Nel corso della trattazione saranno comunque riportati i dataset analizzati per ogni processo di discarica per agevolare la comprensione.

Dataset	Tipo di materiale	Tipo di rifiuto
Inert waste, for final disposal treatment of inert waste, inert material landfill		
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill APOS, S	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for APOS, S	Steel
	Aluminium, primary, ingot {IAI Area, EU27 & EFTA} market for APOS, S	Aluminium
	Nylon 6-6 {RER} market for nylon 6-6 APOS, S	Plastics
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	Steel
	Aluminium, primary, ingot {IAI Area, EU27 & EFTA} market for Cut-off, S	Aluminium
	Nylon 6-6 {RER} market for nylon 6-6 Cut-off, S	Plastics
Inert waste, for final disposal {RoW} treatment of inert waste, inert material landfill APOS, S	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for APOS, S	Steel
	Aluminium, primary, ingot {IAI Area, EU27 & EFTA} market for APOS, S	Aluminium
	Nylon 6-6 {RER} market for nylon 6-6 APOS, S	Plastics
Inert waste, for final disposal {RoW} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, S	Steel
	Aluminium, primary, ingot {IAI Area, EU27 & EFTA} market for Cut-off, S	Aluminium
	Nylon 6-6 {RER} market for nylon 6-6 Cut-off, S	Plastics
Waste graphical paper treatment of, sanitary landfill		
Waste graphical paper {CH} treatment of, sanitary landfill APOS, S	Printed paper {GLO} market for APOS, S	Paper
	Printed paper, offset {GLO} market for APOS, S	Paper
Waste graphical paper {CH} treatment of, sanitary landfill Cut-off, S	Printed paper {GLO} market for Cut-off, S	Paper
	Printed paper, offset {GLO} market for Cut-off, S	Paper
Waste graphical paper {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, S	Printed paper {GLO} market for APOS, S	Paper
	Printed paper, offset {GLO} market for APOS, S	Paper
Waste graphical paper {RoW} treatment of, sanitary landfill Cut-off, S	Printed paper {GLO} market for Cut-off, S	Paper
	Printed paper, offset {GLO} market for Cut-off, S	Paper

Tabella 3-5: Associazione dataset di discarica - materiali analizzati

Come da attesa, indipendentemente dal materiale fornito al processo, i risultati sono gli stessi. Questo significa che per un determinato dataset di processo di discarica, i risultati sono identici per qualsiasi tipologia di materiale.

In questa sezione, non si crea una suddivisione ulteriore per le due categorie APOS e Cut-off come nel caso del riciclo, in quanto il principio di funzionamento è identico per entrambe. Si crea una suddivisione piuttosto per tipologia di processo di discarica.

3.1.2.1 INERT MATERIAL LANDFILL

I rifiuti inerti sono rifiuti che non subiscono trasformazioni fisiche, chimiche o biologiche significative ed è improbabile che influiscano negativamente su altre materie con cui vengono a contatto.

Di questa tipologia sono stati analizzati i seguenti dataset.

<i>Inert Material Landfill</i>
Inert waste, for final disposal treatment of inert waste, inert material landfill
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill
Inert waste, for final disposal {RoW} treatment of inert waste, inert material landfill
Scrap steel treatment of, inert material landfill
Scrap steel {RoW} treatment of, inert material landfill
Scrap steel {Europe without Switzerland} treatment of scrap steel, inert material landfill
Scrap steel {CH} treatment of, inert material landfill
Waste paperboard treatment of, inert material landfill
Waste paperboard {CH} treatment of, inert material landfill
Waste paperboard {RoW} treatment of, inert material landfill
Waste polyurethane treatment of, inert material landfill
Waste polyurethane {CH} treatment of, inert material landfill
Waste polyurethane {RoW} treatment of, inert material landfill

Tabella 3-6: Dataset "Inert Material Landfill" sottoposti ad analisi

Durante le estrazioni dei dati, si è notato che i dataset dei processi appartenenti alla stessa area geografica sono strutturati in ugual modo. Si faccia riferimento alle strutture sotto riportate.

CH				
	Quantità fisica	Unità di mis.	Distribuzione	SD*2 O 2*SD
Materials/fuels				
Inert material landfill {CH} construction APOS, U	1,48E-09	p	Lognormale	1,50
Process-specific burdens, inert material landfill {CH} process-specific burdens, inert material landfill APOS, U	1	kg	Lognormale	1,50
Inert material landfill {CH} construction Cut-off, U	1,48E-09	p	Lognormale	1,50
Process-specific burdens, inert material landfill {CH} process-specific burdens, inert material landfill Cut-off, U	1	kg	Lognormale	1,50
RoW e Europe Without Switzerland				
Materials/fuels				
Inert material landfill {GLO} market for APOS, U	1,48E-09	p	Lognormale	1,52
Process-specific burdens, inert material landfill {RoW} market for process-specific burdens, inert material landfill APOS, U	1	kg	Lognormale	1,52
Inert material landfill {GLO} market for Cut-off, U	1,48E-09	p	Lognormale	1,52
Process-specific burdens, inert material landfill {RoW} market for process-specific burdens, inert material landfill Cut-off, U	1	kg	Lognormale	1,52

Tabella 3-7: Struttura dei dataset Inert Material Landfill per area geografica

In riferimento alla struttura dei dataset in SimaPro descritta nel paragrafo 1.2.1.1, si evidenzia come in questo caso siano rappresentati solo dalla voce “Input noti da tecnosfera (materiali/combustibili)”.

Il riconoscimento di questa analogia ha permesso di estrarre i risultati una volta sola per singola area geografica.

Categoria d'impatto	APOS		
	Unità	CH	RoW & Europe Without Switzerland
Climate change	kg CO2 eq	0,0043	0,0053
Ozone depletion	kg CFC11 eq	2,09E-09	2,17E-09
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	0,00068	0,00066
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	4,93E-05	5,50E-05
Respiratory inorganics	disease inc.	8,92E-10	9,72E-10
Non-cancer human health effects	CTUh	2,59E-10	3,44E-10
Cancer human health effects	CTUh	4,38E-11	5,15E-11
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	4,18E-05	5,00E-05
Eutrophication freshwater	kg P eq	2,95E-07	5,33E-07
Eutrophication marine	kg N eq	1,57E-05	1,73E-05
Eutrophication terrestrial	mol N eq	0,00017	0,00019
Ecotoxicity freshwater	CTUe	0,0024	0,0033
Land use	Pt	0,27	0,29
Water scarcity	m3 depriv.	0,00043	0,0066
Resource use, energy carriers	MJ	0,14	0,15
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	4,02E-08	5,04E-08
Climate change - fossil	kg CO2 eq	0,0043	0,0053
Climate change - biogenic	kg CO2 eq	2,33E-06	2,87E-06
Climate change - land use and transform.	kg CO2 eq	9,93E-07	1,64E-06

Tabella 3-8: Impatti “Inert Material Landfill” APOS per area geografica

Cut-Off			
Categoria d'impatto	Unità	CH	RoW & Europe Without Switzerland
Climate change	kg CO2 eq	0,0043	0,0053
Ozone depletion	kg CFC11 eq	2,09E-09	2,17E-09
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	0,00068	0,00066
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	4,94E-05	5,51E-05
Respiratory inorganics	disease inc.	8,91E-10	9,71E-10
Non-cancer human health effects	CTUh	2,49E-10	3,34E-10
Cancer human health effects	CTUh	4,33E-11	5,09E-11
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	4,18E-05	5,00E-05
Eutrophication freshwater	kg P eq	3,01E-07	5,41E-07
Eutrophication marine	kg N eq	1,57E-05	1,73E-05
Eutrophication terrestrial	mol N eq	0,00017	0,00019
Ecotoxicity freshwater	CTUe	0,0024	0,0032
Land use	Pt	0,25	0,25
Water scarcity	m3 depriv.	0,00042	0,0066
Resource use, energy carriers	MJ	0,14	0,15
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	3,79E-08	4,82E-08
Climate change - fossil	kg CO2 eq	0,0043	0,0053
Climate change - biogenic	kg CO2 eq	2,77E-06	3,08E-06
Climate change - land use and transform.	kg CO2 eq	8,40E-07	1,47E-06

Tabella 3-9: Impatti “Inert Material Landfill” Cut-Off per area geografica

3.1.2.2 SANITARY LANDFILL

Questo costituisce un metodo ingegnerizzato per smaltire i rifiuti solidi sul terreno in modo da proteggere l'ambiente, spargendoli in strati sottili, compattandoli al più piccolo volume pratico e coprendoli con terreno compattato entro la fine di ogni giornata lavorativa o a intervalli più frequenti se necessario.

Di questa tipologia sono stati analizzati i seguenti dataset.

<i>Sanitary Landfill</i>
Inert waste treatment of, sanitary landfill
Inert waste {CH} treatment of, sanitary landfill
Municipal solid waste treatment of, sanitary landfill
Municipal solid waste {CA-QC} treatment of municipal solid waste, sanitary landfill
Municipal solid waste {CH} treatment of, sanitary landfill
Municipal solid waste {RoW} treatment of, sanitary landfill
Waste aluminium treatment of, sanitary landfill
Waste aluminium {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste aluminium {RoW} treatment of, sanitary landfill
Waste graphical paper treatment of, sanitary landfill
Waste graphical paper {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste graphical paper {RoW} treatment of, sanitary landfill
Waste paperboard treatment of, sanitary landfill
Waste paperboard {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste paperboard {RoW} treatment of, sanitary landfill
Waste plastic, mixture treatment of, sanitary landfill
Waste plastic, mixture {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste plastic, mixture {RoW} treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill
Waste polyethylene/polypropylene product treatment of, collection for final disposal
Waste polyethylene/polypropylene product {CH} treatment of, collection for final disposal
Waste polyethylene/polypropylene product {RoW} treatment of, collection for final disposal
Waste polyethylene/polypropylene product {Europe without Switzerland} treatment of waste polyethylene/polypropylene product, collection for final disposal
Waste polyethylene treatment of, sanitary landfill
Waste polyethylene {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste polyethylene {RoW} treatment of waste polyethylene, sanitary landfill
Waste polypropylene treatment of, sanitary landfill
Waste polypropylene {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste polypropylene {RoW} treatment of waste polypropylene, sanitary landfill
Waste polystyrene treatment of, sanitary landfill
Waste polystyrene {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste polystyrene {RoW} treatment of waste polystyrene, sanitary landfill
Waste polyurethane treatment of, sanitary landfill
Waste polyurethane {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste polyurethane {RoW} treatment of, sanitary landfill
Waste polyvinylchloride treatment of, sanitary landfill
Waste polyvinylchloride {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste polyvinylchloride {RoW} treatment of waste polyvinylchloride, sanitary landfill
Waste wood, untreated treatment of, sanitary landfill
Waste wood, untreated {CH} treatment of, sanitary landfill
Waste wood, untreated {RoW} treatment of, sanitary landfill

Tabella 3-10: Dataset "Sanitary Landfill" sottoposti ad analisi

In questo caso non è stato possibile identificare alcuna analogia; di conseguenza, si è dovuto procedere con l'estrazione di ogni singolo processo. Le differenze si riscontrano chiaramente nella struttura dei dataset. A differenza di quelli descritti per "Inert Material Landfill", qui è presente una differenziazione sia a livello di input sia a livello di output.

Si riportano i risultati di due processi come rappresentanza. A seguire, le strutture dei dataset degli stessi come dimostrazione di quanto enunciato.

APOS			
Categoria d'impatto	Unità	Inert waste {CH}	Municipal solid waste {CH}
Climate change	kg CO2 eq	0,0082	0,75
Ozone depletion	kg CFC11 eq	3,11E-09	3,44E-09
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	0,0014	0,0036
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	8,54E-05	0,00032
Respiratory inorganics	disease inc.	1,56E-09	1,70E-09
Non-cancer human health effects	CTUh	6,27E-10	4,06E-09
Cancer human health effects	CTUh	1,45E-10	2,09E-09
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	7,29E-05	0,00013
Eutrophication freshwater	kg P eq	2,47E-06	1,32E-05
Eutrophication marine	kg N eq	2,73E-05	0,0018
Eutrophication terrestrial	mol N eq	0,00030	0,00040
Ecotoxicity freshwater	CTUe	0,0051	0,090
Land use	Pt	0,97	1,17
Water scarcity	m3 depriv.	0,0011	0,0017
Resource use, energy carriers	MJ	0,23	0,28
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	8,41E-08	1,30E-07
Climate change - fossil	kg CO2 eq	0,0082	0,052
Climate change - biogenic	kg CO2 eq	6,44E-06	0,70
Climate change - land use and transform.	kg CO2 eq	2,66E-06	8,42E-06

Tabella 3-11: Impatti estratti per “Inert waste {CH} treatment of, sanitary landfill | APOS, S” e “Municipal solid waste {CH} treatment of, sanitary landfill | APOS, S”

Cut-Off			
Categoria d'impatto	Unità	Inert waste {CH}	Municipal solid waste {CH}
Climate change	kg CO2 eq	0,0082	0,75
Ozone depletion	kg CFC11 eq	3,11E-09	3,34E-09
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	0,0014	0,0034
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	8,56E-05	0,00032
Respiratory inorganics	disease inc.	1,56E-09	1,68E-09
Non-cancer human health effects	CTUh	5,99E-10	3,79E-09
Cancer human health effects	CTUh	1,44E-10	2,08E-09
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	7,30E-05	0,00013
Eutrophication freshwater	kg P eq	2,48E-06	1,31E-05
Eutrophication marine	kg N eq	2,73E-05	0,0018
Eutrophication terrestrial	mol N eq	0,00030	0,00039
Ecotoxicity freshwater	CTUe	0,0050	0,090
Land use	Pt	0,89	0,92
Water scarcity	m3 depriv.	0,0010	0,0015
Resource use, energy carriers	MJ	0,23	0,27
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	7,38E-08	9,93E-08
Climate change - fossil	kg CO2 eq	0,0082	0,052
Climate change - biogenic	kg CO2 eq	7,98E-06	0,70
Climate change - land use and transform.	kg CO2 eq	2,02E-06	4,36E-06

Tabella 3-12: Impatti estratti per “Inert waste {CH} treatment of, sanitary landfill | Cut-Off, S” e “Municipal solid waste {CH} treatment of, sanitary landfill | Cut-off, S”

Inert waste {CH} treatment of, sanitary landfill APOS, U				
	Quantità fisica	Unità di m.	Distribuzione	SD*2 O 2*SD
Materials/fuels				
Process-specific burdens, sanitary landfill {CH} process-specific burdens, sanitary landfill APOS, U	1	kg	Lognormale	1,50
Sanitary landfill facility {CH} construction APOS, U	5,56E-10	p	Lognormale	1,50
Sewer grid, SE9/year, 110 km {CH} construction APOS, U	5,45E-10	km	Lognormale	1,05
Wastewater treatment facility, capacity SE9/year {CH} construction APOS, U	1,42E-11	p	Lognormale	1,05
Electricity/heat				
Electricity, low voltage {CH} market for APOS, U	0,000070	kWh	Lognormale	1,05
Heat, central or small-scale, other than natural gas {CH} market for APOS, U	0,000033	MJ	Lognormale	1,05
Heat, district or industrial, natural gas {CH} market for heat, district or industrial, natural gas APOS, U	0,000045	MJ	Lognormale	1,05
Emissions to water				
Aluminium	0,013	kg	Lognormale	3,15
Antimony	8,84E-09	kg	Lognormale	36,80
Arsenic	0,0000034	kg	Lognormale	10,84
Cadmium	0,00000061	kg	Lognormale	12,85
Calcium	0,18	kg	Lognormale	1,70
Chromium VI	9,69E-08	kg	Lognormale	334,88
Cobalt	0,0000018	kg	Lognormale	11,49
Copper	0,0000039	kg	Lognormale	10,57
Hydrogen sulfide	0,00036	kg	Lognormale	3,83
Iron	0,00070	kg	Lognormale	18,65
Lead	0,000029	kg	Lognormale	8,30
Manganese	0,00019	kg	Lognormale	6,53
Mercury	1,71E-08	kg	Lognormale	15,98
Nickel	0,000017	kg	Lognormale	8,94
Phosphate	0,0000048	kg	Lognormale	206,27
Silicon	0,00074	kg	Lognormale	58,23
Sodium	0,0041	kg	Lognormale	4,00
Sulfate	0,014	kg	Lognormale	3,83
Thallium	0,00000019	kg	Lognormale	14,42
Tin	0,0000013	kg	Lognormale	11,87
Vanadium	0,0000067	kg	Lognormale	11,87
Zinc	0,000067	kg	Lognormale	7,39

Tabella 3-13: Struttura del dataset "Inert waste {CH} treatment of, sanitary landfill | APOS, U"

Municipal solid waste {CH} treatment of, sanitary landfill APOS, U				
	Quantità fisica	Unità di m.	Distribuzione	SD*2 O 2*SD
Materials/fuels				
Aluminium sulfate, powder {RER} market for aluminium sulfate, powder APOS, U	0,000017	kg	Lognormale	7,02
Ammonia, liquid {RER} market for APOS, U	0,000022	kg	Lognormale	3,71
Cement, unspecified {CH} market for cement, unspecified APOS, U	0,000037	kg	Lognormale	2,56
Chemical, inorganic {GLO} market for chemicals, inorganic APOS, U	6,71E-09	kg	Lognormale	5,39
Chemical, organic {GLO} market for APOS, U	0,00000022	kg	Lognormale	12,06
Chromium oxide, flakes {GLO} market for APOS, U	1,29E-09	kg	Lognormale	4,83
Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {RER} market for APOS, U	4,03E-09	kg	Lognormale	5,39
Iron (III) chloride, without water, in 40% solution state {GLO} market for APOS, U	0,000088	kg	Lognormale	7,39
Iron sulfate {RER} market for iron sulfate APOS, U	0,000064	kg	Lognormale	7,02
Municipal waste incineration facility {CH} construction APOS, U	5,80E-13	p	Lognormale	2,23
Process-specific burdens, municipal waste incineration {CH} processing APOS, U	0,0023	kg	Lognormale	2,23
Electricity/heat				
Electricity, for reuse in municipal waste incineration only {CH} market for APOS, U	0,00033	kWh	Lognormale	3,15
Electricity, low voltage {CH} market for APOS, U	0,0086	kWh	Lognormale	2,45
Heat, central or small-scale, other than natural gas {CH} market for APOS, U	0,00054	MJ	Lognormale	2,11
Heat, district or industrial, natural gas {CH} market for heat, district or industrial, natural gas APOS, U	0,00094	MJ	Lognormale	2,11
Heat, for reuse in municipal waste incineration only {CH} market for APOS, U	0,0019	MJ	Lognormale	2,23
Emissions to air				
Aluminium (high. pop.)	0,00000015	kg	Lognormale	5,59
Aluminium (low. pop.)	0,000000024	kg	Lognormale	14,85
Ammonia (high. pop.)	0,0000014	kg	Lognormale	3,26
Antimony (high. pop.)	6,36E-12	kg	Lognormale	19,95
Antimony (low. pop.)	3,23E-11	kg	Lognormale	26,26
Arsenic (high. pop.)	8,46E-12	kg	Lognormale	15,30
Arsenic (low. pop.)	4,21E-10	kg	Lognormale	21,18
Barium (low. pop.)	2,74E-09	kg	Lognormale	18,02
Barium (high. pop.)	1,03E-08	kg	Lognormale	8,15
Boron (high. pop.)	0,00000043	kg	Lognormale	10,13
Bromine (low. pop.)	2,37E-08	kg	Lognormale	14,74
Cadmium (low. pop.)	9,30E-10	kg	Lognormale	19,95
...				
Emissions to water				
Aluminium (groundwater, long-term)	0,012	kg	Lognormale	3,21
Aluminium (river)	0,0000058	kg	Lognormale	5,65
Ammonium, ion (groundwater, long-term)	0,00063	kg	Lognormale	4,23
Ammonium, ion (river)	0,00076	kg	Lognormale	3,32
Antimony (river)	8,76E-08	kg	Lognormale	12,45
Antimony (groundwater, long-term)	0,0000023	kg	Lognormale	23,03
Arsenic (groundwater, long-term)	0,00000060	kg	Lognormale	12,65
Arsenic (river)	2,65E-08	kg	Lognormale	14,85
Barium (river)	0,00000066	kg	Lognormale	7,99
Barium (groundwater, long-term)	0,00015	kg	Lognormale	6,18
BOD5, Biological Oxygen Demand (groundwater, long-term)	0,019	kg	Lognormale	4,47
BOD5, Biological Oxygen Demand (river)	0,00033	kg	Lognormale	4,06
...				

Tabella 3-14: Struttura del dataset "Municipal solid waste {CH} treatment of, sanitary landfill | APOS, U"

3.1.2.3 UNSANITARY LANDFILL

Queste tipologie di discarica sono costruite senza un adeguato piano ingegnerizzato e un sistema di rivestimento del fondo della discarica.

Si riportano i dataset analizzati.

<i>Unsanitary Landfill</i>	
Municipal solid waste	treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, dry infiltration class (100mm)
Municipal solid waste	treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, hyperarid infiltration class (-250mm)
Municipal solid waste	treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, moist infiltration class (300mm)
Municipal solid waste	treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, very wet infiltration class (1000mm)
Municipal solid waste	treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, wet infiltration class (500mm)

Tabella 3-15: Dataset "Unsanitary Landfill" sottoposti ad analisi

In questo caso si sono rilevati risultati uguali per i seguenti dataset (valori positivi mm):

- Municipal solid waste {GLO} | treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, dry infiltration class (100mm)
- Municipal solid waste {GLO} | treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, moist infiltration class (300mm)
- Municipal solid waste {GLO} | treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, very wet infiltration class (1000mm)
- Municipal solid waste {GLO} | treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, wet infiltration class (500mm)

L'unico processo ad avere risultati diversi è "Municipal solid waste | treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, hyperarid infiltration class (-250mm)".

Come è possibile intuire, le analogie si riscontrano anche a livello di struttura di dataset.

Si riportano i risultati per le due categorie individuate con le rispettive strutture dei dataset.

APOS			
Categoria d'impatto	Unità	100-300-1000-500mm	-250mm
Climate change	kg CO2 eq	1,397	1,40
Ozone depletion	kg CFC11 eq	9,59E-10	9,59E-10
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	0,00028	0,00028
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	0,00048	0,00048
Respiratory inorganics	disease inc.	1,26E-09	2,92E-06
Non-cancer human health effects	CTUh	6,26E-09	8,98E-07
Cancer human health effects	CTUh	3,64E-09	8,01E-09
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	8,30E-05	8,30E-05
Eutrophication freshwater	kg P eq	7,37E-05	3,43E-06
Eutrophication marine	kg N eq	0,0010	5,84E-05
Eutrophication terrestrial	mol N eq	0,00023	0,0045
Ecotoxicity freshwater	CTUe	0,21	58,52
Land use	Pt	0,39	0,39
Water scarcity	m3 depriv.	8,78E-05	8,78E-05
Resource use, energy carriers	MJ	0,061	0,061
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	7,51E-09	7,51E-09
Climate change - fossil	kg CO2 eq	0,074	0,074
Climate change - biogenic	kg CO2 eq	1,32	1,32
Climate change - land use and transform.	kg CO2 eq	3,95E-07	3,95E-07

Tabella 3-16: Impatti "Unsanitary Landfill" APOS per valori positivi di mm

Cut-Off			
Categoria d'impatto	Unità	100-300-1000-500mm	-250mm
Climate change	kg CO2 eq	1,40	1,40
Ozone depletion	kg CFC11 eq	9,59E-10	9,59E-10
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	0,00028	0,00028
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	0,00048	0,00048
Respiratory inorganics	disease inc.	1,26E-09	2,92E-06
Non-cancer human health effects	CTUh	6,26E-09	8,98E-07
Cancer human health effects	CTUh	3,64E-09	8,01E-09
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	8,30E-05	8,30E-05
Eutrophication freshwater	kg P eq	7,37E-05	3,43E-06
Eutrophication marine	kg N eq	0,0010	5,84E-05
Eutrophication terrestrial	mol N eq	0,00023	0,0045
Ecotoxicity freshwater	CTUe	0,21	58,52
Land use	Pt	0,37	0,37
Water scarcity	m3 depriv.	8,22E-05	8,22E-05
Resource use, energy carriers	MJ	0,061	0,061
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	6,83E-09	6,83E-09
Climate change - fossil	kg CO2 eq	0,074	0,074
Climate change - biogenic	kg CO2 eq	1,32	1,32
Climate change - land use and transform.	kg CO2 eq	3,51E-07	3,51E-07

Tabella 3-17: Impatti "Unsanitary Landfill" Cut-Off per valore negativo di mm

Municipal solid waste {GLO} treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, dry infiltration class (100mm) APOS, U				
	Quantità fisica	Unità di m.	Distribuzione	SD*2 O 2*SD
Resources				
Occupation, dump site (land)	0,0023	m2a	Lognormale	1,76
Materials/fuels				
Excavation, skid-steer loader {GLO} market for APOS, U	0,00032	m3	Lognormale	1,76
Electricity/heat				
Diesel, burned in building machine {GLO} market for APOS, U	0,047	MJ	Lognormale	1,76
Emissions to air				
Aluminium (low. pop.)	2,39E-08	kg	Lognormale	3,85
Antimony (low. pop.)	3,23E-11	kg	Lognormale	5,13
Arsenic (low. pop.)	4,21E-10	kg	Lognormale	4,61
Barium (low. pop.)	2,74E-09	kg	Lognormale	4,24
Bromine (low. pop.)	2,36E-08	kg	Lognormale	3,84
Cadmium (low. pop.)	9,29E-10	kg	Lognormale	4,46
Calcium (low. pop.)	7,83E-08	kg	Lognormale	3,63
Carbon dioxide, biogenic (low. pop.)	0,084	kg	Lognormale	1,11
Carbon dioxide, fossil (low. pop.)	0,0038	kg	Lognormale	1,41
Chromium (low. pop.)	8,42E-11	kg	Lognormale	4,92
Cobalt (low. pop.)	2,90E-11	kg	Lognormale	5,16
...				
Emissions to water				
Aluminium (groundwater)	0,000096	kg	Lognormale	2,36
Aluminium (groundwater, long-term)	0,012	kg	Lognormale	1,79
Ammonium, ion (groundwater)	0,00060	kg	Lognormale	2,07
Ammonium, ion (groundwater, long-term)	0,00063	kg	Lognormale	2,06
Antimony (groundwater, long-term)	6,77E-06	kg	Lognormale	3,43
Antimony (groundwater)	1,29E-07	kg	Lognormale	3,53
Arsenic (groundwater)	3,00E-08	kg	Lognormale	3,85
Arsenic (groundwater, long-term)	5,95E-07	kg	Lognormale	3,59
Barium (groundwater)	0,000011	kg	Lognormale	2,80
Barium (groundwater, long-term)	0,00014	kg	Lognormale	2,60
BOD5, Biological Oxygen Demand (groundwater, long-term)	0,072	kg	Lognormale	1,20
BOD5, Biological Oxygen Demand (groundwater)	0,00042	kg	Lognormale	2,00
...				
Emissions to soil				
Heat, waste (industrial)	1,2748	MJ	Lognormale	1,4907

Tabella 3-18: Struttura del dataset “Municipal solid waste {GLO} treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, dry infiltration class (100mm) | APOS, U”

Municipal solid waste {GLO} treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, hyperarid infiltration class (-250mm) APOS, U				
	Quantità fisica	Unità di m.	Distribuzione	SD*2 O 2*SD
Resources				
Occupation, dump site (land)	0,0023	m2a	Lognormale	1,76
Materials/fuels				
Excavation, skid-steer loader {GLO} market for APOS, U	0,00032	m3	Lognormale	1,76
Electricity/heat				
Diesel, burned in building machine {GLO} market for APOS, U	0,047	MJ	Lognormale	1,76
Emissions to air				
Aluminium (low. pop.)	2,39E-08	kg	Lognormale	3,85
Antimony (low. pop.)	3,23E-11	kg	Lognormale	5,13
Arsenic (low. pop.)	4,21E-10	kg	Lognormale	4,61
Barium (low. pop.)	2,74E-09	kg	Lognormale	4,24
Bromine (low. pop.)	2,36E-08	kg	Lognormale	3,84
Cadmium (low. pop.)	9,29E-10	kg	Lognormale	4,46
Calcium (low. pop.)	7,83E-08	kg	Lognormale	3,63
Carbon dioxide, biogenic (low. pop.)	0,084	kg	Lognormale	1,11
Carbon dioxide, fossil (low. pop.)	0,0038	kg	Lognormale	1,41
Chromium (low. pop.)	8,42E-11	kg	Lognormale	4,92
Cobalt (low. pop.)	2,90E-11	kg	Lognormale	5,16
Copper (low. pop.)	8,31E-11	kg	Lognormale	4,91
Hydrogen chloride (low. pop.)	0,000018	kg	Lognormale	2,65
Hydrogen fluoride (low. pop.)	5,82E-06	kg	Lognormale	2,94
...				
Emissions to water				
Aluminium (groundwater)	0,000096	kg	Lognormale	2,36
Aluminium (groundwater, long-term)	0,012	kg	Lognormale	1,79
Ammonium, ion (groundwater)	0,00060	kg	Lognormale	2,07
Ammonium, ion (groundwater, long-term)	0,00063	kg	Lognormale	2,06
Antimony (groundwater, long-term)	6,77E-06	kg	Lognormale	3,43
Antimony (groundwater)	1,29E-07	kg	Lognormale	3,53
Arsenic (groundwater)	3,00E-08	kg	Lognormale	3,85
Arsenic (groundwater, long-term)	5,95E-07	kg	Lognormale	3,59
Barium (groundwater)	0,000011	kg	Lognormale	2,80
Barium (groundwater, long-term)	0,00014	kg	Lognormale	2,60
BOD5, Biological Oxygen Demand (groundwater, long-term)	0,072	kg	Lognormale	1,20
BOD5, Biological Oxygen Demand (groundwater)	0,00042	kg	Lognormale	2,00
...				
Emissions to soil				
Heat, waste (industrial)	1,27	MJ	Lognormale	1,49

Tabella 3-19: Struttura del dataset “Municipal solid waste {GLO} treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, hyperarid infiltration class (-250mm) | APOS, U”

3.2 Inserimento dei dati e creazione della sezione fine vita nel Tool semplificato

Il passo successivo è stata l'introduzione dei dati estratti nel Tool semplificato e la creazione della sezione fine vita. Questo era già stato anticipato nel Capitolo 2, ma si intende ora esplicitare quanto detto alla luce dei risultati ottenuti.

3.2.1 Creazione della sezione fine vita

Nella progettazione originaria del Tool, prima ancora dell'estrazione dati, si era optato per l'adozione dell'inserimento di una riga per il fine vita per ciascun materiale inserito. Si riteneva che a seconda del materiale selezionato durante l'estrazione, gli impatti variassero, delineando così una necessità esosa in termini di spazio e tempo nel Tool semplificato. Questo stava a significare che per ogni materiale si sarebbe dovuto inserire un totale di tre righe (indicanti i tre processi di smaltimento – riciclo, discarica e incenerimento), e per ognuno di essi selezionare il processo adatto, anche se appartenevano alla stessa tipologia.

A seguito però delle considerazioni fatte per le estrazioni degli impatti, si è pensato di creare una sezione apposita per il fine vita, in modo da facilitare la selezione dei processi di smaltimento. Ora è chiaro come l'inserimento di una colonna aggiuntiva a fianco dei materiali mostrante la tipologia del materiale stesso, abbia condotto a un metodo di calcolo sicuramente più intuitivo e semplificato. Tramite la funzione `CONTA.SE` di Excel, per ogni sezione di fine vita, si effettua il conteggio del numero di materiali della tipologia enunciata in quella stessa sezione e la rispettiva somma in chilogrammi. Perciò, in ogni sezione riportante la tipologia di materiale di riferimento, si effettua una scelta dei processi di smaltimento, con la possibilità di inserire una percentuale, per definire quanto materiale si vuole destinare a quel particolare processo.

Per i materiali “non classificati” non si è creata alcuna sezione, dal momento che il software SimaPro non fornisce alcun risultato agli stessi.

Per i materiali “non definiti”, invece, non si è riusciti a trovare una matrice comune. Di conseguenza, come già anticipato nel Capitolo 2, si è creata una sezione estensibile, in cui tutti i materiali “non definiti” selezionati nella fase material vengono riportati automaticamente, e per ognuno di essi si selezionano i processi di smaltimento desiderati.

3.2.2 Inserimento dei dati

Per quanto riguarda l'inserimento dei dati nel Tool semplificato, si è seguita la logica di ragionamento adottata nella sezione fine vita. Nel creare il database del Tool, si è resa necessaria la creazione di fogli di calcolo distinti. Si riassumono di seguito i nuovi inseriti:

- scenario_riciclo: sono riportati tutti gli impatti estratti dei processi di riciclo;
- tipologia_materiale: è riportata l'intera lista dei materiali con associata la tipologia. Ha la funzione di database di ricerca per la colonna a fianco dei materiali selezionati (tramite CERCA.VERT, Excel cerca l'associazione in questo foglio e la restituisce in input);
- energia_zona: sono riportate le varie tipologie di energie con associata la zona geografica di provenienza (tramite CERCA.VERT, Excel cerca l'associazione in questo foglio e la restituisce in input nella sezione "Energy"). Si è resa necessaria per creare in output una tabella riassuntiva delle tipologie di energia elettrica utilizzate nei vari funzionamenti;
- scarica_steel: sono riportati i processi di scarica per la tipologia "Steel and iron" con i relativi impatti ambientali;
- scarica_wood: sono riportati i processi di scarica per la tipologia "Wood" con i relativi impatti ambientali;
- scarica_aluminium: sono riportati i processi di scarica per la tipologia "Aluminium" con i relativi impatti ambientali;
- scarica_paper: sono riportati i processi di scarica per la tipologia "Paper" con i relativi impatti ambientali;
- scarica_coreboard: sono riportati i processi di scarica per la tipologia "Coreboard" con i relativi impatti ambientali;
- scarica_mixedplastics: sono riportati i processi di scarica per la tipologia "Mixed plastics" con i relativi impatti ambientali;
- scarica_PE: sono riportati i processi di scarica per la tipologia "PE" con i relativi impatti ambientali;
- scarica_PET: sono riportati i processi di scarica per la tipologia "PET" con i relativi impatti ambientali;
- scarica_PP: sono riportati i processi di scarica per la tipologia "PP" con i relativi impatti ambientali;
- scarica_PS: sono riportati i processi di scarica per la tipologia "PS" con i relativi impatti ambientali;
- scarica_PVC: sono riportati i processi di scarica per la tipologia "PVC" con i relativi impatti ambientali;
- scarica_PUR: sono riportati i processi di scarica per la tipologia "PUR" con i relativi impatti ambientali;

- *discarica_nondefinito*: sono riportati i processi di discarica per la tipologia “Non definito” con i relativi impatti ambientali;
- *discarica_coppers*: sono riportati i processi di discarica per la tipologia “Coppers” con i relativi impatti ambientali;
- *discarica_nonferro*: sono riportati i processi di discarica per la tipologia “Non-ferro” con i relativi impatti ambientali;
- *discarica_zincs*: sono riportati i processi di discarica per la tipologia “Zincs” con i relativi impatti ambientali.

Nella pagina input si rende noto che per i processi di discarica e di riciclo si è fatta una suddivisione intelligente dei processi per tipologia. Per ogni tipologia di materiale, nel menù a tendina corrispondente, si visualizzano solamente i processi ad esso associati, in modo tale che l’utente non commetterà errori nella selezione.

3.3 Caso studio

3.3.1 *Elettromandrino HSD*©

La convalida del Tool semplificato si è ottenuta con lo studio di un elettromandrino realizzato dalla HSD. L’azienda produce elettromandrini, teste di fresatura a due assi e componenti tecnologicamente avanzati per la lavorazione del metallo, leghe materiali, compositi e legno. Vanta una struttura di 8.000 m² organizzata secondo i principi della produzione “Just in time” e opera attraverso l’Headquarters in Italia e cinque sedi localizzate nei principali mercati mondiali.

L’elettromandrino è il cuore di una macchina utensile ad asportazione di truciolo. È un albero rotante che ha la funzione principale di mettere in rotazione l’utensile così da generare il moto di lavoro; ciò deve essere realizzato in modo da assicurare al sistema la minima deformazione possibile con la massima capacità di produrre truciolo.

L’elettromandrino sottoposto ad analisi è il modello ES 951 (vd. Figura 3-2). È composto essenzialmente da un corpo principale, con la parte anteriore che funge da punto di inserimento dell’utensile e la parte superiore che contiene l’elettronica di controllo. È composto da pochi componenti principali. Questi includono il gruppo motore (costituito dalla carcassa e dallo statore), il gruppo cilindrico di smontaggio, i collegamenti elettrici e il coperchio della ventola posteriore, a cui è collegato il gruppo albero con i cuscinetti e il sistema di fissaggio degli utensili.

HSD tende ad acquistare la prima parte di questi componenti esternamente (dopo aver fornito le specifiche di fabbricazione), mentre internamente produce il resto, che rappresenta la parte più complessa del prodotto finito. Il gruppo cilindrico, che contiene i pistoni utilizzati per il cambio utensile, viene acquistato già assemblato per ottimizzare ulteriormente la produzione.

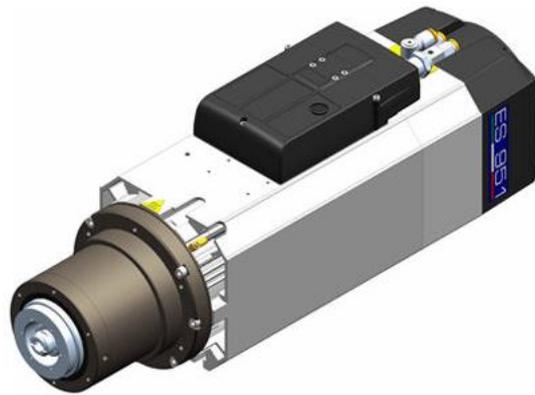


Figura 3-2: CAD dell'elettromandrino

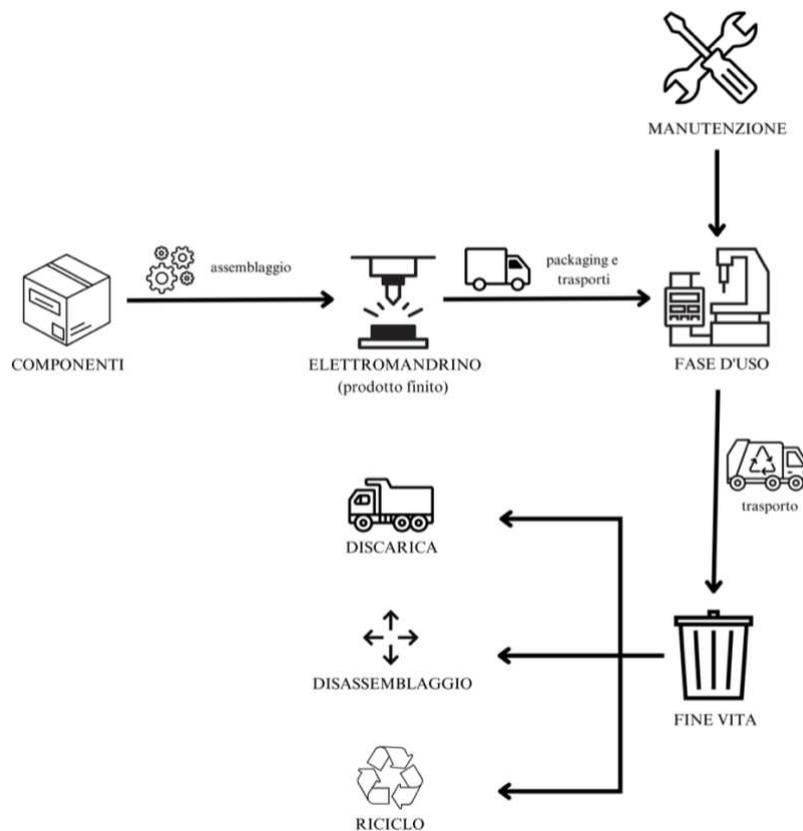


Figura 3-3: Ciclo vita del caso studio dell'elettromandrino

3.3.2 Studio degli impatti ambientali dell'elettromandrino nel Tool semplificato

Nella modellazione dell'elettromandrino nel Tool semplificato, l'analisi riportata in questa tesi si rivolge al fine vita.

Di seguito, si riportano i processi di smaltimento associati ai vari materiali già inseriti precedentemente con la relativa percentuale di suddivisione.

<i>Riciclo/discarica</i>	<i>Percentuale</i>	<i>Dataset di processo di smaltimento</i>
Steel and Iron		
Riciclo	0,7	Steel and iron (waste treatment) {GLO} recycling of steel and iron APOS, S
Discarica	0,3	Municipal solid waste {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, S
PS (Polystirene)		
Riciclo	0,3	PS (waste treatment) {GLO} recycling of PS APOS, S
Discarica	0,7	Waste polystyrene {RoW} treatment of waste polystyrene, sanitary landfill APOS, S
Plastics – comprende anche Rubber e Biopolymers		
Riciclo	0,3	Mixed plastics (waste treatment) {GLO} recycling of mixed plastics APOS, S
Discarica	0,7	Municipal solid waste {CH} treatment of, sanitary landfill APOS, S
PE (Polyethylene)		
Riciclo	0,3	PE (waste treatment) {GLO} recycling of PE APOS, S
Discarica	0,7	Waste polyethylene {RoW} treatment of waste polyethylene, sanitary landfill APOS, S
PP (Polypropylene)		
Riciclo	0,3	PP (waste treatment) {GLO} recycling of PP APOS, S
Discarica	0,7	Waste polypropylene {RoW} treatment of waste polypropylene, sanitary landfill APOS, S
Paper – comprende anche Cardboard		
Riciclo	0,7	Paper (waste treatment) {GLO} recycling of paper APOS, S
Discarica	0,3	Waste graphical paper {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, S
PUR (Polyuethane)		
Discarica	1	Waste polyurethane {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, S
Non-ferro		
Discarica	1	Municipal solid waste {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, S
Coppers		
Riciclo	0,7	Steel and iron (waste treatment) {GLO} recycling of steel and iron APOS, S
Discarica	0,3	Municipal solid waste {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, S

Non definito		
Activated bentonite {GLO} market for APOS, S		
Discarica	1	Municipal solid waste {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, S

Tabella 3-20: Associazione dei processi di smaltimento per i materiali dell'elettromandrino

Si mostrano ora i risultati ottenuti per le valutazioni LCA.

Categoria d'impatto	Unità di misura	Total	End of life	% End of life
Climate change	kg CO2 eq	9,57E+03	-1,59E+01	0%
Ozone depletion	kg CFC11 eq	6,97E+00	-8,06E-07	0%
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	1,17E+03	-3,50E-01	0%
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	3,09E+01	-9,71E-02	0%
Respiratory inorganics	disease inc.	6,97E+00	-2,19E-06	0%
Non-cancer human health effects	CTUh	6,97E+00	-2,16E-06	0%
Cancer human health effects	CTUh	6,97E+00	1,39E-07	0%
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	5,95E+01	-9,37E-02	0%
Eutrophication freshwater	kg P eq	1,02E+01	-6,30E-03	0%
Eutrophication marine	kg N eq	1,51E+01	1,09E-03	0%
Eutrophication terrestrial	mol N eq	9,58E+01	-2,09E-01	0%
Ecotoxicity freshwater	CTUe	6,26E+03	-5,39E+00	0%
Land use	Pt	6,95E+05	-8,99E+02	0%
Water scarcity	m3 depriv.	7,20E+03	-9,86E-01	0%
Resource use, energy carriers	MJ	1,39E+05	-1,98E+02	0%
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	7,28E+00	-9,52E-05	0%
Climate change - fossil	kg CO2 eq	9,47E+03	-2,52E+01	0%
Climate change - biogenic	kg CO2 eq	1,05E+02	9,36E+00	9%
Climate change - land use and transform.	kg CO2 eq	1,77E+01	-5,14E-03	0%

Tabella 3-21: Impatti totali del fine vita dell'elettromandrino

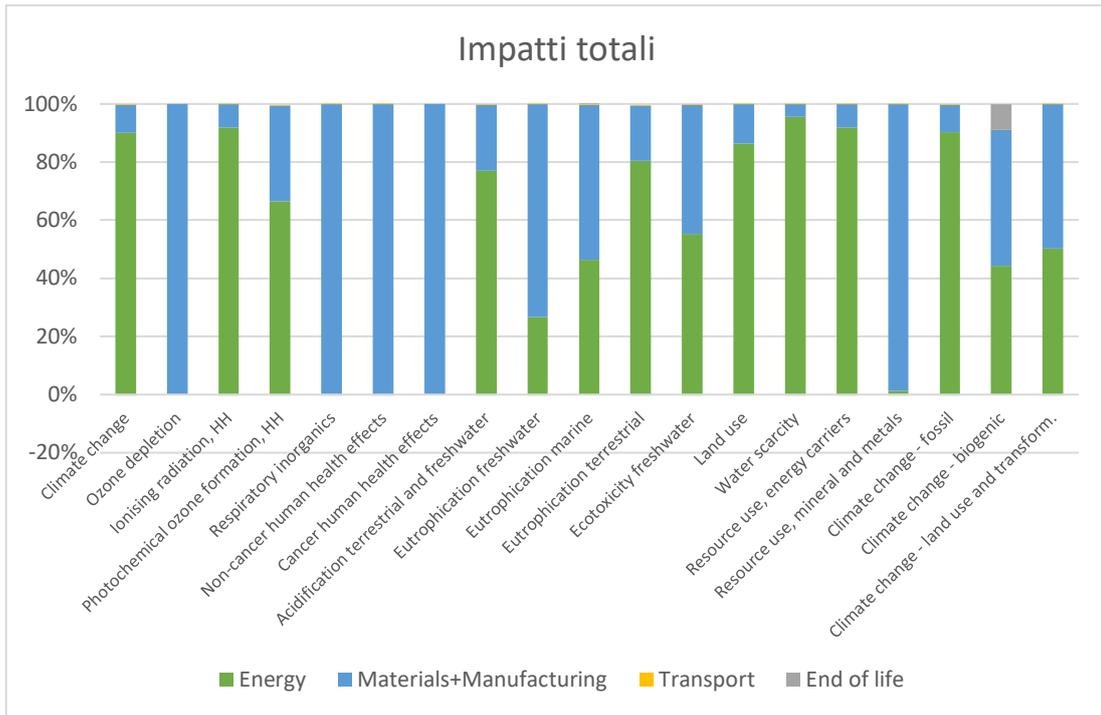


Figura 3-4: Istogramma degli impatti totali dell'analisi LCA dell'elettromandrino

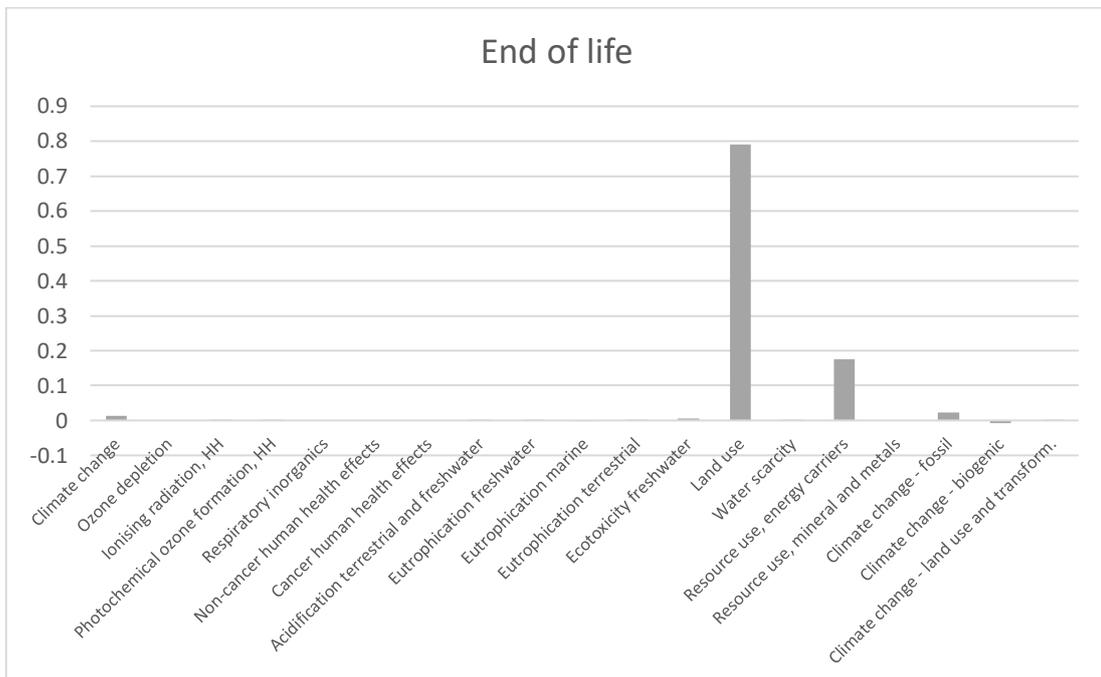


Figura 3-5: Istogramma complessivo del fine vita dell'elettromandrino

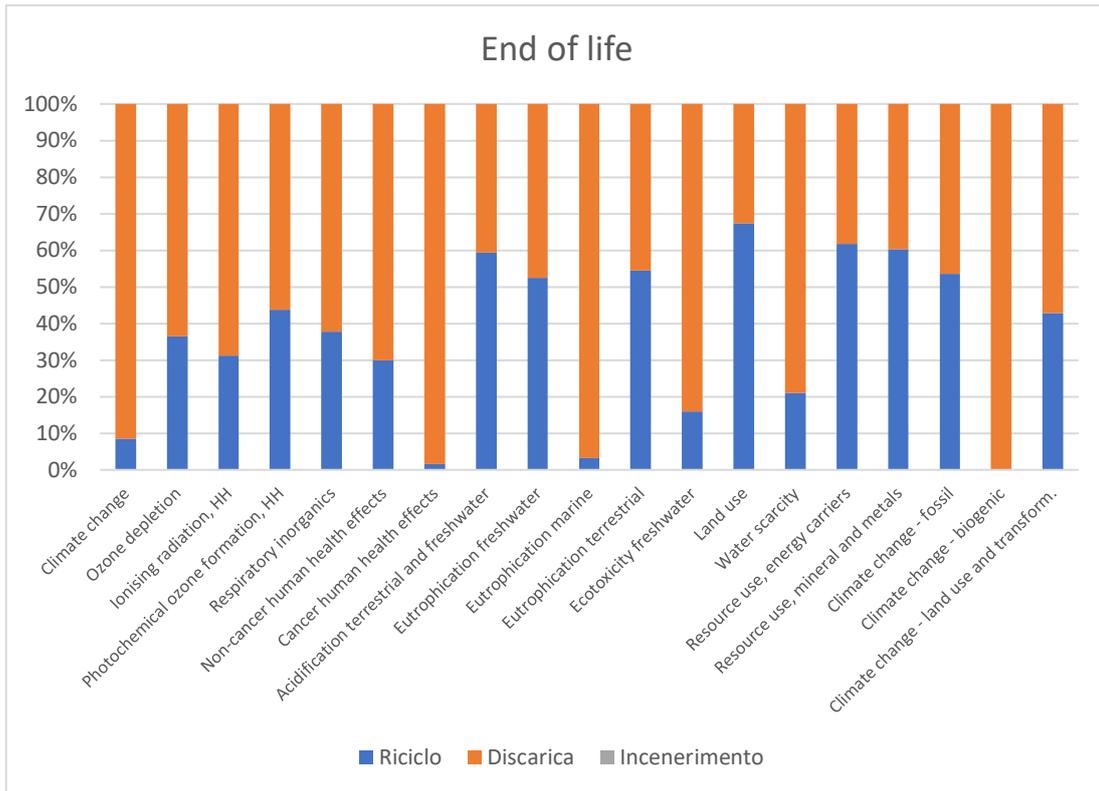


Figura 3-6: Istogramma con contributo dei singoli processi di smaltimento del fine vita dell'elettrodomando

Capitolo 4

DISCUSSIONE

In questo capitolo si intende analizzare nel dettaglio i risultati riportati nel capitolo precedente e fornire un'analisi sul caso studio dell'elettromandrino.

4.1 Struttura gerarchica degli input in SimaPro©

Nel Capitolo 3 si è discusso di come il calcolo degli impatti ambientali in SimaPro per i vari processi di smaltimento sia stato favorito dall'ottenimento di risultati analoghi indipendentemente dal tipo di materiale associato. Si è riscontrata la seguente gerarchia di importanza degli input forniti dall'utente. Il senso di lettura della piramide riportata è dal basso verso l'alto.

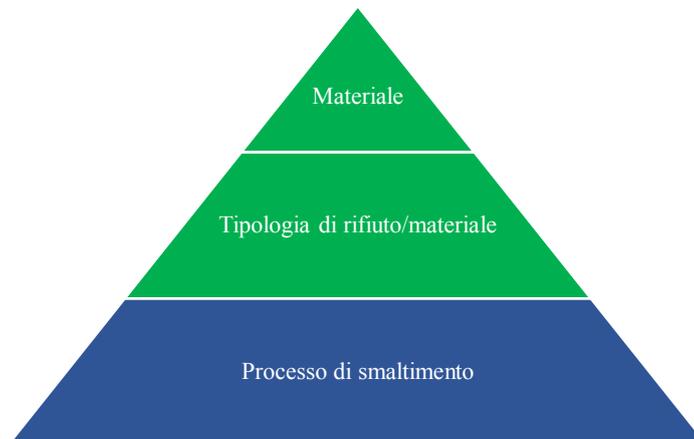


Figura 4-1: Gerarchia di calcolo di SimaPro

Il dataset di processo di smaltimento è l'elemento a cui SimaPro assegna assoluta importanza e guida il calcolo; al di sopra, sono presenti la tipologia di rifiuto/materiale e il materiale stesso, che formalmente hanno lo stesso peso. Ne deriva che, selezionando un processo di smaltimento, il software scala gli impatti unitari del processo di smaltimento per i materiali /tipologia di rifiuto indicati. Qualora però, nella fase di assemblaggio, si sceglie un materiale che non corrisponde al materiale/tipologia di rifiuto, non si ottengono risultati.

Per argomentare ulteriormente il riscontro ottenuto, si riportano le analisi effettuate per il dataset di processo di smaltimento “Waste polyethylene {CH}| treatment of, sanitary landfill | APOS, S”. Si riportano i vari scenari di calcolo effettuati:

1. PROCESSI

Tipo di materiale/rifiuto: PE

FASI DEL PRODOTTO

Materiale: Packaging film, low density polyethylene {GLO}| market for | APOS, S

Tipologia di materiale: PE

2. PROCESSI

Tipo di materiale/rifiuto: PE

FASI DEL PRODOTTO

Materiale: Packaging film, low density polyethylene {GLO}| market for | Cut-off, S

Tipologia di materiale: PE

3. PROCESSI

Tipo di materiale/rifiuto: Ferro metals

FASI DEL PRODOTTO

Materiale: Packaging film, low density polyethylene {GLO}| market for | APOS, S

Tipologia di materiale: PE

4. PROCESSI

Tipo di materiale/rifiuto: Ferro Metals

FASI DEL PRODOTTO

Materiale: Cast iron {GLO}| market for | APOS, S

Tipologia di materiale: Ferro metals.

Categoria d'impatto	Unità	1° scenario	2° scenario	3° scenario	4° scenario
		PROCESSI			
I tipi di materiale e/o rifiuto sono separati dallo stream rifiuto					
Waste polyethylene...		Waste polyethylene...	Waste polyethylene...	Waste polyethylene...	Waste polyethylene...
Tipo di rifiuto/materiale					
PE		PE	Ferro metals	Ferro metals	
FASI DEL PRODOTTO					
Materiale					
Packaging film...		Packaging film...	Packaging film...	Packaging film...	Cast Iron...
Tipo di rifiuto/materiale					
PE		PE	PE	Ferro metals	
Climate change	kg CO2 eq	0,15	0,15	x	0,15
Ozone depletion	kg CFC11 eq	3,12E-09	3,12E-09	x	3,12E-09
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	0,0015	0,0015	x	0,0015
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	0,00012	0,00012	x	0,00012
Respiratory inorganics	disease inc.	1,57E-09	1,57E-09	x	1,57E-09
Non-cancer human health effects	CTUh	1,09E-09	1,09E-09	x	1,09E-09
Cancer human health effects	CTUh	1,56E-10	1,56E-10	x	1,56E-10
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	7,43E-05	7,43E-05	x	7,43E-05
Eutrophication freshwater	kg P eq	9,15E-07	9,15E-07	x	9,15E-07
Eutrophication marine	kg N eq	0,00048	0,00048	x	0,00048
Eutrophication terrestrial	mol N eq	0,00030	0,00030	x	0,00030
Ecotoxicity freshwater	CTUe	0,14	0,14	x	0,14
Land use	Pt	0,98	0,98	x	0,98
Water scarcity	m3 depriv.	0,0011	0,0011	x	0,0011
Resource use, energy carriers	MJ	0,23	0,23	x	0,23
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	8,58E-08	8,58E-08	x	8,58E-08
Climate change - fossil	kg CO2 eq	0,15	0,15	x	0,15
Climate change - biogenic	kg CO2 eq	6,73E-06	6,73E-06	x	6,73E-06
Climate change - land use and transform.	kg CO2 eq	2,92E-06	2,92E-06	x	2,92E-06

Tabella 4-1: Estrazione impatti per rapporto dataset-materiale APOS

Per completezza, si riportano gli stessi calcoli per il caso “Waste polyethylene {CH} | treatment of, sanitary landfill | Cut-off, S”:

1. PROCESSI

Tipo di materiale/rifiuto: PE

FASI DEL PROCESSO

Materiale: Packaging film, low density polyethylene {GLO} | market for | Cut-Off, S

Tipologia di materiale: PE

2. PROCESSI

Tipo di materiale/rifiuto: PE

FASI DEL PRODOTTO

Materiale: Packaging film, low density polyethylene {GLO} | market for | APOS, S

Tipologia di materiale: PE

3. PROCESSI

Tipo di materiale/rifiuto: Ferro metals

FASI DEL PRODOTTO

Materiale: Packaging film, low density polyethylene {GLO} | market for | Cut-off, S

Tipologia di materiale: PE

4. PROCESSI

Tipo di materiale/rifiuto: Ferro Metals

FASI DEL PRODOTTO

Materiale: Cast iron {GLO}| market for | Cut-off, S

Tipologia di materiale: Ferro metals.

Categoria d'impatto	Unità	1° scenario	2° scenario	3° scenario	4° scenario
		<i>PROCESSI</i>			
I tipi di materiale e/o rifiuto sono separati dallo stream rifiuto					
Waste polyethylene...		Waste polyethylene...	Waste polyethylene...	Waste polyethylene...	Waste polyethylene...
Tipo di rifiuto/materiale					
		PE	PE	Ferro metals	Ferro metals
<i>FASI DEL PRODOTTO</i>					
Materiale					
Packaging film...		Packaging film...	Packaging film...	Packaging film...	Cast Iron...
Tipo di rifiuto/materiale					
		PE	PE	PE	Ferro metals
Climate change	kg CO2 eq	0,15	0,15	x	0,15
Ozone depletion	kg CFC11 eq	3,11E-09	3,11E-09	x	3,11E-09
Ionising radiation, HH	kBq U-235 eq	0,0014	0,0014	x	0,0014
Photochemical ozone formation, HH	kg NMVOC eq	0,00012	0,00012	x	0,00012
Respiratory inorganics	disease inc.	1,56E-09	1,56E-09	x	1,56E-09
Non-cancer human health effects	CTUh	1,04E-09	1,04E-09	x	1,04E-09
Cancer human health effects	CTUh	1,55E-10	1,55E-10	x	1,55E-10
Acidification terrestrial and freshwater	mol H+ eq	7,42E-05	7,42E-05	x	7,42E-05
Eutrophication freshwater	kg P eq	9,29E-07	9,29E-07	x	9,29E-07
Eutrophication marine	kg N eq	0,00047	0,00047	x	0,00047
Eutrophication terrestrial	mol N eq	0,00030	0,00030	x	0,00030
Ecotoxicity freshwater	CTUe	0,14	0,14	x	0,14
Land use	Pt	0,89	0,89	x	0,89
Water scarcity	m3 depriv.	0,0010	0,0010	x	0,0010
Resource use, energy carriers	MJ	0,23	0,23	x	0,23
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	7,45E-08	7,45E-08	x	7,45E-08
Climate change - fossil	kg CO2 eq	0,15	0,15	x	0,15
Climate change - biogenic	kg CO2 eq	8,41E-06	8,41E-06	x	8,41E-06
Climate change - land use and transform.	kg CO2 eq	2,09E-06	2,09E-06	x	2,09E-06

Tabella 4-2: Estrazione impatti per rapporto dataset-materiali Cut-off

Attraverso questi calcoli, si è ampiamente dimostrata la gerarchia ipotizzata.

Nella figura seguente è schematizzata la logica del software. Di seguito se ne dà il senso di lettura. Il materiale è caratterizzato dalla denominazione e dalla tipologia ad esso associata. Questi costituiscono i parametri di riconoscimento da parte di SimaPro. In particolare, nella sezione “Processi”, ossia la fase in cui si seleziona il processo di smaltimento, è possibile associare la tipologia di materiale o il materiale stesso. Il software concorre a verificare la correlazione tra quanto citato in “Processi” e in “Fasi del prodotto”: se al processo di smaltimento viene associato direttamente il materiale, il riconoscimento avverrà per il nome del materiale; al contrario, se al processo di smaltimento viene associata la tipologia di materiale, il riconoscimento avverrà piuttosto per tipologia di materiale. In caso di risposta affermativa, all'infuori dalla categoria APOS o Cut-Off, il software fornisce risultati identici; in caso di risposta negativa, al contrario, SimaPro considera l'analisi errata e non fornisce alcun risultato.

Si rende noto che lo schema è valido per i processi di smaltimento di categoria sia APOS sia Cut-Off.

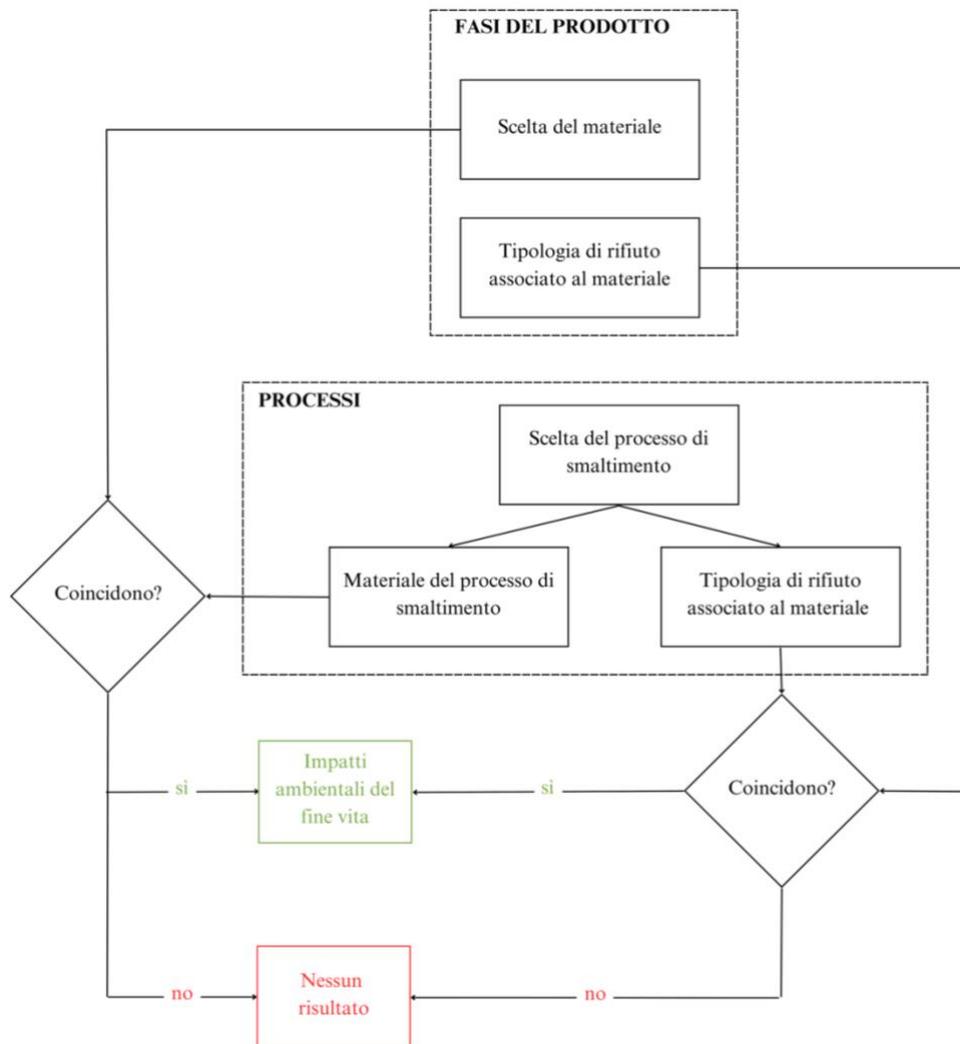


Figura 4-2: Schema riassuntivo della gerarchia di input di SimaPro

4.2 Analisi del caso studio

4.2.1 Analisi del fine vita dell'elettromandrino

Dai risultati ottenuti è evidente che l'impatto del fine vita in tutta l'analisi LCA è relativamente trascurabile. Difatti, prendendo in considerazione la Tabella 3-21, in particolare l'ultima colonna, è chiaramente mostrato come il fine vita abbia impatto solamente nella categoria "Climate change – biogenic", con un contributo in percentuale del 9%. Riportando la definizione fornita dall'EPA (U.S. Environmental Protection Agency), le emissioni di CO₂ biogeniche sono definite come emissioni di CO₂ legate al ciclo naturale del carbonio,

nonché quelle derivanti dalla combustione, raccolta, combustione, digestione, fermentazione, decomposizione o lavorazione di materiali a base biologica.

Esempi di emissioni di CO₂ biogenica includono:

- CO₂ dalla combustione di biogas raccolta dalla decomposizione biologica dei rifiuti nelle discariche, nel trattamento delle acque reflue o nei processi di gestione del letame;
- CO₂ dalla combustione della frazione biologica dei rifiuti solidi urbani o dei biosolidi;
- CO₂ derivata dalla combustione di materiale biologico, comprese le materie prime di origine forestale e di origine agricola.

Si ritiene necessario sottolineare che i materiali scelti in fase di modellazione, sono tutti di tipologia APOS.

4.2.2 Tabelle e grafici riassuntivi della composizione dell'elettromandrino

Si riportano le tabelle e i grafici presenti nella sezione output, contenenti un resoconto su tutte le tipologie di materiale utilizzati nella modellazione del prodotto studiato.

Si faccia riferimento alla figura sotto riportata per visionare la struttura di un elettromandrino, in modo da interpretare i dati di composizione ottenuti.

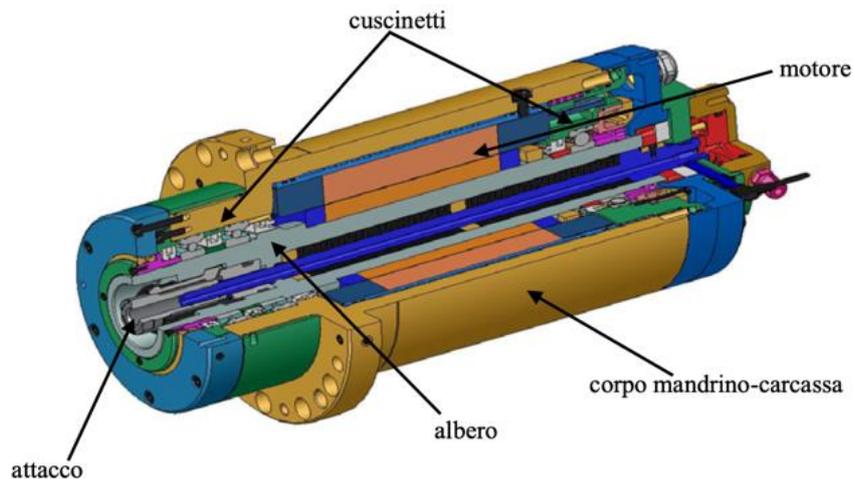


Figura 4-3: Struttura dell'elettromandrino

Tipologia di Materiale	Quantità [n°]	% sul totale [n°]	Quantità [kg]
Aluminium	-	-	-
Steel and Iron	4	17%	18,52
Plastics	5	22%	0,83
PE	2	9%	0,28
PET	-	-	-
PP	1	4%	0,023
PS	1	4%	0,041
PUR	1	4%	0,035
PVC	-	-	-
PVDC	-	-	-
Rubber	1	4%	0,15
Wood	-	-	-
Zincs	-	-	-
Biopolymers	-	-	-
Cardboard	-	-	-
Non-ferro	3	13%	5,56
Non definito	1	4%	0,21
Coppers	1	4%	2,89
Paper	2	9%	0,81
-	1	4%	9
TOT.	23	100%	38,35

Tabella 4-3: Tabella riassuntiva della composizione dell'elettromandrino per tipologia

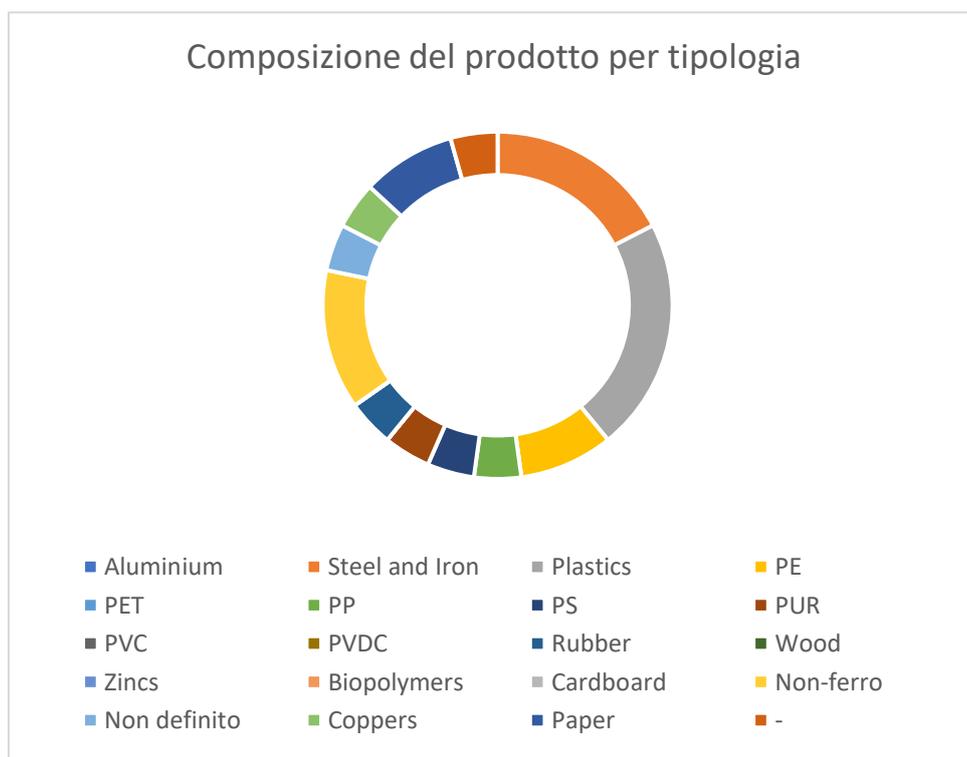


Figura 4-4: Grafico ad anello della composizione dell'elettromandrino per tipologia

Categoria di Materiale	Quantità [n°]	% sul totale [n°]	Quantità [kg]
Leghe metalliche	1	4,35%	5,40
Metalli da estrazione	-	-	-
Metalli ferrosi	4	17,39%	18,52
Metalli non ferrosi	3	13,04%	3,05
Metalli di scarto	-	-	-
Biopolimeri	-	-	-
Polimeri da riciclo	-	-	-
Gomme	1	4,35%	0,15
Polimeri termoindurenti	2	8,70%	0,19
Polimeri termoplastici	8	34,78%	1,02
Acqua industriale	-	-	-
Acqua di rubinetto	-	-	-
Carta per imballaggi	1	4,35%	0,03
Scatoloni di carta	1	4,35%	0,78
GPL	-	-	-
Olio lubrificante	-	-	-
Legno	1	4,35%	9
Materiali Chimici	1	4,35%	0,21
TOT.	23	100,00%	38,35

Tabella 4-4: Tabella riassuntiva della composizione dell'elettromandrino per categoria

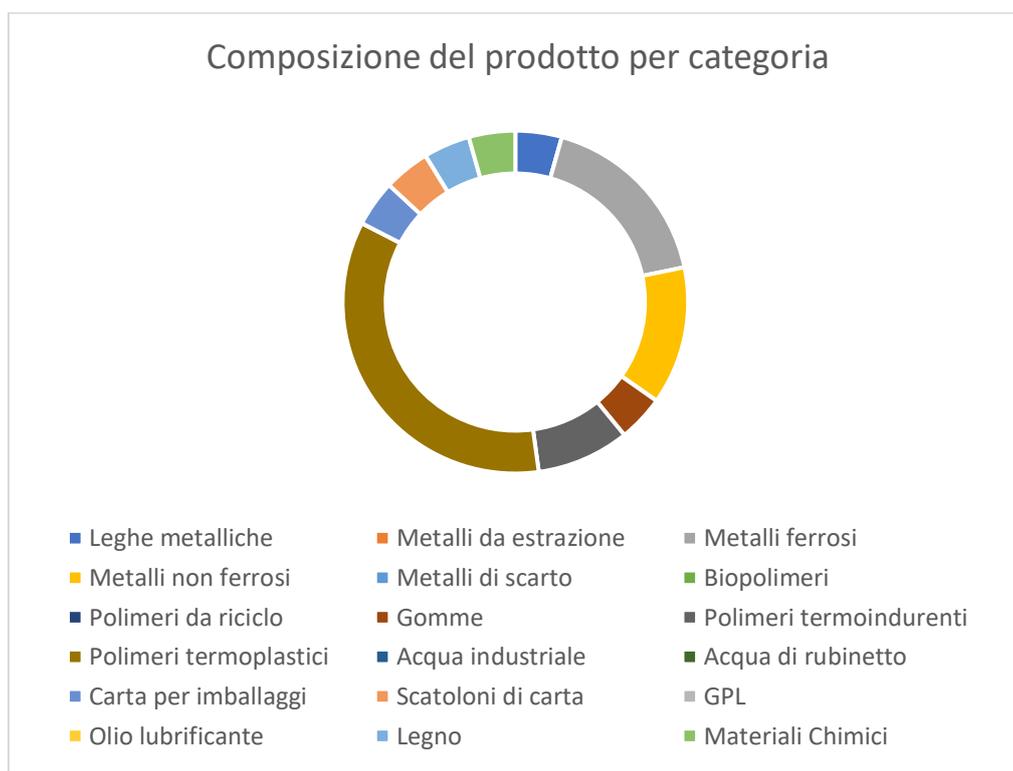


Figura 4-5: Grafico ad anello della composizione dell'elettromandrino per categoria

Tipologia di Materiale	Quantità [n°]	%
Totale Materili Riciclabili	17	74%
Totale Materiali Non Riciclabili	6	26%

Tabella 4-5: Tabella riassuntiva del totale dei materiali riciclabili e non

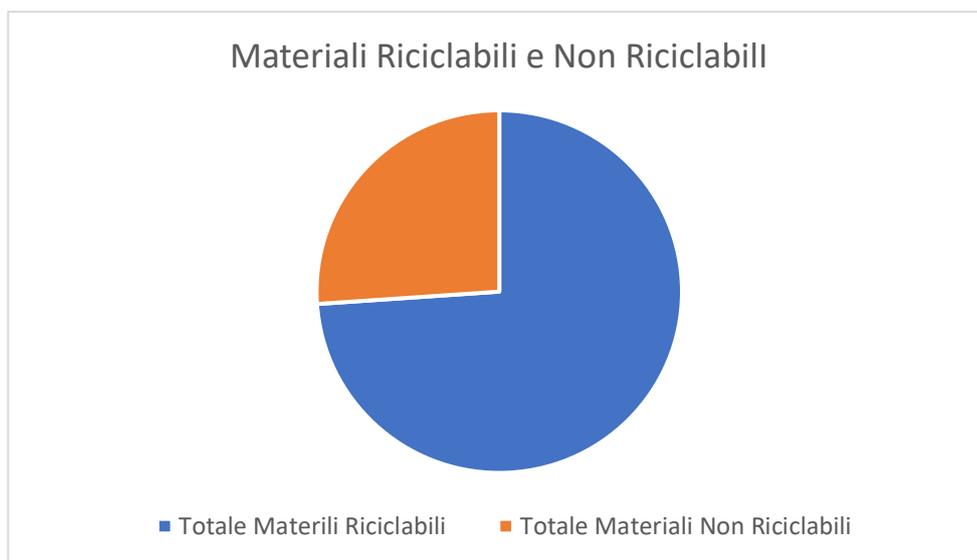


Figura 4-6: Grafico ad anello del totale dei materiali riciclabili e non

Tipologia di Rifiuto	Quantità materiale Riciclo [kg]	Quantità Materiale Discarica [kg]	Quantità materiale Incenerimento [kg]
Aluminium	-	-	-
Steel and Iron	12,96	5,56	-
PS (Polystirene)	0,012	0,029	-
Plastics - comprende anche Rubber e	0,29	0,68	-
PE (Polyethylene)	0,083	0,19	-
PET (Polyethylene terephthalate)	-	-	-
PP (Polypropylene)	0,0069	0,016	-
PVC (Polyvinyl Chloride)	-	-	-
Paper - contiene anche Cardboard	0,57	0,24	-
Core Board	-	-	-
Wood	-	-	-
PUR (Polyurethane)	-	0,035	-
Non-ferro	-	5,56	-
Coppers	-	0,87	-
Zincs	-	-	-
Non definito	-	0,21	-
TOT.	13,93	13,40	0

Tabella 4-6: Tabella riassuntiva della quantità totale in chilogrammi dei tre processi di smaltimento

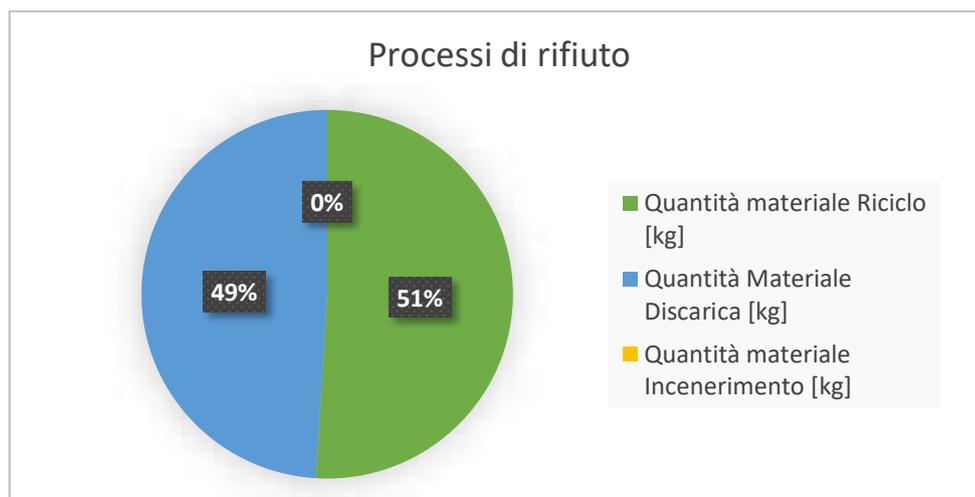


Figura 4-7: Grafico a torta della suddivisione delle quantità destinate ai tre processi di smaltimento

Dai report totali sopra inseriti si definiscono i seguenti esiti:

- Valutando la composizione del prodotto per tipologia, i materiali ad essere più utilizzati sono plastica (22%), ferro e acciaio (17%) e non-ferro (13%). La suddivisione è stata fatta per numero di materiali indicati. Se si considera invece la quantità in kg, i materiali ad essere maggiormente utilizzati sono ferro e acciaio (18,52kg).
- Valutando la composizione del prodotto per categoria, i materiali ad essere più utilizzati sono polimeri termoplastici (34,78%), i metalli ferrosi (17,39%) e i metalli non ferrosi (13,04%). Analogamente al punto precedente, la suddivisione è stata fatta per numero di materiali indicati. Se si considera la quantità in kg, invece, il materiale ad essere maggiormente utilizzati sono ancora i metalli ferrosi (18,52kg).
- Valutando il totale dei materiali riciclabili e non, nella modellazione si sono utilizzati 17 materiali riciclabili (74%) e 6 materiali non riciclabili (26%).
- Valutando la suddivisione della quantità di materiale nei processi di smaltimento, il 49% è stato destinato alla discarica, a fronte del 51% destinato al riciclo. Riguardo ciò, si ritiene essenziale sottolineare che nella modellazione sono stati considerati solo i processi di riciclo e di discarica. Infatti, facendo riferimento alla Tabella 4-6 e alla Figura 4-7, si vede come tutto il fine vita è stato incentrato verso i due processi di smaltimento.

4.3 Criticità e opportunità

4.3.1 Criticità e opportunità in SimaPro©

Nel corso dell'intera analisi degli impatti ambientali in SimaPro, si sono evidenziate criticità e opportunità nelle fasi di valutazione ed estrazione dei risultati ottenuti.

Per quanto riguarda le criticità, è risultata piuttosto difficile la classificazione dei processi di smaltimento e la successiva associazione ai materiali. I dataset delle tipologie di processo sono piuttosto complessi (come riportato in Figura 1-11 e in Figura 1-12). Per il riciclo, la suddivisione è stata abbastanza semplice, dato l'esiguo numero e il chiaro riferimento tipologico. Per la discarica, d'altra parte, si è riscontrata difficoltà soprattutto nell'assegnazione ai vari materiali, dato che i processi coprono uno spettro piuttosto vasto e non definito. Direttamente collegata alla criticità appena enunciata, è emersa l'imponente suscettibilità di SimaPro. La possibilità di associare processi di smaltimento e materiali senza criterio, consentendo persino l'associazione tra due dataset di matrice completamente diversa, può condurre l'utente a una valutazione erronea. Questo richiede che l'utente abbia esperienza. Chiaramente, nel caso studio presentato, una valutazione errata del fine vita ha poco impatto nella valutazione finale, in quanto, come già espresso, l'unico contributo è del 9% per le sostanze biogeniche. Nel caso però di altre fasi del ciclo, ad esempio per l'energia utilizzata, l'impatto risulta avere una rilevanza piuttosto considerevole.

Queste criticità si sono in realtà trasformate in opportunità per il lavoro di estrazione dati, dal momento che l'ottenimento dei risultati uguali per ogni processo di smaltimento, indipendentemente dal materiale fornito, ha permesso di svolgere una quantità considerevolmente inferiore di calcoli. Per il riciclo, si è riscontrata una riduzione del tempo di calcolo piuttosto elevata; per la discarica, invece, essendo i dataset diversi tra loro e molto più numerosi, i calcoli sono stati più onerosi. Si faccia riferimento ai seguenti dati:

- **RICICLO**

- Totale dei materiali del tool da analizzare inizialmente: 371
- Totale dei materiali effettivamente analizzati grazie all'ipotesi di gerarchia: 99

Se si suppone un tempo medio di estrazione per singolo materiale pari a 1 min, si sono risparmiate 4 ore, impiegando dunque il 73,3% del tempo in meno.

- **DISCARICA**

Con l'ipotesi di gerarchia già evidenziata per il riciclo, i materiali sottoposti ad analisi erano inferiori a quelli di partenza.

- Totale dei materiali del tool da analizzare inizialmente: 188
- Totale dei materiali effettivamente analizzati: 110

Se si suppone un tempo medio di estrazione per singolo materiale pari a 1 min, si è risparmiata 1 ora (perché le verifiche hanno confermato ciò che si è supposto all'inizio), impiegando il 41,5% del tempo in meno.

Se non si fosse fatta alcuna ipotesi di gerarchia, si sarebbero dovute svolgere circa 900-1000 simulazioni. La gerarchia ha permesso dunque di risparmiare effettivamente 15 ore di calcolo, impiegando in totale l'89% del tempo in meno.

Un'ultima criticità evidente già accennata precedentemente è la presenza di materiali non definiti e non classificati. I materiali non definiti sono piuttosto complicati da allocare; se si fa riferimento al caso studio, ad esempio, compare un materiale che è classificato in tal modo. La selezione del processo di smaltimento è totalmente a discrezione dell'utente, il quale, senza alcuna conoscenza basilare in materia di composizione dei prodotti, non riesce ad effettuare una valutazione corretta. I materiali non classificati, infine, non vengono considerati in alcun modo nei processi di fine vita.

4.3.2 Criticità e opportunità nel Tool semplificato

Il Tool semplificato è nato con l'obiettivo di ridurre al minimo le criticità di SimaPro, oltre a rendere l'intera analisi più semplice ed efficace. La criticità di gerarchia degli input scompare nel foglio di calcolo, in quanto si è predisposta, come già ampiamente detto nei capitoli precedenti, una sezione apposita per il fine vita, in cui a ogni tipologia di materiale si associa uno specifico processo di smaltimento. La suddivisione dei processi per ogni sezione è stata fatta in coerenza con le denominazioni dei dataset, in modo tale che l'utente qualsiasi processo scelga, è sicuro di aver selezionato un processo sicuramente riferente a quella categoria di materiale. A proposito di questo, per i processi di discarica, il processo di assegnazione è stato piuttosto ambiguo per i materiali inerti. Infatti, questi contengono una vastissima gamma di tipologia di materiali, perciò si sono attribuiti a tutti i processi di smaltimento.

La criticità palese del tool risiede nell'impossibilità di indagare a fondo i dataset dei materiali. Difatti, mentre in SimaPro è presente la possibilità di vederne l'intera costituzione, nel Tool semplificato si è pensato di inserire una pagina in cui si riportano le voci principali dei dataset, così da dare la possibilità all'utente di indagare eventualmente sulla definizione della voce selezionata, anche se rimane comunque piuttosto limitato.

Inoltre, per il rame il processo di riciclo è stato forzato, assegnandogli lo smaltimento del ferro e dell'acciaio. Questa decisione apparentemente inesatta nasce dall'esigenza di considerare un materiale, che in SimaPro non ha alcun processo di riciclo associato, come

riciclabile, in quanto viene realmente riciclato. Si è dunque ritenuto opportuno inserire il processo di riciclo più affine.

Infine, nella modellazione della sezione del fine vita, si è predisposta una riga ulteriore per il processo di smaltimento dell'incenerimento. Dunque, in futuro ci sarà la possibilità di inserire i dati estratti dal software riguardante l'incenerimento nel Tool semplificato.

CONCLUSIONE

In relazione agli obiettivi posti a inizio tesi, si può affermare che l'estrazione dei dati da SimaPro e il successivo inserimento all'interno del Tool semplificato abbiano definito un nuovo modo più veloce e semplice per effettuare le valutazioni ambientali. Nel corso dell'intera analisi si è largamente dimostrata la difficoltà di utilizzo del software, soprattutto nell'assegnazione dei processi di smaltimento e nella creazione dei vari scenari di fine vita. Dal punto di vista gestionale, un qualsiasi processo di qualsivoglia natura viene convalidato in base ai parametri di efficienza e di efficacia. L'efficienza è definita come il rapporto tra output e input, l'efficacia, invece, come rapporto tra obiettivo e input.

In termini di efficienza, si può dichiarare che il Tool semplificato presenta un rapporto sicuramente più alto, dal momento che il numero di input è inferiore. Difatti, mentre in SimaPro la modellazione del fine vita richiede la creazione dello scenario in due settori distinti, nel Tool semplificato è tutto in un unico settore, è dunque più immediato e molto meno soggetto ad errori umani.

In termini di efficacia, allo stesso modo, il Tool semplificato con numero inferiore di input rispetto a SimaPro fornisce sia risultati numerici sia risultati grafici, permettendo un'accessibilità indubbiamente superiore anche a un utente non esperto. Inoltre, come già detto, con gli stessi input forniti per l'analisi LCA generale, il Tool effettua un resoconto dei materiali utilizzati con i corrispettivi grafici, in modo da avere una panoramica generale del prodotto ed effettuare una valutazione sotto ogni prospettiva.

L'applicazione del Tool semplificato in un caso reale di studio, ossia quello dell'elettromandrino, ha permesso di "toccare con mano" l'impatto del fine vita. L'elettromandrino appartiene ad un gruppo di prodotti caratterizzati da lunga vita utile. Questi solitamente assorbono molta energia; per questi, il fine vita ha un effetto relativamente basso, dal momento che sono presenti fasi più impattanti, tra cui appunto quella dell'assorbimento di energia. Nel caso particolare, l'ottenimento di un unico valore del fine vita nella categoria dei cambiamenti climatici di tipo biogenico ha confermato quanto detto.

Per gli sviluppi futuri il Tool semplificato è predisposto, come citato precedentemente, alla possibilità dell'inserimento della riga dell'incenerimento per un'analisi più completa e sicura.

Nel caso studio, si sono utilizzati solamente i processi di smaltimento di riciclo e discarica, in quanto sono quelli soggetti allo studio in questa tesi.

In conclusione, si può riassumere la funzionalità della tesi in questo modo.

Di fronte all'imponente necessità da parte delle aziende di una verifica accurata sull'impatto ambientale, il Tool semplificato si colloca come trade-off tra tempo e obiettivo. In un contesto produttivo, il tempo è considerato la risorsa più importante. Seguendo quest'ottica, si può affermare che il Tool rispecchia perfettamente questi parametri.

SITOGRAFIA

- [1] *A Pesaro inaugura l'Orologio Climatico* (2021) *Comune di Pesaro*.
<http://www.comune.pesaro.pu.it/novita-in-comune/dettaglio/news/a-pesaro-inaugura-lorologio-climatico>
[1/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=0226454d06f3dae5d247374c27b5ed9a](http://www.comune.pesaro.pu.it/novita-in-comune/dettaglio/news/a-pesaro-inaugura-lorologio-climatico/1/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=0226454d06f3dae5d247374c27b5ed9a).
- [2] *Climate change - driving forces. Eurostat - Statistics Explained*.
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Climate_change_-_driving_forces#Industrial_processes_and_product_use.
- [3] *Inquinamento in 'enciclopedia dei ragazzi' in 'Enciclopedia dei ragazzi'*.
https://www.treccani.it/enciclopedia/inquinamento_%28Enciclopedia-dei-ragazzi%29/#:~:text=Le%20principali%20fonti%20di%20inquinamento,dall%27uso%20dei%20combustibili%20fossili.
- [4] *Agenda 2030* (2022) *ONU Italia*.
<https://unric.org/it/agenda-2030/>.
- [5] Aterini, L. (2015) *Life cycle assessment (LCA): Origini, Standard Normativi E Struttura Operativa - Greenreport: Economia ecologica e Sviluppo Sostenibile, Greenreport*.
<https://greenreport.it/news/comunicazione/life-cycle-assessment-lca-origini-standard-normativi-e-struttura-operativa/#>.
- [6] Viganò, P. (2022) *LCA - Life Cycle Assessment (Analisi del Ciclo Di Vita), Rete Clima*.
<https://www.reteclima.it/lca-life-cycle-assessment-analisi-del-ciclo-di-vita/>.

- [7] *Ecolabel UE Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica.*
<https://www.mase.gov.it/pagina/ecolabel-ue#:~:text=Ecolabel UE è il marchio,l'intero ciclo di vita.>
- [8] Malvano, C. *Fasi LCA*
[http://www.studiomalvano.it/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=21&Itemid=145.](http://www.studiomalvano.it/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=21&Itemid=145)
- [9] *Analisi del Ciclo Di Vita (LCA): Cos'è e da quali fasi è composta (2020) Passaporto Ambientale.*
[https://www.passaportoambientale.it/approfondimenti/analisi-ciclo-di-vita-lca-cos-e-quali-fasi/.](https://www.passaportoambientale.it/approfondimenti/analisi-ciclo-di-vita-lca-cos-e-quali-fasi/)
- [10] *SimaPro.*
<https://simapro.com>
- [11] *What are unit and system processes in SimaPro Helpcenter.*
<https://support.simapro.com/s/article/What-are-unit-and-system-processes.>
- [12] *Environmental Footprint Database (2023) SimaPro.*
[https://simapro.com/products/environmental-footprint-database/.](https://simapro.com/products/environmental-footprint-database/)
- [13] *Behind the scenes at Monte Carlo Simulations Helpcenter.*
<https://support.simapro.com/s/article/Behind-the-Scenes-at-Monte-Carlo-Simulations.>
- [14] *Inert Materials (2016) Crapper & Sons Landfill Ltd.*
[https://www.crapperandsons.co.uk/waste-disposal/for-landfill/inert-materials/.](https://www.crapperandsons.co.uk/waste-disposal/for-landfill/inert-materials/)
- [15] *Sanitary landfill (2017) European Environment Agency.*
<https://www.eea.europa.eu/help/glossary/gemet-environmental-thesaurus/sanitary-landfill.>

- [16] *Elettromandrino che cos'è? Omlat.*
<https://www.omlat.com/prodotti/#:~:text=L'elettromandrino di una macchina,la massima capacità di produrre.>
- [17] *ES951 series – elettromandrino di fresatura by HSD: Directindustry. Il marketplace B2B del settore industriale.*
[https://www.directindustry.it/prod/hsd/product-19576-1890735.html.](https://www.directindustry.it/prod/hsd/product-19576-1890735.html)
- [18] *Elettromandrini e Teste a 5 assi.*
[https://www.hsd.it.](https://www.hsd.it)
- [19] *Emissioni da Carbonio di origine biogenica.*
<https://carbo.acque.net/index.php/emissioni-da-carbonio-di-origine-biogenica#:~:text=I%20processi%20di%20trasformazione%20che,sottratto%20anidride%20carbonica%20all'atmosfera.>
- [20] *Carbon dioxide emissions associated with bioenergy and other biogenic sources (2017) EPA.*
https://19january2017snapshot.epa.gov/climatechange/carbon-dioxide-emissions-associated-bioenergy-and-other-biogenic-sources_.html#:~:text=Biogenic CO2 emissions are,processing of biologically based materials.
- [21] *Soluzioni innovative nella progettazione di Elettromandrini.*
[https://www.musp.it/sites/default/files/soluzioni_innovative_nella_progettazione_di_elettromandrini_in_high_speed_machining.pdf.](https://www.musp.it/sites/default/files/soluzioni_innovative_nella_progettazione_di_elettromandrini_in_high_speed_machining.pdf)