

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE  
IN INGEGNERIA ENERGETICA E NUCLEARE

sessione di laurea: LUGLIO 2023



**Politecnico  
di Torino**

TESI di LAUREA MAGISTRALE

**Valutazione di impatto energetico-ambientale  
della raccolta differenziata selettiva:  
caso delle bottiglie in PET**

**Studente**

Alessia Landi

**Tutor aziendali**

Giorgia Busso

Sabrina Accolla

**Relatore**

Andrea Carpignano

**Correlatore**

Raffaella Gerboni

## **Abstract**

Il crescente quantitativo di imballaggi in plastica prodotti ha reso necessario sviluppare e studiare differenti metodologie per lo smaltimento dei rifiuti.

Questa tesi pone l'attenzione sugli imballaggi in plastica, in particolare quelli in PET, con l'obiettivo di valutare il consumo energetico e l'impatto ambientale dovuti alla produzione e all'utilizzo di un eco-compattatore. L'azienda Ripet srl produce tale macchinario e lo fornisce al consorzio volontario CoRipet, il quale si occupa di distribuirlo su tutto il territorio italiano.

Lo studio si sviluppa attraverso l'analisi LCA delle fasi di produzione e di utilizzo dell'eco-compattatore, facendo uso dei dati forniti dall'azienda produttrice e dai suoi fornitori.

Infine, è stato svolto un confronto tra la raccolta differenziata tradizionale e quella selettiva. Resi noti i passaggi presenti nelle due differenti tipologie di raccolta differenziata, si è valutato il risparmio ottenibile, in termini di consumo energetico ed impatto ambientale. Ciò ha permesso di evidenziare le potenzialità dell'eco-compattatore all'interno della raccolta differenziata selettiva.

## SOMMARIO

<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	9
<b>1.1 Contesto</b> .....	9
<b>1.2 Obiettivi</b> .....	10
<b>1.3 Struttura</b> .....	11
<b>2. STATO DELL'ARTE</b> .....	12
<b>2.1 Analisi bibliografica</b> .....	13
<b>3. METODOLOGIA LCA</b> .....	15
<b>3.1 Definizione dello scopo e dell'ambito dell'analisi</b> .....	16
<b>3.2 Analisi d'inventario</b> .....	17
<b>3.3 Analisi degli impatti</b> .....	17
<b>3.4 Interpretazione dei risultati</b> .....	18
<b>4. OBIETTIVO E AMBITO DELL'ANALISI LCA</b> .....	20
<b>4.1 Descrizione dell'azienda e del prodotto</b> .....	20
<b>4.2 Dati, cut-off, allocazione e unità funzionale</b> .....	22
<b>4.3 Assunzioni e limitazioni</b> .....	23
<b>4.4 Confini del sistema</b> .....	24
<b>4.5 Metodi di categorizzazione</b> .....	27
<b>5. FASE DI PRODUZIONE</b> .....	31
<b>5.1 Analisi d'inventario</b> .....	31
5.1.1 Pressa.....	32
5.1.2 Quadro elettrico.....	36
5.1.3 Restanti parti interne.....	40
5.1.4 Parti esterne.....	41
5.1.5 Packaging.....	43
5.1.6 Risultati d'inventario.....	48
<b>5.2 Analisi degli impatti</b> .....	50
5.2.1 Metodo europeo – CML-IA.....	50
Per 1 eco-compattatore.....	51
Per 1 kg di plastica.....	56
5.2.2 Metodo <i>single issue</i> – IPCC 2021.....	60
Per 1 eco-compattatore.....	60
Per 1 kg di plastica.....	64
5.2.3 Metodo <i>single issue</i> – Cumulative Energy Demand.....	67
Per 1 eco-compattatore.....	67

Per 1 kg di plastica .....	72
<b>6. FASE DI UTILIZZO .....</b>	<b>76</b>
<b>6.1 Analisi d’inventario.....</b>	<b>76</b>
<b>6.2 Analisi degli impatti.....</b>	<b>79</b>
6.2.1 Metodo europeo – CML-IA .....	80
Per 15 anni.....	80
Per 1 kg di plastica .....	81
6.2.2 Metodo <i>single issue</i> – IPCC 2021 .....	83
Per 15 anni.....	83
Per 1 kg di plastica .....	84
6.2.3 Metodo <i>single issue</i> – Cumulative Energy Demand .....	85
Per 15 anni.....	85
Per 1 kg di plastica .....	86
<b>7. MIGLIORAMENTI.....</b>	<b>88</b>
<b>8. RACCOLTA DIFFERENZIATA TRADIZIONALE E SELETTIVA .....</b>	<b>92</b>
8.1.1 Raccolta differenziata tradizionale.....	92
8.1.2 Raccolta differenziata selettiva .....	95
8.1.3 Confronto .....	96
<b>9. CONCLUSIONI .....</b>	<b>103</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>105</b>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Schema di analisi del ciclo di vita secondo la normativa ISO [10].....	16
Figura 2 - Eco-compattatore Ripet .....	21
Figura 3 - Fase di produzione.....	25
Figura 4 - Fase di installazione .....	25
Figura 5 - Fase di utilizzo.....	26
Figura 6 - Fase di fine vita .....	26
Figura 7 - Fase di riutilizzo .....	26
Figura 8 - Suddivisioni eco-compattatore .....	32
Figura 9 - CML-IA totale (marine aquatic ecotoxicity).....	52
Figura 10 - CML-IA totale (abiotic depletion, fossil fuels) .....	53
Figura 11 - CML-IA totale (fresh water aquatic ecotoxicity) .....	54
Figura 12 - CML-IA totale (human toxicity) .....	55
Figura 13 - CML-IA totale (per 1 kg di plastica, marine aquatic ecotoxicity).....	58
Figura 14 - CML-IA pressa (per 1 kg di plastica, marine aquatic ecotoxicity).....	60
Figura 15 - IPCC 2021 totale .....	61
Figura 16 - IPCC 2021 pressa .....	62
Figura 17 - IPCC 2021 parti esterne.....	63
Figura 18 - IPCC totale (per 1 kg di plastica) .....	65
Figura 19 - IPCC pressa (per 1 kg di plastica) .....	66
Figura 20 - IPCC parti esterne (per 1 kg di plastica).....	67
Figura 21 - CED totale .....	68
Figura 22 - CED pressa .....	70
Figura 23 - CED parti esterne .....	71
Figura 24 - CED totale (per 1 kg di plastica) .....	72
Figura 25 - CED pressa (per 1 kg di plastica).....	74
Figura 26 - CED parti esterne (per 1 kg di plastica) .....	75
Figura 27 - CML-IA (marine aquatic ecotoxicity, fase d'uso) .....	81
Figura 28 - CML-IA (marine aquatic ecotoxicity, fase d'uso per 1 chilo di plastica).....	82
Figura 29 - IPCC (fase d'uso).....	84
Figura 30 - IPCC (fase d'uso per 1 kg di plastica) .....	85
Figura 31 - CED (fase d'uso).....	86
Figura 32 - CED (fase d'uso per 1 kg di plastica) .....	87
Figura 33 - Motore elettrico .....	90
Figura 34 - Raccolta differenziata tradizionale .....	93
Figura 35 - Tipologie di plastica [21].....	94
Figura 36 - Raccolta differenziata selettiva.....	95

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Acciaio riciclato .....	24
Tabella 2 - Contrappesi (PRESSA) .....	32
Tabella 3 - Motore e riduttore (PRESSA) .....	33
Tabella 4 - Omega (PRESSA) .....	33
Tabella 5 - Parti coclea (PRESSA) .....	34
Tabella 6 - Parti varie tagliate (PRESSA) .....	34
Tabella 7 - Riduzioni (PRESSA) .....	35
Tabella 8 - Stella (PRESSA) .....	35
Tabella 9 - Pressa completa .....	35
Tabella 10 - Cavi (Quadro Elettrico) .....	36
Tabella 11 - Componenti elettronici (Quadro Elettrico) .....	36
Tabella 12 - Componenti passivi (Quadro Elettrico) .....	37
Tabella 13 - Supporto (Quadro Elettrico) .....	37
Tabella 14 - Supporto presa (Quadro Elettrico) .....	38
Tabella 15 - Guida DIN e piastra di fondo (Quadro Elettrico) .....	38
Tabella 16 - Restanti parti (Quadro Elettrico) .....	38
Tabella 17 - Consumi e trasporto (Quadro Elettrico) .....	40
Tabella 18 - Bulloneria (INTERNO) .....	40
Tabella 19 - Canali (INTERNO) .....	41
Tabella 20 - Restante (INTERNO) .....	41
Tabella 21 - Cassetta (ESTERNO) .....	42
Tabella 22 - Maniglia (ESTERNO) .....	42
Tabella 23 - Pennelli laterali (ESTERNO) .....	42
Tabella 24 - Pannelli tetto (ESTERNO) .....	43
Tabella 25 - Personalizzazione (ESTERNO) .....	43
Tabella 26 - Packaging (smaltito) .....	47
Tabella 27 - Pallet (non smaltito) .....	48
Tabella 28 - Totali per tipologia di packaging .....	48
Tabella 29 - Eco-compattatore completo .....	48
Tabella 30 - Risultati d'inventario (materie prime) .....	49
Tabella 31 - Risultati d'inventario (emissioni) .....	50
Tabella 32 - CML-IA totale .....	51
Tabella 33 - CML-IA pressa .....	56
Tabella 34 - CML-IA totale (per 1 kg di plastica) .....	57
Tabella 35 - CML-IA pressa (per 1kg di plastica) .....	59
Tabella 36 - IPCC 2021 totale .....	61
Tabella 37 - IPCC 2021 pressa .....	63
Tabella 38 - IPCC 2021 parti esterne .....	64
Tabella 39 - IPCC totale (per 1 kg di plastica) .....	64
Tabella 40 - IPCC pressa (per 1 kg di plastica) .....	65
Tabella 41 - IPCC parti esterne (per 1 kg di plastica) .....	66
Tabella 42 - CED totale .....	68
Tabella 43 - CED pressa .....	69
Tabella 44 - CED parti esterne .....	71
Tabella 45 - CED totale (per 1 kg di plastica) .....	72

Tabella 46 - CED pressa (per 1 kg di plastica).....	73
Tabella 47 - CED parti esterne (per 1 kg di plastica).....	73
Tabella 48 - Risultati d'inventario (materie prime) .....	78
Tabella 49 - Risultati d'inventario (emissioni) .....	79
Tabella 50 - CML-IA (fase d'uso) .....	80
Tabella 51 - CML-IA (fase d'uso per 1kg di plastica).....	82
Tabella 52 - Fase d'uso.....	83
Tabella 53 - IPCC (fase d'uso per 1 kg di plastica) .....	84
Tabella 54 - CED (fase d'uso) .....	86
Tabella 55 - CED (fase d'uso per 1 kg di plastica).....	87
Tabella 56 - Riassunto (fase di produzione).....	88
Tabella 57 – Riassunto (fase di produzione – pressa) .....	89
Tabella 58 - Riassunto (fase d'uso) .....	91
Tabella 59 - CML-IA (waste PET) .....	98
Tabella 60 - IPCC (waste PET).....	98
Tabella 61 - CED (waste PET).....	98
Tabella 62 - Relazione sulla gestione del 2022.....	100
Tabella 63 - Impatto e consumo evitati.....	101
Tabella 64 - Riassunto risultati (su kg di PET) .....	102
Tabella 65 - Riassunto risultati (all'anno) .....	102

## INDICE DEGLI ACRONIMI

CC	Centri Comprensoriali
CSS	Centri di Selezione e Stoccaggio
GWP	Global Warming Potential
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LCA	Life Cycle Assesment
LCIA	Life Cycle Impact Assesment
LCT	Life Cycle Thinking
PCR	Product Category Rules
PE-HD	Polietilene ad alta densità
PE-LD	Polietilene a bassa densità
PET	Polietilene tereftalato
PP	Polipropilene
PS	Polistirene
PVC	Polivinilcloruro

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1 Contesto

Il crescente progresso della civiltà odierna e l'aumento dell'uso dei beni di consumo hanno creato un allarmante aumento della quantità di rifiuti generati ogni anno. La produzione di scarti è diventata sinonimo di inquinamento e degrado ambientale, pertanto è necessario adottare comportamenti etici e responsabili nei confronti degli ecosistemi a beneficio delle generazioni attuali e future.

La raccolta differenziata consiste in una suddivisione dei rifiuti in base alla tipologia, con lo scopo di indirizzarli verso il più adatto sistema di smaltimento o riciclo, consentendo di effettuare il recupero di materie prime o di produrre energia.

In particolare, per gli imballaggi in plastica esistono due tipologie differenti di raccolta differenziata: quella tradizionale e quella selettiva.

La raccolta differenziata tradizionale prevede che gli imballaggi in plastica, appena divenuti rifiuti, vengano trasportati ai Centri Comprensoriali (CC), all'interno dei quali, a seguito di una prima cernita molto grossolana, questi vengono compattati per essere trasportati all'interno dei Centri di Selezione e Stoccaggio (CSS), dove avviene la suddivisione in base alla dimensione, al colore e alla tipologia di plastica. Alla fine di tutti questi passaggi, i vari raggruppamenti di plastica vengono trasportati agli impianti di riciclo.

Invece, la raccolta differenziata selettiva, nel caso particolare della raccolta di imballaggi, si avvale di macchinari innovativi, quali gli eco-compattatori. Questi vengono riempiti dagli utenti, che portano i rifiuti al macchinario, il quale è ubicato in luoghi all'interno dei quali si svolgono altre attività, ad esempio in supermercati e scuole. I rifiuti vengono inseriti all'interno degli eco-compattatori per essere compattati e ciò permette di agevolarne il trasporto, grazie alla riduzione del volume, fino agli impianti di riciclo e di ridurre il numero di step presenti all'interno della raccolta differenziata, grazie alla selezione a priori degli imballaggi che possono essere inseriti all'interno del macchinario.

I cambiamenti climatici che si stanno verificando nel mondo hanno portato diverse nazioni alla redazione di protocolli e normative in linea con l'obiettivo di limitare il riscaldamento globale. In Europa è stato presentato il *Green Deal*, ovvero una serie di

iniziative politiche proposte dalla Commissione Europea con l'obiettivo di raggiungere la neutralità climatica nel continente entro il 2050. Tra queste vi è *“Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare. Per un'Europa più pulita e più competitiva.”* [1], proposto dalla Commissione Europea che mira a promuovere una serie di obiettivi e misure concrete per favorire la transizione verso un'economia circolare. Uno di questi obiettivi è l'aumento del riciclo e della riparazione dei prodotti, nonché la riduzione della generazione di rifiuti. Inoltre, il piano sottolinea l'importanza dell'innovazione e della ricerca e sviluppo nel campo dell'economia circolare. Vengono previsti incentivi finanziari e strumenti di supporto per promuovere l'adozione di tecnologie e processi innovativi che favoriscano la circolarità dei materiali e la riduzione dell'impatto ambientale.

Inoltre, vi è la direttiva UE 1019/904 [2] del Parlamento Europeo e del Consiglio che rappresenta un importante strumento normativo volto a mitigare gli impatti ambientali negativi derivanti dall'uso e dallo smaltimento delle plastiche monouso. La direttiva stabilisce una serie di misure volte a limitare l'uso delle plastiche monouso più comuni, come piatti, posate, cannucce, bastoncini per palloncini e contenitori per alimenti, incoraggiando l'adozione di alternative più sostenibili. Inoltre, vengono introdotte misure per migliorare la raccolta e il riciclo delle bottiglie in plastica, in linea con quanto previsto dalla direttiva precedentemente citata, riguardante l'economia circolare.

Nasce quindi, a fianco della necessità di riuscire a produrre meno rifiuti, l'esigenza di ridurre gli scarti dal trattamento dei rifiuti, in modo da ottenere una percentuale di riciclo maggiore, applicare appieno il principio dell'economia circolare, con riduzione dei consumi energetici e degli impatti ambientali.

## **1.2 Obiettivi**

All'interno di questa tesi si è svolto un confronto tra la raccolta differenziata tradizionale e la raccolta differenziata selettiva, valutando quali fossero i risparmi conseguibili, in termini di consumo energetico e di impatto ambientale.

Per svolgere il confronto si è utilizzata la metodologia LCA per studiare la raccolta selettiva. In particolare, sono state analizzate la fase di produzione e la fase di utilizzo dell'eco-compattatore, per valutare il consumo energetico e l'impatto ambientale del macchinario.

Il metodo è stato applicato ad un caso studio di un eco-compattatore, prodotto da Ripet srl, e l'analisi è stata svolta nell'ambito di una collaborazione con la società ABC servizi srl con sede a Racconigi (CN).

### **1.3 Struttura**

Lo studio si articola nei seguenti capitoli:

- il capitolo 2 che riporta i vari step storici che hanno portato alla nascita della metodologia della raccolta differenziata ed inoltre descrive alcuni studi effettuati, riguardanti gli imballaggi in plastica;
- il capitolo 3 che spiega la metodologia LCA utilizzata per affrontare lo studio e all'interno del quale vengono spiegate le fasi che la caratterizzano;
- il capitolo 4 che definisce l'obiettivo e l'ambito dell'analisi;
- il capitolo 5 che analizza la fase di produzione dell'eco-compattatore attraverso la metodologia LCA, spiegando nel dettaglio i dati analizzati, le ipotesi effettuate e quali processi sono stati utilizzati all'interno del software;
- il capitolo 6 che analizza la fase di utilizzo dell'eco-compattatore sfruttando la metodologia LCA;
- il capitolo 7 che tratta dei miglioramenti che possono essere affrontati per quanto riguarda la produzione e l'utilizzo dell'eco-compattatore;
- il capitolo 8 indaga le differenze tra la raccolta differenziata tradizionale e la raccolta differenziata selettiva, dopo aver descritto gli step presenti all'interno delle due tipologie di raccolta differenziata;
- il capitolo 9 contiene i commenti e le conclusioni ricavate a seguito dallo studio.

## 2. STATO DELL'ARTE

La storia della raccolta differenziata in Italia può essere tracciata attraverso una serie di tappe significative che evidenziano l'evoluzione e l'implementazione di questa pratica di gestione dei rifiuti.

Fino al XIX secolo, la maggior parte dei rifiuti prodotti consisteva principalmente di materiale organico, come scarti alimentari e rifiuti domestici. Le pratiche di smaltimento di quel tempo erano prevalentemente basate su metodi tradizionali, quali il compostaggio e l'utilizzo dei rifiuti come mangime per animali. Tuttavia, l'aumento della popolazione e l'industrializzazione hanno portato all'emergere di nuove tipologie di rifiuti, inclusi scarti industriali e rifiuti urbani, creando così nuove sfide per la loro gestione.

Durante il XIX secolo, in concomitanza con l'industrializzazione in rapida crescita, l'Italia si trovò di fronte all'aumento della produzione di rifiuti e alla necessità di affrontare questioni legate allo smaltimento. Durante il periodo fascista, furono introdotte alcune politiche per l'igiene pubblica e la raccolta dei rifiuti nelle città principali. Tuttavia, tali iniziative si rivelarono inefficaci e disorganizzate nel gestire adeguatamente la crescente quantità di rifiuti generati.

La raccolta differenziata dei rifiuti in Italia ha subito un'evoluzione significativa dalla Seconda Guerra Mondiale ad oggi. Questo processo è stato caratterizzato da cambiamenti legislativi, progressi tecnologici e un crescente coinvolgimento dei cittadini.

Inizialmente, la gestione dei rifiuti si basava principalmente sulla loro eliminazione attraverso discariche e inceneritori. Tuttavia, la consapevolezza dei problemi ambientali e la necessità di ridurre l'impatto dei rifiuti hanno portato all'adozione della raccolta differenziata come approccio principale per la gestione dei rifiuti.

Negli anni '60 e '70, si sono verificati i primi tentativi di introdurre la raccolta differenziata in alcune regioni italiane. Dapprima limitata a pochi materiali, come carta e vetro. In seguito, ha gradualmente coinvolto una gamma sempre più ampia di materiali riciclabili, come plastica, metallo e organico. Durante questo periodo, le prime normative nazionali sono state introdotte per incentivare e regolamentare la raccolta differenziata.

Negli anni '80, sono stati fatti ulteriori progressi nella promozione della raccolta differenziata. Le politiche ambientali del governo italiano hanno incoraggiato l'adozione di pratiche sostenibili nella gestione dei rifiuti, tra cui la separazione dei materiali riciclabili a livello domestico e la promozione di sistemi di raccolta differenziata nelle

comunità locali. Allo stesso tempo, sono stati realizzati investimenti nella creazione di infrastrutture per il trattamento dei rifiuti, come impianti di compostaggio e riciclo. [3]

Negli anni '90, l'Italia ha affrontato una crisi nazionale dei rifiuti che ha posto l'accento sull'urgenza di adottare misure efficaci per la gestione dei rifiuti. La crisi ha portato a un'accelerazione delle politiche e delle infrastrutture per la raccolta differenziata. Sono state introdotte leggi che richiedevano la raccolta differenziata obbligatoria in tutto il paese, con l'obiettivo di raggiungere alti livelli di riciclo entro determinate scadenze. Inoltre, sono stati stanziati fondi per l'implementazione di programmi di educazione ambientale e per lo sviluppo di impianti di trattamento avanzati.

Nel corso degli anni 2000, la raccolta differenziata in Italia è diventata una pratica sempre più diffusa e consolidata. Le amministrazioni locali hanno implementato sistemi di raccolta differenziata sempre più sofisticati, introducendo contenitori specifici per diversi tipi di rifiuti e organizzando servizi di raccolta porta a porta o attraverso le cosiddette "isole ecologiche" ed inoltre, i cittadini sono stati incoraggiati ad aderire alla raccolta differenziata attraverso campagne di sensibilizzazione ed incentivi.

Oggi, la raccolta differenziata è ampiamente adottata su tutto il territorio italiano. Ogni regione e comune ha i propri sistemi e regolamenti specifici, ma l'obiettivo generale è quello di ridurre la quantità di rifiuti destinati alle discariche e promuovere il riciclo e il riutilizzo dei materiali. L'Italia ha fatto importanti progressi nel raggiungimento degli obiettivi di raccolta differenziata stabiliti a livello nazionale ed europeo.

Tuttavia, nonostante i successi ottenuti, ci sono ancora sfide da affrontare. L'educazione continua dei cittadini è fondamentale per garantire la corretta separazione dei rifiuti e il loro smaltimento nei contenitori appropriati. È importante anche investire in infrastrutture e tecnologie avanzate per il trattamento dei rifiuti, al fine di massimizzare il recupero di materiali e ridurre al minimo l'impatto ambientale. [4]

## **2.1 Analisi bibliografica**

In letteratura è possibile trovare numerosi lavori riguardanti gli imballaggi in plastica. In particolare, vengono analizzati diversi scenari per la pianificazione di miglioramenti dell'infrastruttura di selezione della plastica, al fine di massimizzare i risparmi di emissioni di gas serra con costi sostenibili. Con la crescente consapevolezza dell'impatto ambientale dei rifiuti di plastica, è diventato fondamentale aumentare il recupero e la

riciclabilità dei rifiuti di plastica. Le conclusioni riportate da Pluskal J. et al. [5] indicano che l'implementazione di infrastrutture di selezione avanzate può portare a significativi risparmi di emissioni di gas serra, contribuendo così agli obiettivi di mitigazione del cambiamento climatico. Tuttavia, è necessario un equilibrio tra l'efficacia delle tecnologie adottate e i costi sostenuti per garantire la fattibilità economica dei miglioramenti dell'infrastruttura di selezione.

Cantillo T. et al. [6] affrontano il tema della consapevolezza ambientale valutando come le caratteristiche socioeconomiche influenzino le abitudini delle famiglie italiane e come tutto ciò abbia permesso, alle autorità locali e agli enti preposti alla gestione dei rifiuti, di promuovere l'adozione e l'efficacia dei sistemi di raccolta differenziata, favorendo così la transizione verso una gestione più sostenibile dei rifiuti.

Infine, Gadaleta G. et al. [7], attraverso un approccio tecnico-economico, valutano le prestazioni di un impianto avanzato di selezione dedicato al recupero dei rifiuti plastici. L'approccio proposto fornisce un solido quadro per valutare le prestazioni e la fattibilità economica degli impianti avanzati di selezione per il recupero dei rifiuti plastici. I responsabili delle politiche, gli investitori e gli attori della gestione dei rifiuti possono utilizzare questo approccio per valutare e ottimizzare le prestazioni degli impianti di selezione, contribuendo in ultima analisi alla gestione sostenibile dei rifiuti plastici e alla conservazione delle risorse.

Sulla base dell'analisi degli articoli precedentemente menzionati, emerge che l'argomento degli eco-compattatori è stato poco trattato e non sono stati identificati studi specifici che approfondiscano le analisi del ciclo di vita (LCA) degli eco-compattatori. Questi macchinari rivestono un ruolo essenziale nella riduzione del volume dei rifiuti, nell'ottimizzazione del trasporto e nello sfruttamento efficiente delle risorse. La mancanza di studi specifici rappresenta una lacuna nelle conoscenze scientifiche relative alla gestione dei rifiuti.

### 3. METODOLOGIA LCA

L'obiettivo del *Life Cycle Thinking* è quello di diminuire e ottimizzare l'uso delle risorse utilizzate durante tutta la vita di un prodotto, per ottenere una riduzione delle emissioni degli inquinanti e contemporaneamente incrementare le prestazioni socioeconomiche. [8] Uno degli strumenti di applicazione del LCT è il *Life Cycle Assessment*, che permette di effettuare una valutazione oggettiva dei carichi energetici e degli impatti dovuti ad un prodotto, un processo o ad un'attività per tutta la vita di questi, dall'estrazione delle materie prime al fine vita, percorso anche definito dalla "culla alla tomba". [9]

A livello internazionale, la metodologia dell'Analisi del Ciclo di Vita (LCA) è regolata da una serie di linee guida e standard sviluppati da organismi di standardizzazione e organizzazioni internazionali. Tra i principali riferimenti normativi nel campo dell'LCA si trovano:

- ISO 14040: questa norma, pubblicata dall'Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione (ISO), stabilisce i principi e i quadri generali per condurre un'analisi del ciclo di vita. Essa fornisce una guida su come pianificare, eseguire, interpretare e comunicare i risultati di un'analisi del ciclo di vita.
- ISO 14044: questo standard complementa la norma ISO 14040, fornendo linee guida specifiche per l'implementazione pratica di un'analisi del ciclo di vita. Esso definisce i requisiti e le procedure per la compilazione dell'inventario del ciclo di vita, l'analisi dell'impatto del ciclo di vita, l'interpretazione dei risultati e la comunicazione dei risultati dell'analisi.

Le fasi in cui si articola lo studio, seppur apparentemente separate, appaiono correlate da un continuo processo di feedback finalizzato alla rivalutazione del modello sulla base degli obiettivi di ottimizzazione delle prestazioni ambientali, come è possibile notare nella Figura 1.

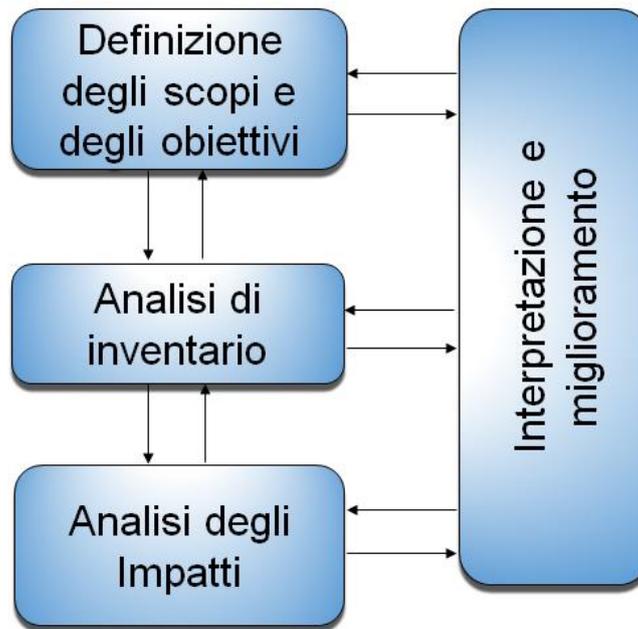


Figura 1 - Schema di analisi del ciclo di vita secondo la normativa ISO [10]

### 3.1 Definizione dello scopo e dell'ambito dell'analisi

In questa prima fase, vengono definiti in modo chiaro gli obiettivi e l'ambito per lo sviluppo dell'analisi LCA.

Gli obiettivi specificano la finalità dello studio e giustificano le scelte effettuate durante tutto questo, l'ambito viene definito in maniera dettagliata attraverso una serie di parametri. Questi ultimi vengono elencati di seguito:

- le tipologie e le fonti dei dati;
- i requisiti di qualità dei dati: essi si dividono in primari, se sono raccolti direttamente presso i siti produttivi e quindi sono molto specifici, e secondari, se derivano da fonti diverse (es. letteratura, database, brevetti...);
- le considerazioni di revisione critica: nel caso fosse necessaria, va indicato chi la farà e che esperienza ha. Tale revisione può essere sia interna sia esterna;
- i cut-off: omissione di alcuni processi o input/output, applicando le regole di cut-off;
- allocazione: permette di valutare la quota dei flussi in input e la quota di emissioni in output che devono essere attribuite a ciascun co-prodotto;
- l'unità funzionale: parametro di standardizzazione arbitrario per descrivere i risultati finali, questa fornisce un riferimento rispetto al quale gli input e gli output sono normalizzati;

- i confini del sistema: che definiscono quali unità di processo devono essere incluse all'interno dell'analisi.

### **3.2 Analisi d'inventario**

La fase di analisi dell'inventario consiste nella raccolta, nell'organizzazione e nella quantificazione dei dati relativi ai flussi di materiali ed energia associati al ciclo di vita di un prodotto, processo o servizio. Queste fasi includono l'estrazione delle materie prime, la produzione, il trasporto, l'utilizzo e lo smaltimento finale del prodotto o servizio in esame.

Si suddivide nelle seguenti fasi:

- raccolta dei dati: di tipo quantitativo e qualitativo. Essi vanno calcolati e/o stimati per ciascuna unità di processo;
- calcoli.

### **3.3 Analisi degli impatti**

Il Life Cycle Impact Assessment (LCIA) è una fase essenziale dell'analisi del ciclo di vita (LCA) che mira a trasformare i dati dell'inventario delle attività umane e dei flussi di materiali ed energia associati in effetti potenziali sull'ambiente e sulla salute umana. Questa analisi si basa su un approccio sistematico per valutare l'impatto ambientale di un prodotto, processo o servizio lungo tutto il suo ciclo di vita.

Il LCIA è suddiviso in diverse fasi:

- scelta delle categorie di impatto, degli indicatori di categoria e dei modelli di categorizzazione: In questa fase, vengono selezionate le categorie di impatto ambientale ritenute significative per lo studio specifico. Queste categorie di impatto possono includere, ad esempio, il cambiamento climatico, l'acidificazione, l'eutrofizzazione, l'uso di risorse, ecc. Per ciascuna categoria di impatto, vengono identificati gli indicatori pertinenti e i modelli di valutazione.
- classificazione che consiste nell'associare ogni impatto ambientale identificato nella fase precedente al tipo di emissione o attività che lo causa. Ad esempio, nel caso del cambiamento climatico, le emissioni di gas serra come il CO<sub>2</sub>, il metano (CH<sub>4</sub>) e l'ossido nitroso (N<sub>2</sub>O) verrebbero associate a questo impatto.

- caratterizzazione: fase in cui vengono calcolati gli impatti utilizzando i fattori di caratterizzazione specifici per ciascun indicatore di categoria. Questi consentono di tradurre le quantità di emissioni e flussi di materiale rilevati nell'inventario in valori di impatto effettivi sulla base della loro rilevanza potenziale per l'ambiente e la salute umana.
- normalizzazione (facoltativa), è un passo opzionale che può essere incluso nell'analisi per fornire una prospettiva più relativa sulle diverse categorie di impatto. Questo processo può comportare la conversione degli impatti valutati in unità normalizzate, ad esempio per unità di produzione o di consumo.
- pesatura (facoltativa), è un altro passo facoltativo del LCIA che mira ad attribuire un peso relativo alle diverse categorie di impatto. Ciò permette di tenere conto delle diverse priorità delle parti interessate riguardo agli impatti specifici e di fornire una visione più completa degli effetti globali.

L'analisi del ciclo di vita con l'inclusione di queste fasi di Life Cycle Impact Assessment è uno strumento prezioso per la valutazione dell'impatto ambientale complessivo di un prodotto o di un sistema, consentendo una valutazione più informata delle alternative e supportando decisioni sostenibili nel campo della progettazione e dell'innovazione.

### **3.4 Interpretazione dei risultati**

Nella fase finale dell'analisi del ciclo di vita (LCA), vengono esaminati i risultati ottenuti al fine di valutare l'influenza delle ipotesi effettuate nelle fasi precedenti dell'analisi. L'obiettivo principale di questa fase è di valutare in che misura le decisioni prese durante l'analisi possano aver influenzato i risultati finali.

Durante questa fase, vengono effettuati i seguenti controlli:

- completezza: si verifica che tutte le informazioni e i dati rilevanti siano stati considerati durante l'analisi. Questo controllo assicura che nulla di significativo sia stato trascurato e che tutti gli aspetti rilevanti siano stati adeguatamente presi in considerazione. Ad esempio, potrebbe essere verificato se tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto sono state considerate e se le informazioni relative a materie prime, processi di produzione, trasporto, utilizzo e smaltimento sono state correttamente incorporate nell'analisi.
- sensibilità: Si effettuano controlli di sensibilità per valutare l'affidabilità dei risultati in base a variazioni nei metodi utilizzati durante l'analisi. Questo controllo

considera l'impatto delle scelte metodologiche sulla variabilità dei risultati. Ad esempio, potrebbe essere valutato come l'utilizzo di diverse fonti di dati, l'adozione di modelli di caratterizzazione differenti o l'incorporazione di ipotesi alternative possano influire sui risultati dell'analisi.

- consistenza: Si verifica che le assunzioni fatte e i metodi utilizzati durante l'analisi siano coerenti con gli obiettivi e gli scopi dello studio. Questo controllo assicura che le scelte effettuate durante l'analisi siano logicamente e concettualmente in linea con l'ambito e gli obiettivi del LCA. Ad esempio, potrebbe essere controllato se i modelli di valutazione utilizzati siano appropriati per le categorie di impatto selezionate e se le assunzioni fatte durante la caratterizzazione siano coerenti con i principi e le linee guida accettati nel campo della valutazione dell'impatto ambientale.

Infine, basandosi sui risultati ottenuti e sui controlli eseguiti, vengono tratte le conclusioni e formulate le raccomandazioni. Le conclusioni sintetizzano i principali risultati dell'analisi e forniscono un'interpretazione degli impatti ambientali identificati. Le raccomandazioni possono riguardare possibili miglioramenti del prodotto, del processo o del sistema analizzato al fine di ridurre gli impatti ambientali o di promuovere soluzioni più sostenibili.

In sintesi, questa fase finale dell'analisi LCA si concentra sull'esame critico dei risultati ottenuti, assicurandosi che tutte le informazioni rilevanti siano state prese in considerazione, che i risultati siano affidabili e che le scelte metodologiche siano coerenti con gli obiettivi dello studio. [11]

## **4. OBIETTIVO E AMBITO DELL'ANALISI LCA**

L'analisi LCA svolta all'interno di questa tesi permette di effettuare una valutazione comparativa tra la raccolta differenziata tradizionale e la raccolta differenziata selettiva. All'interno di questo capitolo e dei due successivi (5 e 6) si calcola il consumo di energia e l'impatto ambientale per la fase di produzione e la fase di utilizzo dell'eco-compattatore prodotto dall'azienda Ripet. Tale studio permette di vagliare i benefici che si possono ottenere dall'utilizzo di questo macchinario per la raccolta differenziata e, quindi, comprendere i maggiori vantaggi conseguibili attraverso la raccolta differenziata selettiva, rispetto a quella tradizionale.

In questo caso non è stato fatto alcun confronto con le PCR di riferimento in quanto attualmente non disponibili.

Solitamente le Product Category Rules (PCR) vengono utilizzate negli studi di Life Cycle Assessment (LCA) per fornire linee guida specifiche e uniformi per la valutazione dell'impatto ambientale di prodotti o servizi appartenenti a una determinata categoria. Queste regole consentono di standardizzare il processo di valutazione, garantendo una comparabilità affidabile dei risultati tra diversi studi e permettendo una corretta comunicazione delle informazioni ambientali ai consumatori, alle aziende e ai responsabili delle politiche.

L'utilizzo delle PCR comporta numerosi vantaggi. Innanzitutto, semplifica e accelera il processo di valutazione dell'impatto ambientale, fornendo una struttura metodologica predefinita. Ciò consente una maggiore efficienza nel condurre gli studi di LCA e facilita la comparabilità dei risultati tra diversi prodotti o servizi all'interno della stessa categoria.

### **4.1 Descrizione dell'azienda e del prodotto**

Ripet è un'azienda di Cavallermaggiore (CN) specializzata nella progettazione, nello sviluppo e nella fornitura di soluzioni avanzate nel settore del riciclo e del recupero dei rifiuti.

La missione di Ripet è quella di promuovere una gestione dei rifiuti sostenibile, mirando a massimizzare il recupero dei materiali e a minimizzare l'invio dei rifiuti in discarica, attraverso la produzione degli eco-compattatori, uno dei quali viene analizzato all'interno di questo studio.

La descrizione dell'azienda e degli obiettivi è ben descritta sul sito di loro proprietà che recita:

*“Nel 2020 nasce la società Ripet, azienda industriale attiva nell’ambito della sostenibilità ambientale. Il sistema di raccolta attuato da Ripet permette di coinvolgere attivamente il cittadino nella raccolta e smaltimento del materiale plastico proveniente dalle bottiglie, consentendo così a ciascun individuo di poter fare la propria parte in materia di salvaguardia dell’ambiente e di potersi sentire parte integrante di una comunità che opera per il futuro.” [12]*



Figura 2 - Eco-compattatore Ripet

L'eco-compattatore è un macchinario progettato per il riciclo delle bottiglie in PET, in particolare tale macchinario permette di ottenere un rifiuto meno vario, selezionato, così da ridurre gli scarti al momento del riciclo e di diminuire il volume dei rifiuti raccolti.

Il macchinario è costituito da un lettore bar code esterno, utilizzato per l'accumulo di punti da parte degli utenti, in tal modo questi sono incentivati all'uso dell'eco-compattatore, in quanto ad ogni bottiglia riciclata vengono associati dei punti. Affianco al lettore della tessera utente vi è uno sportello, all'interno del quale è possibile inserire la bottiglia da riciclare. Questa, una volta infilata, viene identificata attraverso uno

scanner. Tale identificazione è necessaria in quanto permette di valutare la compatibilità con l'eco-compattatore.

Successivamente all'identificazione e all'accettazione della bottiglia all'interno del macchinario, questa scivola attraverso degli appositi canali fino alla coclea compattatrice. Quest'elemento, fondamentale per ottenere una bottiglia compattata, è messo in movimento da un motore e da un riduttore elettrici. Una volta compattata la bottiglia viene convogliata all'interno della cabina di contenimento che si trova nell'eco-compattatore, di fianco alle parti meccaniche del macchinario.

L'eco-compattatore ha un peso complessivo di circa 770 kg, con le seguenti dimensioni: 240 cm x 160 cm x 198 cm. Inoltre, il macchinario ha una potenza di assorbimento pari a 5 kW, principalmente dovuta al funzionamento della coclea compattatrice.

#### **4.2 Dati, cut-off, allocazione e unità funzionale**

L'analisi LCA sull'eco-compattatore Ripet è stata svolta utilizzando il software SimaPro nella versione 9.4.0.

I dati utilizzati per svolgere l'analisi fanno riferimento all'anno 2022 e sono innanzitutto primari, ovvero dati di qualità elevata poiché forniti dall'azienda stessa e da alcuni dei fornitori.

Per completare l'analisi, sono stati utilizzati anche dati di tipo secondario, definiti come tali in quanto sono in parte ricavati dal database "*Ecoinvent 3.0 – Allocation, cut-off by classification*", implementato all'interno del software, ed in parte stimati attraverso opportune ipotesi, che vengono esplicitate sia all'interno del paragrafo 4.3 riguardante le assunzioni, sia all'interno dei paragrafi 5.1 e 6.1, riguardanti le analisi d'inventario delle fasi analizzate.

Grazie alle regole di *cut-off* è stato possibile escludere dallo studio dati di poca rilevanza. Innanzitutto, sono stati esclusi i consumi energetici dovuti all'illuminazione per alcuni fornitori. È stato ipotizzato che il consumo energetico per l'illuminazione di questi fosse inferiore all'1% del consumo energetico totale per la produzione dell'eco-compattatore, in quanto durante la maggior parte delle ore lavorative, tali fornitori non utilizzano l'illuminazione artificiale ed inoltre, all'interno dei capannoni industriali, queste aziende

non hanno una produzione unicamente focalizzata sui prodotti richiesti da Ripet, bensì, contemporaneamente, effettuano lavorazioni per altre aziende.

Successivamente è stato scelto di considerare l'impatto del packaging esclusivamente per i prodotti che arrivano direttamente nell'azienda cliente. Tale scelta è stata considerata accettabile in quanto si è ipotizzato che l'impatto del packaging dei prodotti non direttamente destinati a Ripet fosse inferiore all'1% dell'impatto totale.

La libreria Ecoinvent utilizzata sfrutta il metodo di allocazione *cut-off*, il quale prevede che i carichi ambientali per la produzione di materia prima vergine e gli impatti di dismissione della produzione dei rifiuti siano completamente attribuiti alla prima vita del prodotto. Invece, al prodotto riciclato sono imputati gli impatti del processo di riciclo e gli impatti finali di dismissione. [13]

Infine, per effettuare una corretta analisi LCA è stato necessario stabilire un parametro di standardizzazione con il quale fosse possibile normalizzare i risultati finali. Tale parametro viene definito unità funzionale, che in questo caso risulta essere:

- chilo di plastica trattato dall'eco-compattatore.

### **4.3 Assunzioni e limitazioni**

All'interno dell' "*Analisi d'inventario*", vengono dettagliatamente specificate le ipotesi effettuate per ciascuna scelta di modellizzazione.

In particolare, nel caso in cui le reali composizioni dei componenti del macchinario risultavano sconosciute o i dati forniti non erano sufficienti per svolgere l'analisi, in quanto coperte da informazioni confidenziali, sono state effettuate delle approssimazioni, delle stime attraverso una combinazione dei dati forniti e dei dataset disponibili oppure sono stati ricostruiti attraverso dati di letteratura, il tutto mantenendo un approccio conservativo.

Alcune assunzioni sono state considerate valide per lo svolgimento di tutto lo studio, quali:

- macchinario da taglio laser con una potenza di 2000 W. Un solo fornitore ha messo a disposizione le specifiche della macchina a taglio laser da loro utilizzata ed è, quindi, stato scelto, per gli altri fornitori, di modellizzare tale lavorazione con lo stesso macchinario;

- acciaio riciclato al 24.4%. Grazie alle informazioni di uno dei fornitori è stato possibile scoprire che l'acciaio utilizzato per l'eco-compattatore è, nel loro caso, riciclato. Non essendo a conoscenza di informazioni per quanto riguarda l'acciaio usato dagli altri fornitori, è stato scelto di utilizzare la stessa tipologia anche negli altri casi.

All'interno della libreria Ecoinvent tale materiale non è presente, quindi, è stato necessario modellizzarlo come segue:

<b>RECYCLED STEEL</b>
electric arc furnace secondary metallurgy slag transport, recycled iron (GLO)

*Tabella 1 - Acciaio riciclato*

Nella prima riga è stato inserito il macchinario utilizzato per effettuare la lavorazione necessaria per il riciclo dell'acciaio. Nella seconda e ultima riga, invece, è stato inserito il trasporto del ferro riciclato a livello globale, nonostante servisse il trasporto dell'acciaio, questo, in quanto sconosciuto, è stato stimato simile a quello del ferro presente nella libreria Ecoinvent.

#### **4.4 Confini del sistema**

Per un'analisi accurata e corretta è necessario definire i confini del sistema, ovvero quali siano gli elementi inclusi nell'analisi e quali siano esclusi.

Le fasi del ciclo di vita di un prodotto sono diverse e si distinguono in:

- produzione;
- installazione;
- utilizzo;
- fine vita;
- riutilizzo.

In questo studio è stato scelto di analizzare la fase di produzione e la fase di utilizzo; di seguito vengono specificate, con maggiori dettagli, quali particolari processi sono stati considerati.

La fase di produzione include al suo interno tutti i processi elencati in Figura 3. Non essendo a conoscenza nel dettaglio delle specifiche di estrazione dei prodotti che lo

prevedono oppure la distanza percorsa dalle materie prime fino al sito di produzione del componente utilizzato dai fornitori, si sono utilizzati i dati presenti all'interno della libreria Ecoinvent. I processi che sono stati analizzati nello studio sono contrassegnati da una X, la quale indica "modulo dichiarato".



*Figura 3 - Fase di produzione*

La seconda fase include il trasporto e l'installazione del macchinario nel sito di effettivo utilizzo di questo.

Gli eco-compattatori sono distribuiti su tutto il territorio italiano e poiché all'interno dell'analisi non si fa riferimento ad alcun eco-compattatore nello specifico, ma si valuta l'impatto della macchina in sé, è stato scelto di non considerare la fase di trasporto (ND = modulo non dichiarato). Per quanto riguarda l'installazione questa non è prevista nel caso dell'eco-compattatore.



*Figura 4 - Fase di installazione*

Per quanto riguarda la terza fase, quella di utilizzo si è scelto di andare ad analizzare solo il primo tra quelli elencati in Figura 5. Quindi nei capitoli successivi è stato scelto di andare a valutare l'impatto del macchinario all'interno della raccolta differenziata selettiva.



Figura 5 - Fase di utilizzo

Per quanto riguarda le ultime fasi, suddivise come nella Figura 6 e nella Figura 7, non sono state considerate nell'analisi. [14]



Figura 6 - Fase di fine vita



Figura 7 - Fase di riutilizzo

## 4.5 Metodi di categorizzazione

L'analisi degli impatti sfrutta diversi metodi di categorizzazione che all'interno di SimaPro risultano essere:

- metodo europeo: che includono metodologie che sono focalizzate sul contesto europeo, infatti sono i più usati per gli studi di LCA europei;
- metodo globale: per studi a livello globale;
- metodo nordamericano: per gli studi nordamericani;
- metodo *single issue*: metodi focalizzati su una singola metrica o un singolo impatto ambientale, tranne nel caso di focus sull'acqua;
- metodo *water footprint*: focalizzato sugli impatti dell'acqua.

In particolare, all'interno di questo studio è stato scelto di utilizzare i tre metodi che vengono elencati di seguito:

- 1) metodo europeo CML-IA con precisione maggiore precisione questo metodo viene denominato "CML-IA baseline V3.08/World,1995". Nel 2001, un gruppo di scienziati sotto la guida del CML (Centro di Scienze Ambientali dell'Università di Leida) ha proposto una serie di categorie di impatto e metodi di caratterizzazione per la fase di valutazione dell'impatto. Il metodo di valutazione dell'impatto implementato come metodologia CML-IA è definito per l'approccio midpoint.

Nell'analisi LCA, l'approccio midpoint prevede l'utilizzo di indicatori di impatto ambientale intermedi, noti anche come indicatori di impatto a metà percorso. Questi rappresentano gli impatti ambientali che si verificano durante le diverse fasi del ciclo di vita del prodotto. L'approccio midpoint offre vantaggi nella valutazione degli impatti ambientali, in quanto fornisce informazioni dettagliate sugli effetti intermedi che contribuiscono agli impatti finali. Ciò consente di identificare i punti critici del ciclo di vita in cui si verificano gli impatti ambientali più significativi e di focalizzare gli sforzi di miglioramento e mitigazione in tali fasi. Tuttavia, è importante sottolineare che l'approccio midpoint ha alcuni limiti. Ad esempio, gli indicatori di impatto a metà percorso possono essere soggetti a incertezze e possono non riflettere completamente gli impatti finali o gli effetti complessivi sul sistema ambientale.

Questo metodo valuta diverse categorie d'impatto che vengono riportate di seguito in ordine alfabetico:

- *ABIOTIC DEPLETION fossil fuels* (impoverimento abiotico, combustibili fossili)

Questa categoria d'impatto riguarda la protezione del benessere umano, della salute umana e della salute dell'ecosistema. L'indicatore di questa categoria d'impatto è correlato all'estrazione di minerali e combustibili fossili dovuta agli input nel sistema. Il fattore di esaurimento abiotico (ADF) è determinato per ogni estrazione di minerali e combustibili fossili (kg di antimonio equivalente/kg di estrazione) in base alle riserve di concentrazione. L'ambito geografico di questo indicatore è su scala globale.

- *ACIDIFICATION* (acidificazione)

Le sostanze acidificanti causano un'ampia gamma di impatti su suolo, acque sotterranee, acque superficiali, organismi, ecosistemi e materiali (edifici). Il potenziale di acidificazione (AP) per le emissioni nell'aria è calcolato con il modello RAINS 10 adattato, che descrive il destino e la deposizione delle sostanze acidificanti. L'AP è espresso come kg di SO<sub>2</sub> equivalente/ kg di emissioni. L'arco temporale è l'eternità e la scala geografica varia da quella locale a quella continentale.

- *EUTROPHICATION* (eutrofizzazione) L'eutrofizzazione comprende tutti gli impatti dovuti a livelli eccessivi di macronutrienti nell'ambiente causati dalle emissioni di nutrienti nell'aria, nell'acqua e nel suolo. Il potenziale di nutrizione (NP) si basa sulla procedura stechiometrica di Heijungs (1992) ed è espresso come kg di PO<sub>4</sub> equivalenti per kg di emissioni. Il destino e l'esposizione non sono inclusi, l'arco di tempo è l'eternità e la scala geografica varia tra quella locale e quella continentale.

- *FRESH WATER AQUATIC ECOTOXICITY* (eco-tossicità acquatica d'acqua dolce)

Questo indicatore di categoria si riferisce all'impatto sugli ecosistemi d'acqua dolce, come risultato delle emissioni di sostanze tossiche nell'aria, nell'acqua e nel suolo, con conseguente potenziale di eco-tossicità acquatica d'acqua dolce (FAETP). L'orizzonte temporale è infinito. I fattori di caratterizzazione sono espressi come 1,4-diclorobenzene equivalente/kg di emissioni. L'indicatore si applica a scala globale/continentale/regionale e locale.

- *GLOBAL WARMING* (riscaldamento globale)  
Per lo sviluppo dei fattori di caratterizzazione è stato scelto il modello di caratterizzazione sviluppato dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). I fattori sono espressi come potenziale di riscaldamento globale per un orizzonte temporale di 100 anni (GWP100), in kg di biossido di carbonio/kg di emissioni. L'ambito geografico di questo indicatore è su scala globale.
- *HUMAN TOXICITY* (tossicità umana)  
Questa categoria riguarda gli effetti delle sostanze tossiche sull'ambiente umano. I rischi per la salute derivanti dall'esposizione nell'ambiente di lavoro non sono inclusi. I fattori di caratterizzazione, i potenziali di tossicità umana (HTP), sono calcolati con il modello multimediale USES-LCA, che descrive il destino, l'esposizione e gli effetti delle sostanze tossiche per un orizzonte temporale infinito. Per ogni sostanza tossica gli HTP sono espressi come 1,4-diclorobenzene equivalenti/ kg di emissioni. La portata geografica di questo indicatore dipende dal destino di una sostanza e può variare tra la scala locale e quella globale.
- *MARINE AQUATIC ECOTOXICITY* (eco-tossicità acquatica d'acqua di mare)  
L'eco-tossicità marina si riferisce agli impatti delle sostanze tossiche sugli ecosistemi marini, come nel caso della categoria precedentemente descritta.
- *PHOTO-OXIDANT FORMATION* (formazione di foto-ossidanti)  
La formazione di foto-ossidanti è la formazione di sostanze reattive (principalmente ozono) che sono dannose per la salute umana e gli ecosistemi e che possono anche danneggiare le colture. Questo problema è indicato anche con il termine "smog estivo". Lo smog invernale non rientra nell'ambito di questa categoria e di questo metodo. Il potenziale di creazione di ozono fotochimico (POCP) per l'emissione di sostanze nell'aria è calcolato con il modello UNECE Trajectory (incluso il destino) ed espresso in kg di etilene equivalente/kg di emissione. L'intervallo di tempo è di cinque giorni e la scala geografica varia tra quella locale e quella continentale.

- *STRATOSPHERIC OZONE DEPLETION* (impoverimento dell'ozono stratosferico)

A causa dell'impoverimento dell'ozono stratosferico, una frazione maggiore di radiazioni UV-B raggiunge la superficie terrestre. Ciò può avere effetti nocivi sulla salute umana, sulla salute degli animali, sugli ecosistemi terrestri e acquatici, sui cicli biochimici e sui materiali. Questa categoria è legata all'output e a scala globale. Il modello di caratterizzazione è sviluppato dall'Organizzazione meteorologica mondiale (WMO) e definisce il potenziale di riduzione dell'ozono di diversi gas (kg di CFC-11 equivalente/ kg di emissioni). L'ambito geografico di questo indicatore è su scala globale. L'arco temporale è infinito.

- *TERRESTRIAL ECOTOXICITY* (eco-tossicità terrestre)

Questa categoria si riferisce agli impatti delle sostanze tossiche sugli ecosistemi terrestri, come nel caso della categoria dell'eco-tossicità acquatica d'acqua dolce.

- 2) Metodo *single issue IPCC 2021*, che è un acronimo che sta per Intergovernmental Panel on Climate Change. È un metodo sviluppato dal Gruppo Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici e si basa sulla versione finale del rapporto IPCC "AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis", che è ancora soggetto a copy-editing, corrigenda e trickle back.
- 3) Metodo *single issue CED*, ovvero Cumulative Energy Demand, che calcola la domanda cumulativa di energia a partire dai dati pubblicati da Ecoinvent e ampliati da PRé per le risorse energetiche disponibili nel database SimaPro. [15]

## 5. FASE DI PRODUZIONE

### 5.1 Analisi d'inventario

Per effettuare l'analisi è stato creato un modello, implementato all'interno del software SimaPro. Attraverso i dati raccolti e i sopralluoghi effettuati presso l'azienda cliente e alcuni dei suoi fornitori, è stato possibile risalire a tutti i componenti che costituiscono il macchinario, conoscere i processi di realizzazione di ognuno e i metodi di lavorazione utilizzati.

Innanzitutto, sono stati valutati il consumo energetico totale e il consumo per il riscaldamento nell'azienda Ripet.

Attraverso le bollette energetiche del 2022 è stato possibile calcolare il consumo totale, considerando che nell'anno il 50 % del consumo totale è usato per la produzione di 240 macchinari e il restante 50 % per la produzione di 600 presse.

$$\text{consumo}_{eco-compattatore} = \frac{\text{consumo}_{tot}}{2 * n. macchine} = \frac{18118}{2 * 240} = 37.36 \text{ kWh/macchina}$$

Per quanto riguarda il consumo per il riscaldamento, il calcolo effettuato è stato lo stesso, noto che dalle bollette è stato possibile ottenere il totale del gpl usato durante tutto l'anno 2022.

$$\text{consumo}_{eco-compattatore} = \frac{\frac{\text{consumo}_{tot}}{PCI}}{2 * n. macchine} = \frac{4.6 * 9.5}{2 * 240} = 91.04 \frac{\text{kWh}}{\text{macchina}}$$

Successivamente, per organizzare lo studio è stato deciso di suddividere il macchinario in cinque macroaree, come è possibile notare nella Figura 8 e nell'elenco che segue:

- la pressa;
- il quadro elettrico;
- le restanti parti interne;
- le parti esterne;
- il packaging.

Tale suddivisione ha permesso di valutare, nella fase finale dello studio, quale fosse la componente più impattante nella costruzione dell'eco-compattatore, a seconda del metodo di calcolo.



*Figura 8 - Suddivisioni eco-compattatore*

### 5.1.1 Pressa

Una delle parti in cui è stato suddiviso il macchinario per effettuare lo studio LCA è la pressa, la quale è costituita da diversi componenti che vengono elencati di seguito:

- i contrappesi: componenti in ferro, di cui è stato fornito il peso, che subiscono una lavorazione a taglio laser. Di questo macchinario per la lavorazione al taglio laser sono state fornite le caratteristiche tecniche dal produttore di tale componente, con anche le tempistiche di lavorazione. Tali componenti vengono prelevati da Ripet, che raggiunge il fornitore e trasporta i prodotti finiti in sede.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE	VALORE	U.M.
contrappesi	laser machining, metal, with CO2 - laser, 2000 W power	50	50	s
	iron sinter	3.5	3.50	kg
	transport, freight, light commercial vehicle	3.5*15*2	105	kg*km

*Tabella 2 - Contrappesi (PRESSA)*

- il motore e il riduttore: componenti per i quali sono stati forniti il peso e la potenza. Le componenti interne di questi due elementi sono informazioni confidenziali, di conseguenza, è stato scelto di svolgere la modellizzazione utilizzando un motore già presente all'interno della libreria Ecoinvent; questo è un motore elettrico per

scooter, scelta effettuata in quanto il motore utilizzato per l'eco-compattatore risulta avere una potenza quasi uguale a quella del motore presente all'interno della libreria. Nel caso del riduttore, la scelta effettuata è stata la stessa a meno del magnete permanente, che è l'elemento principale che distingue il motore dal riduttore, in questo caso. Inoltre, grazie ai dati primari forniti, è stato possibile inserire l'impatto del trasporto dal produttore al committente, Ripet.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
motore e riduttore	electric motor, for electric scooter	38	38	kg
	electric motor (no permanent magnet)	29	29	kg
	transport, freight lorry 16-32 metric ton, EURO 4	67*331	22177	kg*km

*Tabella 3 - Motore e riduttore (PRESSA)*

- l'omega: componente in acciaio zincato sul quale vengono effettuate diverse lavorazioni: la piegatura, modellizzata con il consumo di energia dovuto a tale lavorazione, calcolato attraverso la potenza del macchinario (15 kW) e il tempo impiegato (30 sec); il taglio laser, per 1 minuto di lavorazione, ed infine la saldatura.

Inoltre, è stato inserito l'impatto del trasporto dal produttore considerando che tali componenti vengono prelevati da Ripet, che raggiunge il fornitore e trasporta i prodotti finiti in sede.

Il peso del componente, le potenze e le tempistiche dei macchinari utilizzati per le lavorazioni effettuate sull'acciaio e la distanza tra produttore e committente sono dati primari.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
omega	electricity, low voltage	1500*30/3600	12.5	Wh
	laser machining, metal, with CO2 - laser, 2000 W power	1	1	min
	steel, low alloyed	0.165*(1-0,244)	0.125	kg
	recycled steel	0.165*0,244	0.040	kg
	welding, arc, steel	6.4	6.4	cm
	zinc coat, coils	448.96	448.96	cm <sup>2</sup>
	transport, freight, light commercial vehicle	0.165*15*2	4.95	kg*km

*Tabella 4 - Omega (PRESSA)*

- le parti coclea: componenti in acciaio che vengono saldati tra di loro, subiscono una lavorazione che richiede 11 ore e l'utilizzo di un macchinario la cui potenza è 100 W, per il quale è stato possibile calcolare il consumo energetico per la produzione dei vari componenti, infine anche questi vengono trasportati fino al committente.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
parti coclea	electricity, low voltage	100*11	1100	Wh
	steel, low alloyed	146.04*(1-0.244)	110.41	kg
	recycled steel	146.04*0.244	35.63	kg
	transport, freight lorry 16-32 metric ton, EURO 4	146.04*15	2191	kg*km

*Tabella 5 - Parti coclea (PRESSA)*

- le parti varie tagliate: i componenti in acciaio vengono sottoposti a taglio laser per 15 min con un macchinario; infine, è stato inserito un impatto relativo al trasporto, composto da una parte per quanto riguarda il trasporto dovuto alla lavorazione del taglio laser, che viene effettuato a 10 km dal fornitore e da una parte che riguarda un trasporto effettuato dal fornitore fino all'azienda dell'eco-compattatore. Tutti i dati forniti sono primari, tranne per quanto riguarda la tipologia di macchinario per il taglio laser per cui viene effettuata l'assunzione già esplicitata nel paragrafo 4.3.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
parti varie tagliate	laser machining, metal, with CO2 - laser, 2000 W power	15	15	min
	steel, low alloyed	62.86	62.86	kg
	transport, freight, light commercial vehicle	62.86*10*2	1257.2	kg*km
	transport, freight lorry 16-32 metric ton, EURO 4	62.86*15	942.9	kg*km

*Tabella 6 - Parti varie tagliate (PRESSA)*

- le riduzioni: componenti in acciaio sottoposti a saldatura (15 kW) e piegatura (100 W) per 1.2 h per ciascuna delle due lavorazioni. Inoltre, viene effettuato anche il taglio laser per ottenere la forma corretta ed infine vengono verniciati. Per quanto riguarda la verniciatura la superficie utilizzata per effettuare il calcolo è stata stimata note le dimensioni dell'eco-compattatore.

Per completare la modellazione è stato inserito anche l'impatto del trasporto considerando che tali componenti vengono prelevati da Ripet, che raggiunge il fornitore e trasporta i prodotti finiti in sede.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
riduzioni	electricity, low voltage	1.2*15+1.2*0,1	18.12	kWh
	enamelling	4.5	4.5	m <sup>2</sup>
	laser machining, metal, with CO2 - laser, 2000 W power	0.15*4	0.6	h
	steel, low alloyed	30*(1-0.244)	22.68	kg
	recycled steel	30*0.244	7.32	kg
	transport, freight lorry 16-32 metric ton, EURO 4	30*15*2	900	kg*km

*Tabella 7 - Riduzioni (PRESSA)*

- la stella: componente in ferro che richiede la lavorazione con il macchinario per il taglio laser e il trasporto dal fornitore al committente. Tutti i dati sono forniti dal produttore e per questo sono dati primari.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
stella	laser machining, metal, with CO2 - laser, 2000 W power	3	3	s
	iron sinter	0.131	0.131	kg
	transport, freight, light commercial vehicle	0,131*15*2	4.38	kg*km

*Tabella 8 - Stella (PRESSA)*

In conclusione, ciò che si ottiene è la seguente lista di componenti, per i quali sono stati inseriti anche i pesi totali che servono alla produzione di un eco-compattatore:

COMPONENTE	PESO	U.M.
CONTRAPPESI	7	kg
MOTORE e RIDUTTORE	67	kg
OMEGA	0.165	kg
PARTI COCLEA	146.04	kg
PARTI VARIE TAGLIATE	62.86	kg
RIDUZIONI	30	kg
STELLA	0.131	kg

*Tabella 9 - Pressa completa*

### 5.1.2 Quadro elettrico

Il quadro elettrico è costituito da diversi componenti, quali:

- i cavi: questi si trovano all'interno del quadro elettrico e sono di due tipologie differenti.

Una delle due tipologie è costituita da cavi sottili il cui impatto all'interno del software è stato modellizzato con rame e la lavorazione ad esso associata per ottenere i cablaggi e l'altra tipologia, invece, è stata rappresentata con cavi non specificati. Le due differenti tipologie di cavi sono state scelte poiché una parte dei cavi non possiede il rivestimento in plastica, che invece risulta essere presente per la tipologia di cavi modellizzata con i cavi non specificati. La lunghezza dei cavi e la specificità di questi è stata fornita dai produttori del quadro elettrico, attraverso la lunghezza di questi è stato possibile ricavare il peso di questi.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
cavi	cable, unsecified	1.67	1.67	kg
	copper-rich materials	0.901	0.90	kg
	wire drawing, copper	0.901	0.90	kg

*Tabella 10 – Cavi (Quadro Elettrico)*

- i componenti elettronici: all'interno del quadro elettrico sono presenti diversi componenti, due alimentatori, che sono stati inseriti nell'analisi come alimentatori per scooter elettrici ed infine, i componenti elencati nella Tabella 12, che sono stati assunti come componenti passivi per semplificare la modellizzazione. Il produttore del quadro elettrico ha fornito le schede tecniche di tutti i componenti elettronici ed è, quindi, stato possibile ottenere il peso di ognuno di questi per effettuare l'analisi LCA.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
componenti elettronici	charger, for electric scooter	1.35	1.35	kg
	electronic component, passive, unspecified	4.39	4.39	kg

*Tabella 11 - Componenti elettronici (Quadro Elettrico)*

n. elementi		peso [g]	peso totale [g]
1	Interruttore magneto termico 10ka	500	500
1	Interruttore magneto termico 6ka	250	250
1	Interruttore salvamotore	260	260
1	Contatti ausiliari	50	50
1	Blocco differenziale	165	165
1	Presa bipolare con PE	32	32
4	Base portafusibile	73	292
2	Teleinvertitore	1017	2034
1	Modulo di sicurezza	229	229
1	Switch ethernet industriale 5 porte	395	395
1	Slim line 16+8 digital i/o module	150	150
1	Interfaccia modulare a rele'	31	31
<b>PESO TOTALE [g]</b>			<b>4388</b>

Tabella 12 - Componenti passivi (Quadro Elettrico)

- il supporto: componente in acciaio zincato per il quale è prevista la piegatura, il taglio laser, la saldatura ed infine il trasporto dal fornitore che produce il pezzo, fino al fornitore che assembla il quadro elettrico.

Per la piegatura è stato calcolato il consumo energetico di questa lavorazione, poiché noti i dati riguardanti la potenza del macchinario utilizzato (15 kW) ed il tempo impiegato (20 min). Per quanto riguarda le altre due lavorazioni, taglio laser e saldatura, non è stato necessario calcolare il consumo energetico, in quanto all'interno della libreria Ecoinvent tali lavorazioni sono già presenti e prevedono l'utilizzo di macchinari simili a quelli impiegati per la produzione di questo componente. Tutti i dati utilizzati sono stati forniti dal produttore del supporto del quadro elettrico e in quanto tali sono dati primari.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE	U.M.
supporto QE	electricity, low voltage	15*20/60	5000 kWh
	laser machining, metal, with CO2-laser, 2000W power	10	10 min
	steel, low-alloyed	12*(1-0.244)	9.07 kg
	recycled steel	12*0.244	2.93 kg
	transport, freight, light commercial vehicle	12*15.5	186 kg*km
	welding, arc, steel	60+436.6	496.6 cm
	zinc coat, coils	2.41	2.41 m <sup>2</sup>

Tabella 13 - Supporto (Quadro Elettrico)

- il supporto presa: componente per il quale è stato considerato sia il materiale di partenza per la produzione di questo sia la lavorazione effettuata per ottenere il

prodotto finale. È stato fornito il peso di questo che ha reso possibile svolgere l'analisi in maniera accurata.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
supporto presa	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer	250	250	g
	injection moulding	250	250	g

Tabella 14 - Supporto presa (Quadro Elettrico)

- la guida DIN e la piastra di fondo: entrambi componenti in acciaio zincato con pesi e superfici differenti tra di loro, come specificato nella tabella Tabella 15, i quali sono stati forniti dal produttore del quadro elettrico.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
guida DIN	steel, low-alloyed	300	300	g
	zinc coat, coils	523.74	523.74	cm <sup>2</sup>
piastra di fondo	steel, low-alloyed	4.9*(1-0.244)	3.7	kg
	recycled steel	4.9*0.244	1.2	kg
	zinc coat, coils	13248	13248	cm <sup>2</sup>

Tabella 15 - Guida DIN e piastra di fondo (Quadro Elettrico)

- le restanti parti: componenti aggiuntivi come il tablet per permettere all'utente di utilizzare il macchinario e la CPU.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
monitor e CPU	consumer electronics, mobile device, tablet	1	1	item
	electronics, for control units	0.15	0.15	kg

Tabella 16 - Restanti parti (Quadro Elettrico)

Tutti i componenti appena elencati, che costituiscono il quadro elettrico, sono assemblati da un solo fornitore che si occupa, in ultimo, anche del trasporto al committente. Per tale fornitore è stato, inoltre, necessario calcolare ulteriori consumi: quelli dovuti all'illuminazione (presente per tutto il giorno lavorativo) e quelli dovuti al riscaldamento dell'ambiente adibito all'assemblaggio del quadro elettrico.

$$\text{consumi energetici} = \text{c. e. assemblaggio} + \text{c. e. illuminazione}$$

Il consumo energetico per assemblare il quadro elettrico è svolto attraverso l'utilizzo di un trapano da 750 W per 30 minuti (dati primari).

Per quanto riguarda il consumo energetico per illuminazione sono state effettuate alcune ipotesi che vengono descritte di seguito assieme ai calcoli svolti:

$$c. e. illuminazione = n. plafoniere * W_{plafoniera} * tempo di lavorazione$$

Nota la superficie dell'azienda del fornitore adibita al quadro elettrico, la quale risulta essere pari a 72 m<sup>2</sup>, ipotizzando che i lux [16] necessari all'illuminazione adeguata ad un capannone industriale siano pari a 300 lux ed infine, conoscendo i lumen per plafoniera plafoniere (4400 lumen) è stato possibile calcolare il numero di plafoniere utilizzate per l'illuminazione. [17]

$$n. plafoniere = \frac{72 * 300}{4400} = 5 \text{ plafoniere}$$

Quindi si è calcolato il consumo energetico per l'illuminazione conoscendo la potenza delle plafoniere (44 W) e il tempo impiegato per completare un quadro elettrico, che risulta essere pari a 11 ore.

$$c. e. illuminazione = 5 * 44 * 11 = 2376 \text{ W}$$

Per quanto riguarda il riscaldamento, questo è stato calcolato effettuando delle ipotesi quali:

- la potenza per unità di superficie necessaria per il riscaldamento dell'ambiente (0.0271 kW/ m<sup>2</sup>), valore da letteratura;
- il rendimento della caldaia pari a 0.9, che risulta essere un rendimento pari alla media delle caldaie attualmente in uso.

$$c. e. assemblaggio = potenza al m^2 * superficie * tempo di lavorazione$$

$$c. e. assemblaggio = 0.0271 * 72 * 11$$

Inoltre, come precedentemente affermato, questo componente viene trasportato fino al committente, Ripet, senza l'utilizzo di packaging.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
	electricity, low voltage	2.75	2.75	kWh
	heat, central or small-scale, natural gas	0.795	0.795	kWh
	transport, freight, light commercial vehicle	27.5*20	550	kg*km

*Tabella 17 - Consumi e trasporto (Quadro Elettrico)*

### 5.1.3 Restanti parti interne

Le restanti parti interne del macchinario sono costituite dai seguenti componenti:

- la bulloneria: ovvero tutta la bulloneria utilizzata per assemblare i vari componenti (bulloni, dadi, fascette, grover, rivetti, rondelle e viti). I dati per questi componenti sono stati forniti direttamente da Ripet, quindi sono dati primari.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
	steel, low-alloyed	3.03*(1-0.244)	2.29	kg
bulloneria	recycled steel	3.03*0.244	0.74	kg
	transport, freight, light commercial vehicle	24.2*3.03	73.33	kg*km

*Tabella 18 - Bulloneria (INTERNO)*

- i canali: vengono utilizzate due tipologie differenti di canali, ci sono quelli che sono sottoposti alla lavorazione del taglio laser e quelli che non lo sono. In particolare, la lavorazione a taglio laser viene effettuata da un'azienda terza, è quindi necessario valutare l'impatto del trasporto di questi e l'impatto della lavorazione. Per quanto riguarda il trasporto bisogna considerare l'andata e il ritorno dal fornitore al terzista, invece per quanto riguarda il macchinario per il taglio è stata effettuata l'ipotesi già precedentemente descritta nel paragrafo 4.3, riguardante le assunzioni.

Infine, tutti i canali vengono saldati e piegati per ottenere le forme desiderate per le varie parti del macchinario, tale impatto è stato calcolato grazie ai dati forniti: la potenza della saldatrice che risulta essere pari a 22 kW, il tempo impiegato che è pari a 1.4 h e la potenza della piegatrice che è di 250 W per 3 h di lavorazione.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
canali	aluminium alloy, metal matrix composite	0.12	0.12	kg
	bronze	0.03	0.03	kg
	steel, low-alloyed	2.75*(1-0.244)	2.08	kg
	recycled steel	2.75*0.244	0.67	kg
canali laser	laser machining, metal, with CO2-laser, 2000W power	5	5	min
	steel, low-alloyed	20.16*(1-0.244)	15.24	kg
	recycled steel	20.16*0.244	4.92	kg
	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4	20.16*10*2	403.2	kg*km
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4	(2.9+20.16)*15	345.9	kg*km
	electricity, low voltage	22*1.4+0.250*3	31.55	kWh

Tabella 19 - Canali (INTERNO)

- le altre componenti elettroniche e il pressacavo: componenti che dal rivenditore vengono direttamente trasportati a Ripet. I fornitori hanno reso disponibili le schede tecniche di questi componenti per i quali è stato possibile conoscere il peso, che era il dato necessario per lo svolgimento dell'analisi su SimaPro.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
elettrocalamite e elettromagneti	permanent magnet, for electric motor	1.76	1.76	kg
	transport, freight, light commercial vehicle	1.66*52	86.72	kg*km
encoder lungo/corto + barcode + px ultrasuoni	electronic component, passive, unspecified	0.116+0.125*2	0.37	kg
	transport, freight, light commercial vehicle	0.116*61	7.08	kg*km
	transport, freight, light commercial vehicle	0.25*10	2.50	kg*km
sim e modem	internet access equipment	1	1	item
	transport, freight, light commercial vehicle	(0.4+0.095)*10	4.95	kg*km
pressacavo	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded	21	21	g
	transport, freight, light commercial vehicle	0,021*13,5*2	0.572	kg*km

Tabella 20 - Restante (INTERNO)

#### 5.1.4 Parti esterne

Per continuare la modellizzazione del macchinario si è, infine, andati a valutare le parti esterne dell'eco-compattatore, le quali sono di seguito elencate:

- la casetta: serie di componenti in acciaio costituenti il rivestimento esterno dell'eco-compattatore, di cui è noto il peso complessivo. Viene considerato l'impatto delle lavorazioni effettuate su questi componenti, andando a valutare il consumo di energia per la saldatura (100 W, dato fornito dal produttore) e per la

piegatura (22 kW, dato fornito dal produttore), noto il tempo impiegato per ciascuna di queste, ed inoltre l'impatto del trasporto dal fornitore al committente.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
cassetta	electricity, low voltage	0.1*11+22*5.6	124.3	kWh
	steel, low-alloyed	213.98*(1-0.244)	161.8	kg
	recycled steel	213.98*0.244	52.2	kg
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4	15*213.98	3210	kg*km

Tabella 21 - Cassetta (ESTERNO)

- maniglia: componente, con un peso specificato dal produttore, per il quale è stato considerato il materiale di partenza e la lavorazione effettuata per ottenere il prodotto finale. Inoltre, si è valutato l'impatto del trasporto.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
maniglia	injection moulding	0.09	0.09	kg
	polypropylene, granulate	0.09	0.09	kg
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4	0.09*15	1.35	kg*km

Tabella 22 - Maniglia (ESTERNO)

- pannelli laterali: lamine in acciaio zincato, di cui è noto il peso, costituenti il rivestimento esterno dell'eco-compattatore la cui lavorazione prevista è il taglio laser, macchinario del quale non sono state fornite le specifiche dal produttore e per il quale sono state effettuate le assunzioni specificate nel paragrafo omonimo, 4.3. Inoltre, è stato valutato l'impatto del trasporto, noti i chilometri percorsi e il peso trasportato.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
pannelli laterali	laser machining, metal, with CO2-laser, 2000W power	9.95	9.95	min
	steel, low-alloyed	169.89*(1-0,244)	128.437	kg
	recycled steel	169.89*0,244	41.4532	kg
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4	169.89*15	2548	kg*km
	zinc coat, coils	25	25	m2

Tabella 23 - Pannelli laterali (ESTERNO)

- pannelli tetto: componenti in materiale ABS, la cui scheda tecnica è stata fornita dal produttore, che, attraverso l'estrusione, permette di ottenere la forma richiesta. Questi componenti, di cui sono stati forniti i pesi, vengono, infine, trasportati.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
abs laterali (dx e sx)	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer	1,85+3,25		kg
abs lettore tessere	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer	0.102	6.28	kg
abs bottiglia	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer	0.101		kg
abs L	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer	0.977		kg
	fresatura abs - da steel milling	6.278	6.28	kg
abs tetto	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer	4.79+3.65	8.44	kg
	extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline	8,44+6,28	14.71	kg
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4	14.71*32	471	kg*km

Tabella 24 - Pannelli tetto (ESTERNO)

- la personalizzazione: gli eco-compattatori esternamente vengono adornati con pellicole personalizzate. La pellicola è costituita da un due strati che vengono lavorati per 1.5 h e dopo che viene effettuata la stampa richiesta queste vengono trasportate da Ripet per essere incollate agli eco-compattatori. Tutti i dati sono stati forniti dal produttore della personalizzazione grafica e per questo possono definirsi dati primari.

COMPONENTE	PROCESSO	VALORE		U.M.
	electricity, low voltage	1*1.5	1.5	kWh
	laminating service, foil, with acrylic binder	18*2	36	m2
personalizzazione	polyvinylchloride, bulk polymerised	4.23	4.23	kg
	toner, colour, powder	25	25	g
	transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 4	13.5*4.23	57.11	km

Tabella 25 - Personalizzazione (ESTERNO)

### 5.1.5 Packaging

Il packaging è stato valutato separatamente, per permettere di conoscere l'impatto complessivo di questo sulla produzione dell'eco-compattatore. Per valutare il peso del packaging per ogni componente che lo prevedesse, sono stati fatti i seguenti calcoli:

- contrappesi: questi sono trasportati su un bancale avvolti in un film, noto il peso del film utilizzato per avvolgerli e il numero di pezzi contenuti all'interno (in

quanto dati elargiti dal fornitore), è stato possibile calcolare il peso del packaging sul singolo componente, ricordando che all'interno di ogni eco-compattatore vengono usati due contrappesi:

$$peso_{film\ al\ pezzo} = \frac{peso_{film}}{n.pezzi_{film}} * n.pezzi_{eco-com}$$

$$peso_{film\ al\ pezzo} = \frac{500}{150} * 2 = 8.33\ g$$

- motore e riduttore: questi sono trasportati all'interno della stessa tipologia di scatola di cartone, per la quale è stato effettuato il seguente calcolo:

$$peso_{box} = superficie_{box} * peso_{su\ unità\ di\ superficie}$$

Il peso per unità di superficie è stato ipotizzato pari a  $300\ g/m^2$  grazie a dati di letteratura.

$$peso_{box} = 3.92 * 300 = 1.17\ kg$$

$$peso_{box\ al\ pezzo} = \frac{peso_{box}}{n.pezzi_{box}} * n.pezzi_{eco-com}$$

$$peso_{box\ a\ motore} = \frac{1.17}{4} * 1 = 0.29\ kg$$

$$peso_{box\ a\ riduttore} = \frac{1.17}{6} * 1 = 0.20\ kg$$

Il packaging utilizzato per i motori e i riduttori è costituito anche da buste in polistirene espanso e infine da un film protettivo, in entrambi i casi sono stati forniti i pesi totali e questi sono stati divisi per il numero di elementi contenuti all'interno;

- omega: per questo componente è nota solamente la tipologia del materiale del packaging, ovvero il cartone, ma è stato necessario assumere le altre informazioni.

I calcoli effettuati sono simili a quelli svolti per il motore ed il riduttore e sono scritti di seguito:

$$\begin{aligned}
 & \text{peso}_{\text{box al pezzo}} \\
 &= \frac{\text{superficie}_{\text{box}} * \text{peso}_{\text{su unità di superficie}}}{n. \text{pezzi}_{\text{box}}} * n. \text{pezzi}_{\text{eco-com}}
 \end{aligned}$$

$$\text{peso}_{\text{box al pezzo}} = \frac{1.28 * 0.3}{200} * 1 = 0.012 \text{ kg}$$

- parti coclea: per questo componente è stato necessario ipotizzare il peso del film usato e il numero di pezzi contenuti all'interno in base alle informazioni ottenute dagli altri fornitori e i calcoli svolti, successivamente, sono stati gli stessi del caso dei contrappesi;
- stella: per questo componente è nota la tipologia del packaging, ovvero il cartone, ma non il peso e il numero di pezzi contenuti all'interno di ogni scatola, è quindi stato necessario effettuare delle assunzioni, basate sui dati forniti per gli altri componenti, come nel caso del calcolo dell'impatto del packaging svolto per l'omega;
- monitor: il monitor ha un packaging costituito da una pellicola, del polistirene e una scatola di cartone. Questo componente viene reperito del produttore del quadro elettrico e trasportato assieme a quest'ultimo fino al committente, ovvero Ripet. Grazie a ciò è stato possibile pesare il packaging in modo da inserirlo all'interno della modellizzazione. Le restanti parti del quadro elettrico non presentano alcun packaging;
- bulloneria: per quanto riguarda queste componenti le informazioni, relative al packaging, riguardano la dimensione della scatola di cartone, 20x10x10 cm, ed il numero di pezzi contenuto all'interno di queste. I calcoli svolti sono stati gli stessi del caso del motore e del riduttore in cui si è utilizzata l'ipotesi del peso su unità di superficie pari a 300 g/m<sup>2</sup>;
- canali completi: vengono trasportati in una scatola, avvolti in un film. Per entrambe queste due tipologie di packaging non sono noti i pesi e il numero di pezzi contenuti all'interno ed è quindi stato necessario fare delle ipotesi per svolgere i calcoli in modo simile ai casi precedenti.;

- altre componenti elettroniche e pressacavo: i calcoli svolti per questi componenti sono stati gli stessi del caso del motore e del riduttore, note le dimensioni delle scatole di cartone all'interno delle quali ciascuno di questi viene trasportati e il numero di pezzi contenuto all'interno di ognuna di esse;
- cassetta: trasportata all'interno di tutto una scatola di cartone, della quale sono state fornite tutte le informazioni necessario per svolgere lo stesso calcolo effettuato per il caso dell'omega;
- maniglia: trasportata all'interno di tutto una scatola di cartone, come nel caso della cassetta e della quale sono state fornite tutte le informazioni necessario per svolgere lo stesso calcolo effettuato per il caso dell'omega;
- pannelli tetto: trasportati all'interno di una scatola di cartone con dei leggeri fogli di carta per dividere gli uni dagli altri e dei quali sono stati forniti tutti i dati necessari per svolgere i calcoli come nel caso del calcolo dell'impatto del packaging per il componente omega.

Tutti i componenti elencati precedentemente sono elementi che all'arrivo nell'azienda cliente presentano un packaging, il quale deve essere smaltito. Infatti, all'interno del software SimaPro è stato necessario inserire uno scenario di smaltimento, con riciclo al 100 % di tutto il packaging sopra elencato e raggruppato nella Tabella 26. Successivamente, per un'analisi più accurata, si è calcolato anche l'impatto del trasporto dovuto al packaging.

<b>FILM</b>			
<b>COMPONENTE</b>	<b>PROCESSO</b>	<b>VALORE</b>	<b>U.M.</b>
contrappesi	transport, freight, light commercial vehicle	0.126	kg*km
	packaging film, low density polyethylene	4.2	g
motore e riduttore	transport, freight lorry 16-32 metric ton, EURO 4	393.89	kg*km
	packaging film, low density polyethylene	0.3	kg
parti coclea	transport, freight lorry 16-32 metric ton, EURO 4	0.2685	kg*km
	packaging film, low density polyethylene	0.0179	kg
monitro e CPU	transport, freight, light commercial vehicle	0.5	kg*km
	packaging film, low density polyethylene	0.025	kg
canali completi	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4	1.575	kg*km
	packaging film, low density polyethylene	0.105	kg

<b>POLYESTERE EXPANDABLE</b>			
<b>COMPONENTE</b>	<b>PROCESSO</b>	<b>VALORE</b>	<b>U.M.</b>
motore e riduttore	transport, freight lorry 16-32 metric ton, EURO 4	132.4	kg*km
	polystyrene, expandable	0.4	kg
monitro e CPU	transport, freight, light commercial vehicle	1.42	kg*km
	polystyrene, expandable	0.071	g

<b>KRAFT PAPER</b>			
<b>COMPONENTE</b>	<b>PROCESSO</b>	<b>VALORE</b>	<b>U.M.</b>
pannelli tetto	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4	0.8	kg*km
	kraft paper	0.025	kg

<b>CORRUGATED BOX</b>			
<b>COMPONENTE</b>	<b>PROCESSO</b>	<b>VALORE</b>	<b>U.M.</b>
motore e riduttore	transport, freight lorry 16-32 metric ton, EURO 4	162.19	kg*km
	corrugated board box	0.49	kg
omega	transport, freight, light commercial vehicle	0.36	kg*km
	corrugated board box	0.01	kg
stella	transport, freight, light commercial vehicle	4.38	kg*km
	corrugated board box	0.02	kg
monitro e CPU	transport, freight, light commercial vehicle	10.10	kg*km
	corrugated board box	0.51	kg
bulloneria	transport, freight, light commercial vehicle	1.60	kg*km
	corrugated board box	0.07	kg
canali completi	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4	302.40	kg*km
	corrugated board box	3.84	kg
elettrocalamite e elettromagneti	transport, freight, light commercial vehicle	86.72	kg*km
	corrugated board box	0.02	kg
encoder lungo e corto + px ultrasuoni	transport, freight, light commercial vehicle	1.06	kg*km
	corrugated board box	0.017	kg
pressacavo	transport, freight, light commercial vehicle	0.57	kg*km
	packaging film, low density polyethylene	0.167	g
sim e modem	transport, freight, light commercial vehicle	0.95	kg*km
	corrugated board box	0.10	kg
cassetta	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4	0.0576	kg*km
	corrugated board box	3.84	g
maniglia	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4	1.39	kg*km
	corrugated board box	0.0256	g
pannelli tetto	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4	8.00	kg*km
	corrugated board box	0.25	kg

*Tabella 26 - Packaging (smaltito)*

Infine, è stato considerato anche il pallet su cui alcuni componenti vengono trasportati (contrappesi, riduzioni, parti coclea e canali completi). Per quanto riguarda questo elemento non è stato previsto alcun processo di smaltimento in quanto questi una volta in magazzino vengono riusati per il trasporto degli eco-compattatori conclusi.

Noto il peso dei pallet (25 kg) si è diviso il peso di questo per il numero di pezzi trasportati per ogni bancale ed infine moltiplicato per il numero di componenti utilizzato per ciascun eco-compattatore.

È stato fornito il numero di pezzi trasportato su ogni pallet per i contrappesi (150) e per le riduzioni (9), per quanto riguarda gli altri pezzi sono stati ipotizzati: per le parti coclea 20 pezzi e per i canali completi 100 pezzi. In conclusione, si è considerato, come per il resto del packaging, anche l'impatto del trasporto.

PALLET		
PROCESSO	VALORE	U.M.
transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4	132.4	kg*km
EUR-flat pallet	5.72	kg

*Tabella 27 - Pallet (non smaltito)*

Per concludere, il quantitativo di packaging utilizzato per un eco-compattatore è riassunto all'interno della seguente tabella.

	film	4.65	kg
	polyestere expandable	0.47	kg
tipologia di packaging	kraft paper	0.025	kg
	corrugated box	9.34	kg
	pallet	5.72	kg

*Tabella 28 - Totali per tipologia di packaging*

### 5.1.6 Risultati d'inventario

A seguito dei dettagli riportati all'interno di questo capitolo, è stato possibile ottenere la tabella seguente, che permette di riassumere il peso complessivo dell'eco-compattatore.

	COMPONENTE	PESO	U.M.
	PRESSA	313	kg
	QUADRO ELETTRICO	27.5	kg
macroaree eco-compattatore	RESTANTI PARTI INTERNE	403	kg
	PARTI ESTERNE	28.6	kg
	<b>TOTALE</b>	<b>772.1</b>	<b>kg</b>

*Tabella 29 – Eco-compattatore completo*

Inoltre, per effettuare un'analisi completa occorre fornire i risultati dell'inventario rispetto all'unità funzionale utilizzata all'interno dello studio, ovvero il chilo di plastica. Nella seguente tabella sono stati inseriti i primi 20 flussi in ingresso delle materie prime nella fase di produzione dell'eco-compattatore. Tali flussi sono stati ordinati in ordine decrescente rispetto al totale.

<b>Flusso</b>	<b>Sottocategoria</b>	<b>Unità</b>	<b>Totale</b>
Water, turbine use, unspecified natural origin, RoW	Prima	m3	8.26E-03
Gangue	Prima	kg	4.26E-03
Clay, unspecified	Prima	kg	3.85E-03
Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	Prima	MJ	2.48E-03
Water, turbine use, unspecified natural origin, IT	Prima	m3	7.82E-04
Coal, hard	Prima	kg	7.76E-04
Water, turbine use, unspecified natural origin, CN-SC	Prima	m3	7.41E-04
Energy, gross calorific value, in biomass	Prima	MJ	6.93E-04
Water, turbine use, unspecified natural origin, FR	Prima	m3	6.78E-04
Water, turbine use, unspecified natural origin, RU	Prima	m3	6.63E-04
Iron	Prima	kg	5.68E-04
Water, turbine use, unspecified natural origin, CH	Prima	m3	4.68E-04
Energy, kinetic (in wind), converted	Prima	MJ	4.66E-04
Water, turbine use, unspecified natural origin, WECC, US only	Prima	m3	4.26E-04
Water, turbine use, unspecified natural origin, CN-HU	Prima	m3	4.17E-04
Water, turbine use, unspecified natural origin, SE	Prima	m3	3.87E-04
Gravel	Prima	kg	3.41E-04
Water, turbine use, unspecified natural origin, CN-YN	Prima	m3	2.95E-04
Shale	Prima	kg	2.49E-04
Gas, natural/m3	Prima	m3	2.29E-04

*Tabella 30 - Risultati d'inventario (materie prime)*

Le materie prime che risultano avere un valore maggiore, all'interno della tabella soprastante, sono il minerale ganga, l'argilla, il carbone, il ferro e la ghiaia. Questi sono attribuibili all'estrazione dei minerali necessari alla produzione dell'acciaio, materiale principalmente utilizzato nel processo di fabbricazione dell'eco-compattatore. Anche i flussi energetici che si possono leggere all'interno della Tabella 30 sono attribuibili all'acciaio, ovvero all'energia consumata per trasformare il ferro nella lega di acciaio utile per il macchinario.

Nella seguente tabella sono stati inseriti i primi 20 flussi in output delle emissioni in aria, acqua e terreno nella fase di produzione dell'eco-compattatore. Tali flussi sono stati ordinati in ordine decrescente rispetto al totale.

Flusso	Sottocategoria	Unità	Totale
Carbon dioxide, fossil	Aria	kg	2.35E-03
Sulfate	Acqua	kg	9.08E-05
Carbon dioxide, biogenic	Aria	kg	8.78E-05
Silicon	Acqua	kg	7.36E-05
Aluminium	Acqua	kg	6.25E-05
Iron	Acqua	kg	5.66E-05
Calcium	Acqua	kg	4.09E-05
Chloride	Acqua	kg	2.33E-05
Sodium	Acqua	kg	2.16E-05
Magnesium	Acqua	kg	1.76E-05
Carbon monoxide, fossil	Aria	kg	1.56E-05
Sulfur dioxide	Aria	kg	1.29E-05
COD (Chemical Oxygen Demand)	Acqua	kg	1.24E-05
DOC, Dissolved Organic Carbon	Acqua	kg	1.02E-05
TOC, Total Organic Carbon	Acqua	kg	1.02E-05
Potassium	Acqua	kg	8.85E-06
Suspended solids, unspecified	Acqua	kg	8.69E-06
Methane, fossil	Aria	kg	7.48E-06
Nitrogen oxides	Aria	kg	7.30E-06
Phosphate	Acqua	kg	6.57E-06

Tabella 31 - Risultati d'inventario (emissioni)

I risultati che presentano valori di emissioni più elevati riguardano l'aria e l'acqua, piuttosto che il terreno, e, anche in questo caso, possono essere attribuiti all'estrazione delle materie prime utilizzate e alle lavorazioni necessarie alla produzione dell'acciaio.

## 5.2 Analisi degli impatti

Nei paragrafi successivi vengono descritti i risultati ottenuti con ciascuno dei metodi scelti per effettuare l'analisi, specificati all'interno del paragrafo 4.5.

### 5.2.1 Metodo europeo – CML-IA

Utilizzando il primo metodo scelto per valutare l'impatto ambientale dell'eco-compattatore, ovvero il metodo CML-IA, è stato possibile ottenere i risultati nel caso complessivo dell'eco-compattatore per tutta la sua vita utile e nel caso normalizzato su chilo di plastica compattato, ovvero l'unità funzionale utilizzata scelta per svolgere lo studio.

*Per 1 eco-compattatore*

All'interno della seguente tabella si osservano i valori delle categorie d'impatto per tale metodologia.

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>Totale</b>	<b>eco-compattatore</b>	<b>packaging</b>
Abiotic depletion	kg Sb eq	0.41	0.41	-
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	2.74E+04	2.73E+04	103.30
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	2.45E+03	2.44E+03	6.98
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	-	-	-
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1.18E+04	1.18E+04	2.70
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.01E+04	1.01E+04	1.31
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.49E+07	1.49E+07	2.40E+03
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	13.61	13.60	0.01
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	1.42	1.42	-
Acidification	kg SO2 eq	23.18	23.16	0.03
Eutrophication	kg PO4--- eq	10.00	9.99	0.01

*Tabella 32 – CML-IA totale*

Come è possibile notare all'interno della Tabella 32, la categoria d'impatto che risulta avere il valore maggiore è quella riguardante l'ecotossicità delle acque marine, la quale supera le altre categorie di almeno tre ordini di grandezza. A seguire le altre categorie d'impatto che risultano avere valori elevati sono quelle riguardanti l'impoverimento abiotico (combustibili fossili), la tossicità umana ed infine l'ecotossicità delle acque dolci.

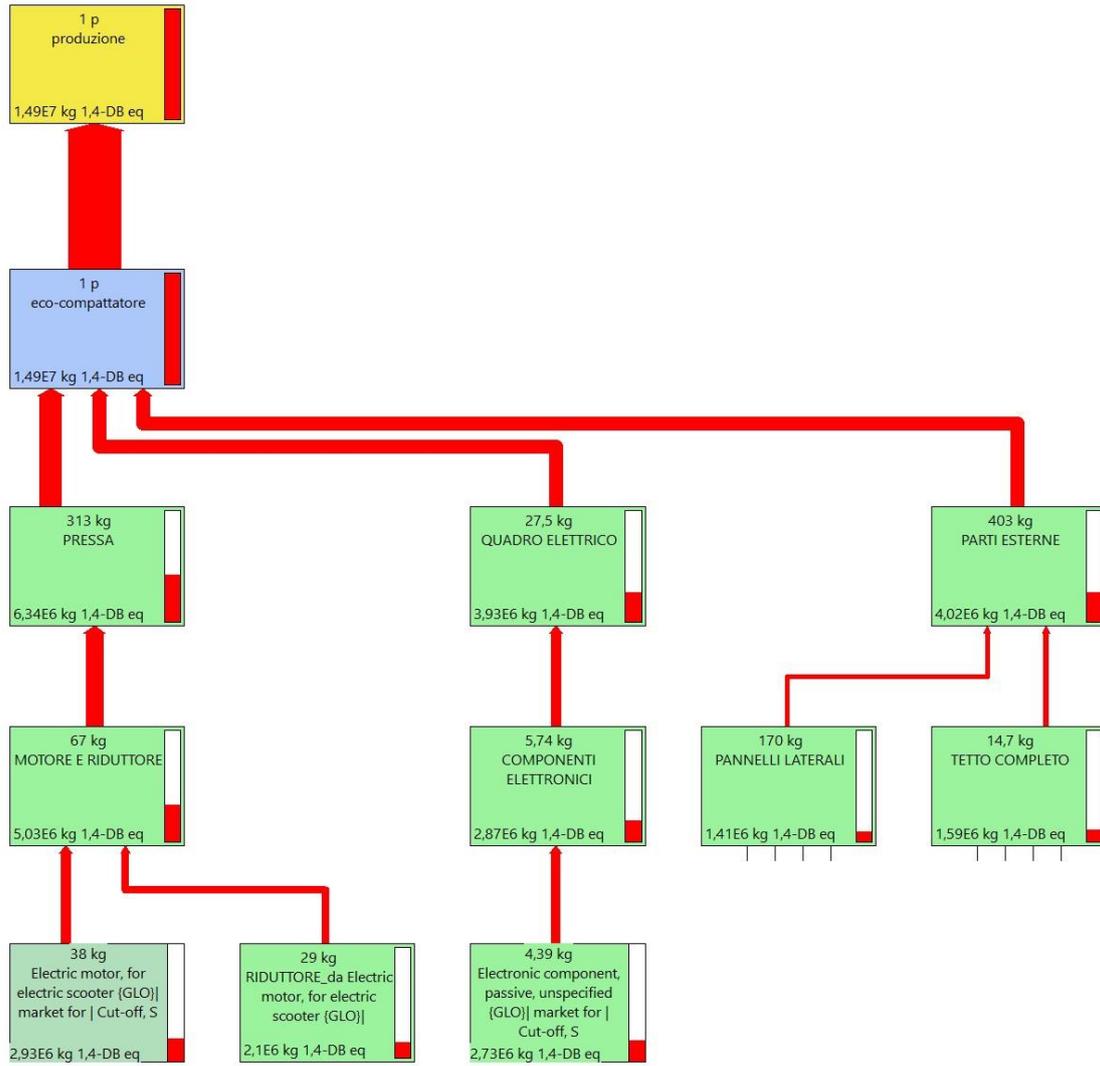


Figura 9 - CML-IA totale (marine aquatic ecotoxicity)

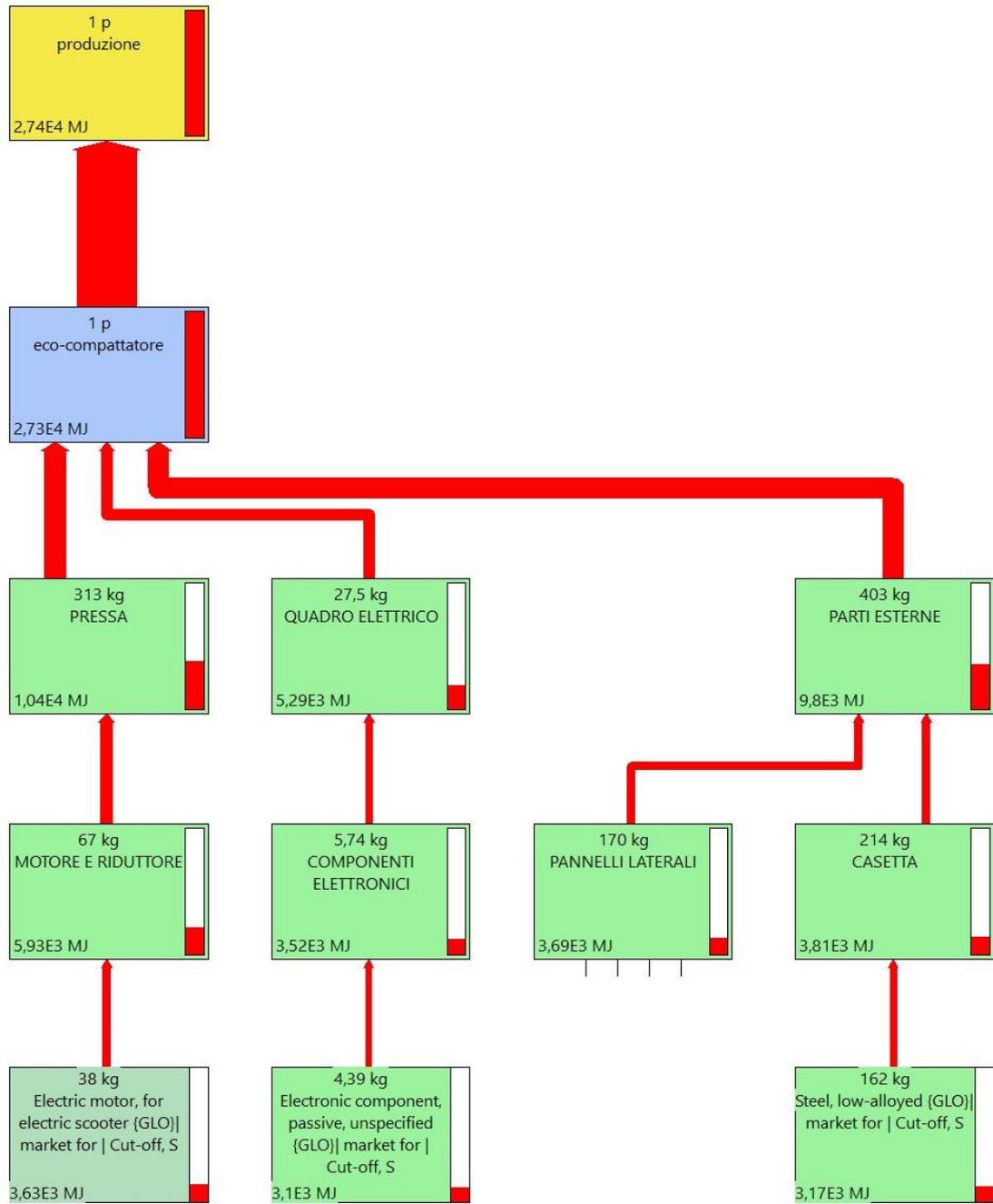


Figura 10 - CML-IA totale (abiotic depletion, fossil fuels)

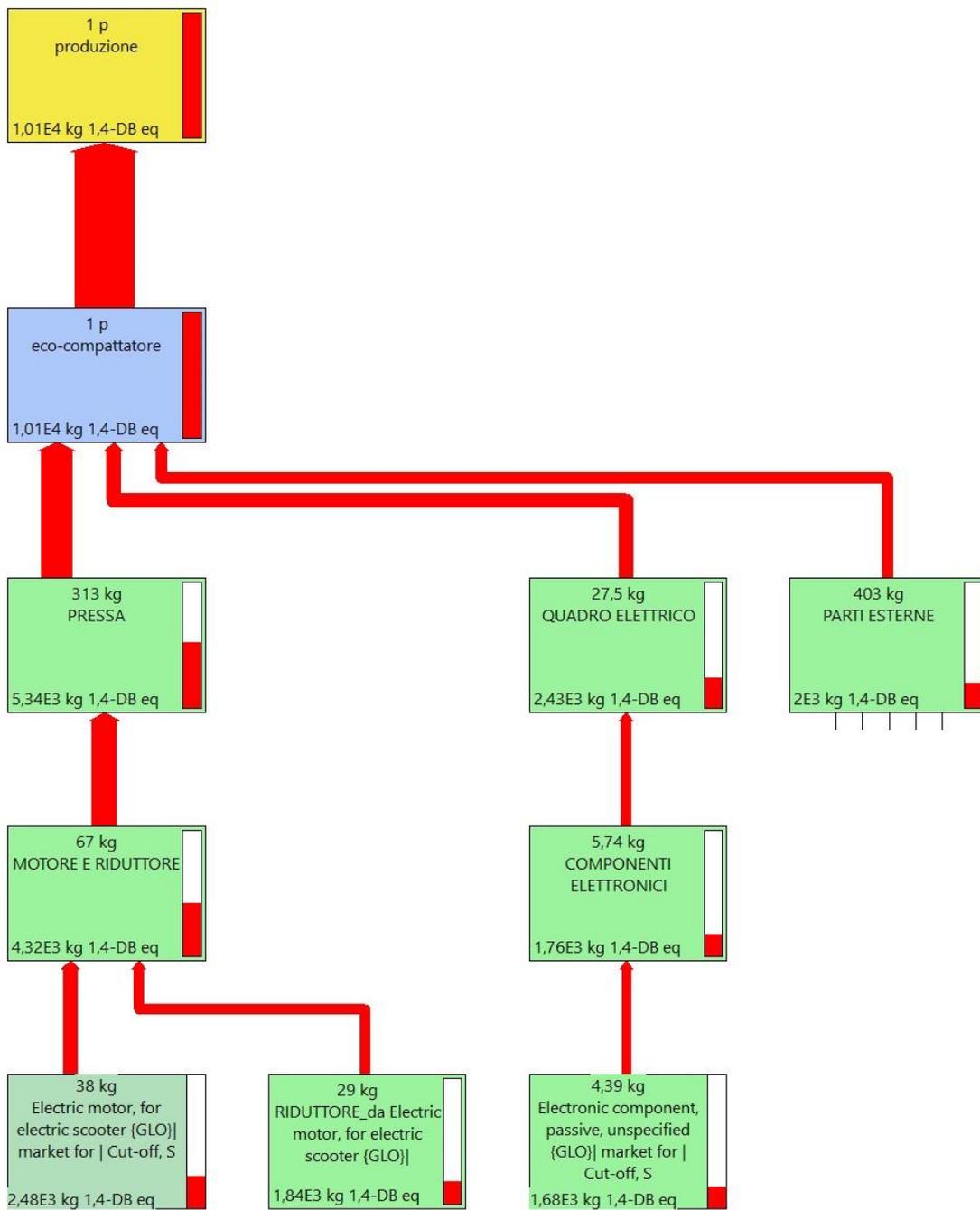


Figura 11 - CML-IA totale (fresh water aquatic ecotoxicity)

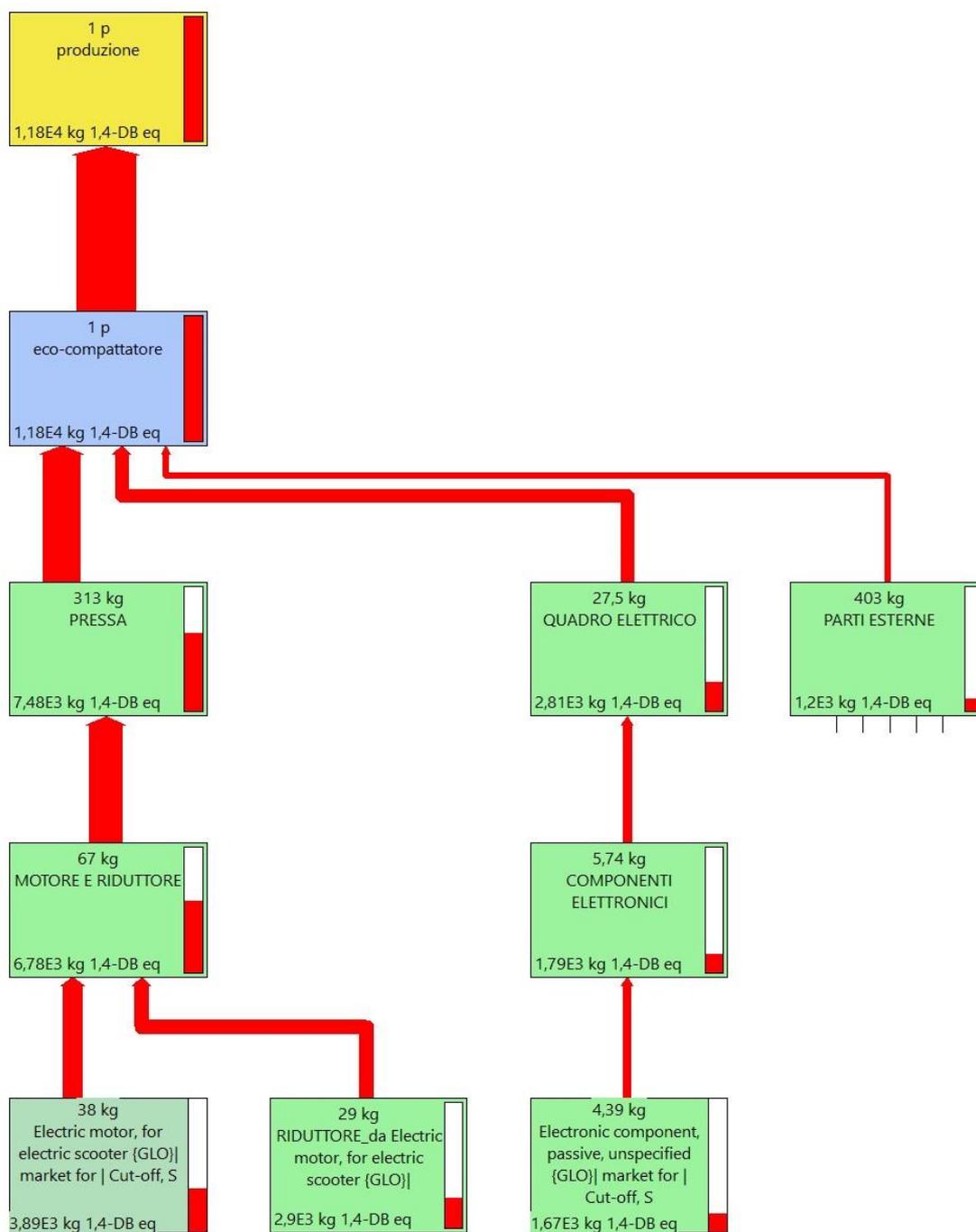


Figura 12 - CML-IA totale (human toxicity)

In Figura 9, in Figura 10, in Figura 11 e in Figura 12 si notano quali sono le macroaree che maggiormente influenzano le categorie d’impatto citate nel paragrafo 4.5, ovvero le categorie che risultano avere i valori più elevati tra tutti quelli elencati precedentemente.

In particolare, in tutti i diagrammi di Sankey, si osserva che l’impatto maggiore è causato dalla produzione della pressa e dalla Tabella 33 è possibile notare l’influenza di ogni componente della pressa sulla produzione di quest’ultima. Per ciascuno di questi, la categoria d’impatto maggiormente influenzante è quella riguardante l’eco-tossicità per le acque marine e risulta che le altre categorie sono di molto inferiori a questa.

Categoria d'impatto	Unità	PARTI COCLEA	PARTI TAGLIATE	OMEGA	STELLA
Abiotic depletion	kg Sb eq	-	-	-	-
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	2.19E+03	1.02E+03	38.27	3.69
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	212.88	97.95	3.22	0.36
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	-	-	-	-
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	325.43	149.19	6.10	2.11
Fresh water aquatic ecotoxicity.	kg 1,4-DB eq	536.89	239.15	6.10	1.49
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	6.47E+05	2.92E+05	1.28E+04	2.63E+03
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0.79	0.38	0.02	-
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0.10	0.04	-	-
Acidification	kg SO2 eq	0.81	0.38	0.06	-
Eutrophication	kg PO4--- eq	0.42	0.20	0.02	-

Categoria d'impatto	Unità	RIDUZIONI	CONTRAPPESI	MOTORE E RIDUTTORE
Abiotic depletion	kg Sb eq	-	-	0.16
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	1.01E+03	199.39	5.93E+03
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	91.61	19.38	552.75
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	-	-	-
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	105.28	112.40	6.78E+03
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	153.18	79.37	4.32E+03
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2.17E+05	1.40E+05	5.03E+06
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0.50	0.13	4.44
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0.03	0.01	0.37
Acidification	kg SO2 eq	0.40	0.17	7.96
Eutrophication	kg PO4--- eq	0.23	0.06	3.22

Tabella 33 - CML-IA pressa

### Per 1 kg di plastica

Come definito nel paragrafo 4.2, l’unità funzionale dello studio è il chilo di plastica compattato dal macchinario, è stato, quindi, necessario effettuare le seguenti ipotesi, per permettere di valutare l’impatto dovuto alla compattazione di 1 kg di bottiglie in PET. I

seguenti calcoli riportano le ipotesi riguardanti il totale dei chili che un eco-compattatore è in grado di compattare in 15 anni di funzionamento.

$$n. \text{ bottiglie compattate}_{1 \text{ anno}} = n. \text{ bottiglie} * n. \text{ pieni} * 52 = 1560000 \text{ bottiglie}$$

$$\text{chili compattati}_{1 \text{ anno}} = n. \text{ bottiglie compattate}_{1 \text{ anno}} * p. \text{ bottiglia} = 62400 \text{ kg}$$

$$\text{chili compattati}_{15 \text{ anni}} = \text{chili compattati}_{1 \text{ anno}} * 15 = 936000 \text{ kg}$$

noto che:

- n. bottiglie=10000 è il numero di bottiglie che un eco-compattatore riesce a compattare in un pieno, dato fornito da Ripet;
- n. pieni = 3 è il numero di pieni che un eco-compattatore riesce a effettuare in una settimana, dato stimato secondo ipotesi di funzionamento ideale;
- p. bottiglia = 0.04 kg è il peso di una bottiglia vuota in PET [18];
- 52 è il numero di settimane presenti in un anno;
- 15 è la vita utile del macchinario (in anni).

A seguito dei calcoli appena illustrati, il software SimaPro ha permesso di ottenere i seguenti risultati.

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>Totale</b>	<b>eco-compattatore</b>	<b>packaging</b>
Abiotic depletion	kg Sb eq	4.34E-07	4.34E-07	3.46E-11
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	2.93E-02	2.92E-02	1.10E-04
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	2.62E-03	2.61E-03	7.45E-06
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1.69E-10	1.67E-10	1.35E-12
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1.27E-02	1.27E-02	2.89E-06
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.08E-02	1.08E-02	1.40E-06
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.59E+01	1.59E+01	2.56E-03
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.45E-05	1.45E-05	9.60E-09
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	1.52E-06	1.52E-06	9.93E-10
Acidification	kg SO2 eq	2.48E-05	2.47E-05	2.79E-08
Eutrophication	kg PO4--- eq	1.07E-05	1.07E-05	6.50E-09

Tabella 34 - CML-IA totale (per 1 kg di plastica)

All'interno della Tabella 34 si nota che, come nel caso dei risultati degli impatti dell'eco-compattatore per 15 anni, l'impatto con il valore maggiore è quello dovuto all'ecotossicità

dell'acqua marina. È stato, quindi, scelto di osservare, attraverso delle rappresentazioni grafiche, quali fossero i componenti che maggiormente influenzano tale risultato.

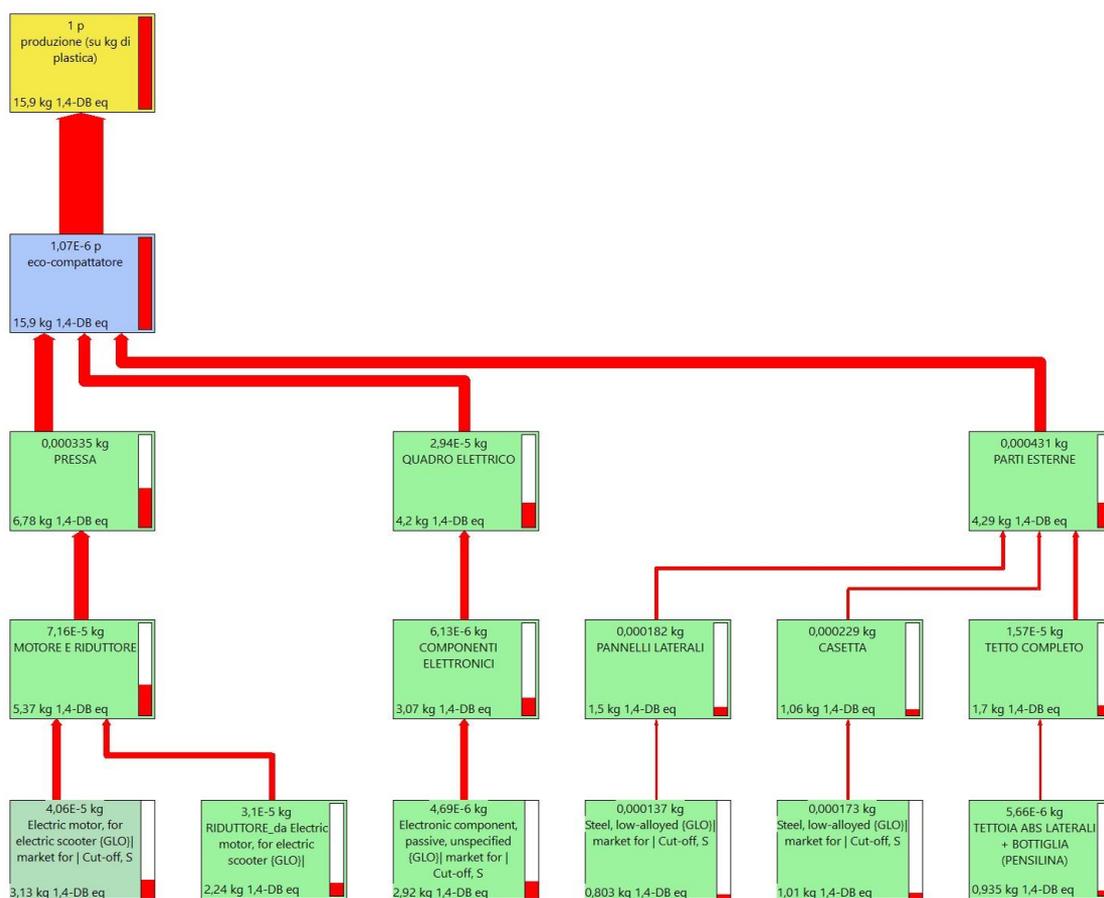


Figura 13 - CML-IA totale (per 1 kg di plastica, marine aquatic ecotoxicity)

Attraverso la Figura 13 è possibile notare che l'impatto maggiore è dovuto alla pressa, come nel paragrafo presentato precedentemente riguardante i risultati dovuti alla produzione di un eco-compattatore. Ciò è dovuto alla normalizzazione effettuata sul quantitativo di imballaggi in PET compattabili da un eco-compattatore, nei 15 anni di vita utile.

Il quadro elettrico e le parti esterne influiscono sull'impatto totale in quantità più o meno simile, mentre la macroarea denominata parti restanti interne ha un impatto decisamente inferiore; infatti, non appare all'interno del diagramma di Sankey, Figura 13.

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>Totale</b>	<b>PARTI COCLEA</b>	<b>PARTI TAGLIATE</b>	<b>OMEGA</b>
Abiotic depletion	kg Sb eq	1.83E-07	3.01E-09	1.46E-09	3.69E-10
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	1.11E-02	2.34E-03	1.09E-03	4.09E-05
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1.05E-03	2.28E-04	1.05E-04	3.44E-06
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	5.54E-11	1.15E-11	5.55E-12	2.42E-13
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	8.01E-03	3.48E-04	1.60E-04	6.53E-06
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	5.71E-03	5.74E-04	2.56E-04	6.52E-06
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	6.78E+00	6.92E-01	3.12E-01	1.37E-02
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	6.70E-06	8.44E-07	4.07E-07	2.52E-08
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	5.98E-07	1.07E-07	4.79E-08	8.46E-10
Acidification	kg SO2 eq	1.05E-05	8.71E-07	4.10E-07	6.91E-08
Eutrophication	kg PO4--- eq	4.44E-06	4.52E-07	2.13E-07	2.15E-08

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>STELLA</b>	<b>RIDUZIONI</b>	<b>CONTRAPPESI</b>	<b>MOTORE E RIDUTTORE</b>
Abiotic depletion	kg Sb eq	5.47E-11	1.14E-09	2.92E-09	1.75E-07
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	3.94E-06	1.09E-03	2.13E-04	6.35E-03
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	3.86E-07	9.80E-05	2.07E-05	5.91E-04
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	2.24E-14	5.66E-12	1.25E-12	3.12E-11
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	2.25E-06	1.13E-04	1.20E-04	7.26E-03
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.59E-06	1.64E-04	8.49E-05	4.62E-03
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2.81E-03	2.32E-01	1.50E-01	5.38E+00
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2.70E-09	5.31E-07	1.42E-07	4.75E-06
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	2.31E-10	3.31E-08	1.24E-08	3.97E-07
Acidification	kg SO2 eq	3.35E-09	4.32E-07	1.79E-07	8.51E-06
Eutrophication	kg PO4--- eq	1.23E-09	2.44E-07	6.49E-08	3.44E-06

Tabella 35 - CML-IA pressa (per 1kg di plastica)

All'interno della Tabella 35 è possibile notare che, anche in questo caso, l'impatto con il valore maggiore è relativo all'ecotossicità dell'acqua di mare e per tale categoria di impatto è stato scelto di effettuare una rappresentazione grafica attraverso il diagramma di Sankey.

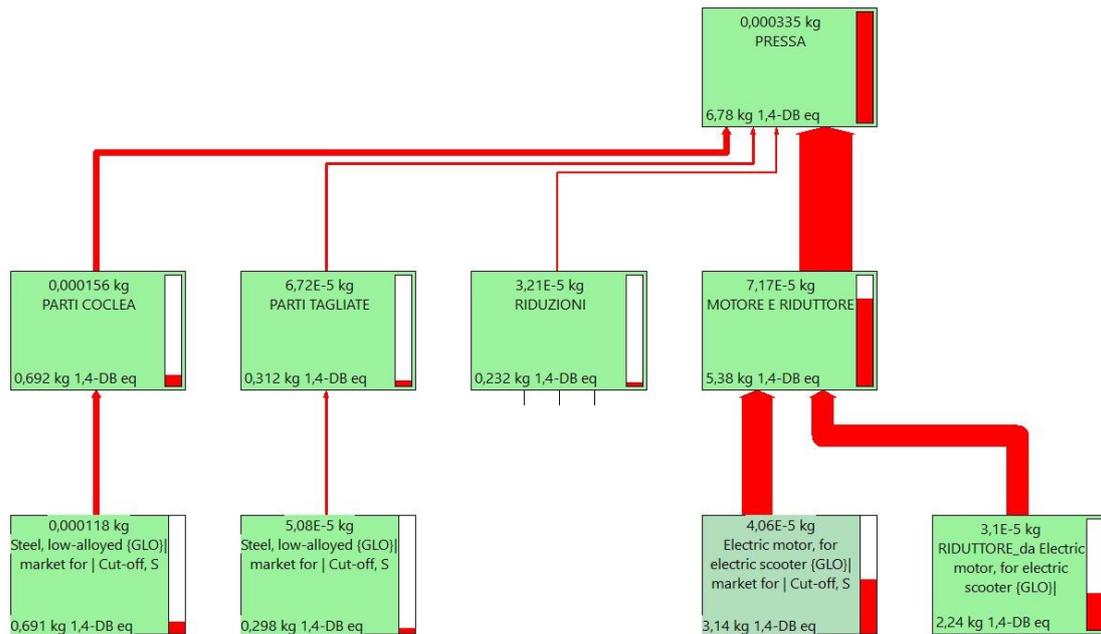


Figura 14 - CML-IA pressa (per 1 kg di plastica, marine aquatic ecotoxicity)

Dalla Figura 14 si osserva, come nel caso non normalizzato, che il motore ed il riduttore hanno l'influenza maggiore sull'impatto totale della pressa. Il valore dell'impatto di tale componente è di almeno un ordine di grandezza maggiore rispetto agli altri componenti.

### 5.2.2 Metodo *single issue* – IPCC 2021

Utilizzando il secondo metodo scelto per valutare l'impatto ambientale dell'eco-compattatore, ovvero il metodo IPCC 2021, è stato possibile ottenere i risultati nel caso complessivo dell'eco-compattatore per tutta la sua vita utile e nel caso normalizzato su chilo di plastica compattato, ovvero l'unità funzionale utilizzata scelta per svolgere lo studio.

#### *Per 1 eco-compattatore*

Attraverso l'utilizzo di tale metodo all'interno del software SimaPro è stato possibile ottenere i risultati che vengono descritti in Tabella 36.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	eco-compattatore	packaging
GWP100 - fossil	kg CO2-eq	2449.6	2442.6	6.98
GWP100 - biogenic	kg CO2-eq	9.90	9.89	-
GWP100 - land transformation	kg CO2-eq	3.51	3.51	-

Tabella 36 - IPCC 2021 totale

Come possibile notare nella Tabella 36, l'impatto maggiore è stato ottenuto per la categoria *GWP – fossil*.

All'interno della Figura 15 sono stati rappresentati gli impatti dei componenti dell'eco-compattatore dovuti alle somme delle categorie d'impatto presenti nella Tabella 36, in particolare, si notano gli impatti dovuti alle macroaree descritte precedentemente all'interno del paragrafo 5.1, riguardante l'analisi d'inventario per la fase di produzione.

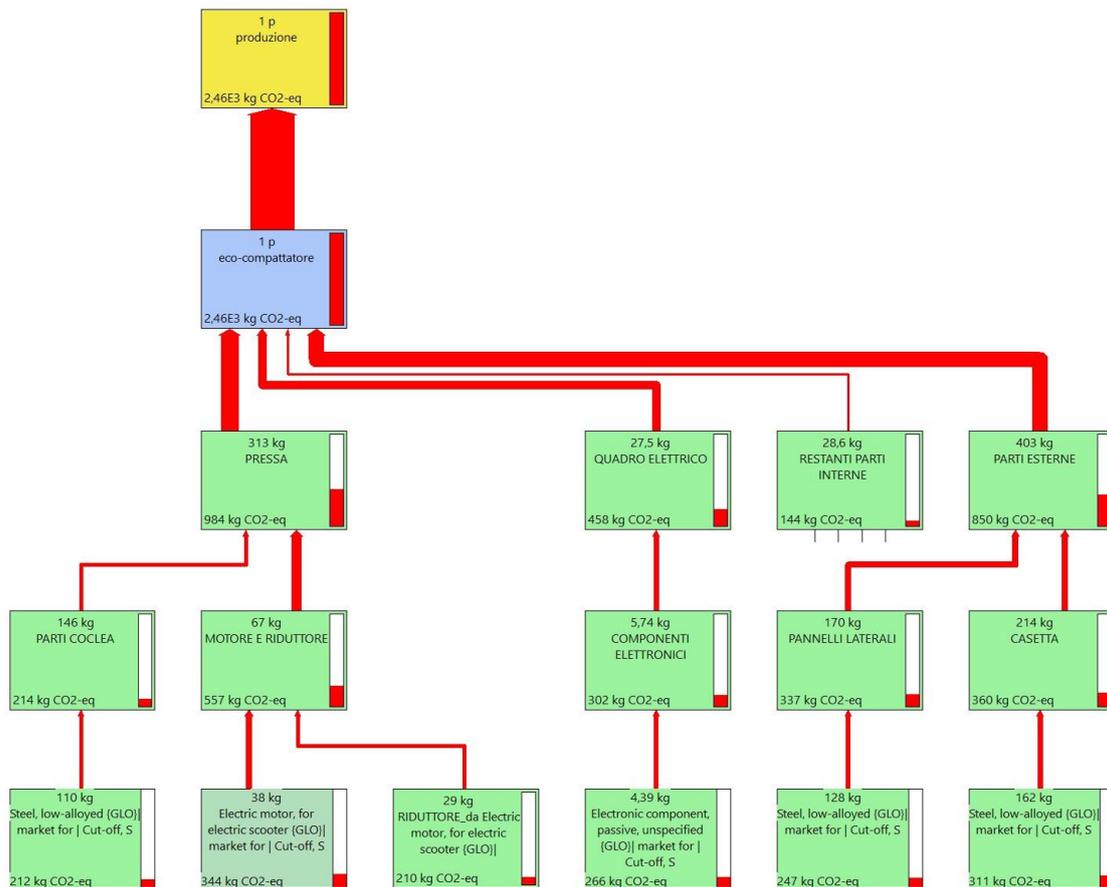


Figura 15 - IPCC 2021 totale

Dal diagramma di Sankey nella Figura 15, si nota che l'impatto maggiore per la produzione dell'eco-compattatore è stata valutata appartenente alla pressa, il cui valore

risulta essere pari a 981 kg di CO<sub>2</sub>. Anche le parti esterne ha un impatto elevato, con precisione 843 kg di CO<sub>2</sub> equivalenti.

È stato, quindi, ritenuto necessario valutare in maniera più approfondita tali macroaree, di modo da comprendere le componenti maggiormente influenzanti.

Studiando nel dettaglio gli impatti che sono stati associati alla produzione della pressa, come si vede nella Figura 16, si nota che il motore e riduttore risultano avere l'impatto maggiore, rispetto al resto dei componenti, ma anche le parti coclea hanno un impatto importante, rispettivamente tali valori sono pari a 555 kg di CO<sub>2</sub> equivalenti e 214 kg di CO<sub>2</sub> equivalenti.

Nel caso del motore e riduttore è noto che l'impatto maggiore è dovuto dal motore poiché il riduttore risulta avere lo stesso impatto a meno del magnete permanente, invece, per quanto riguarda le parti coclea, l'impatto principale risulta essere dovuto all'utilizzo di un'elevata quantità di acciaio.

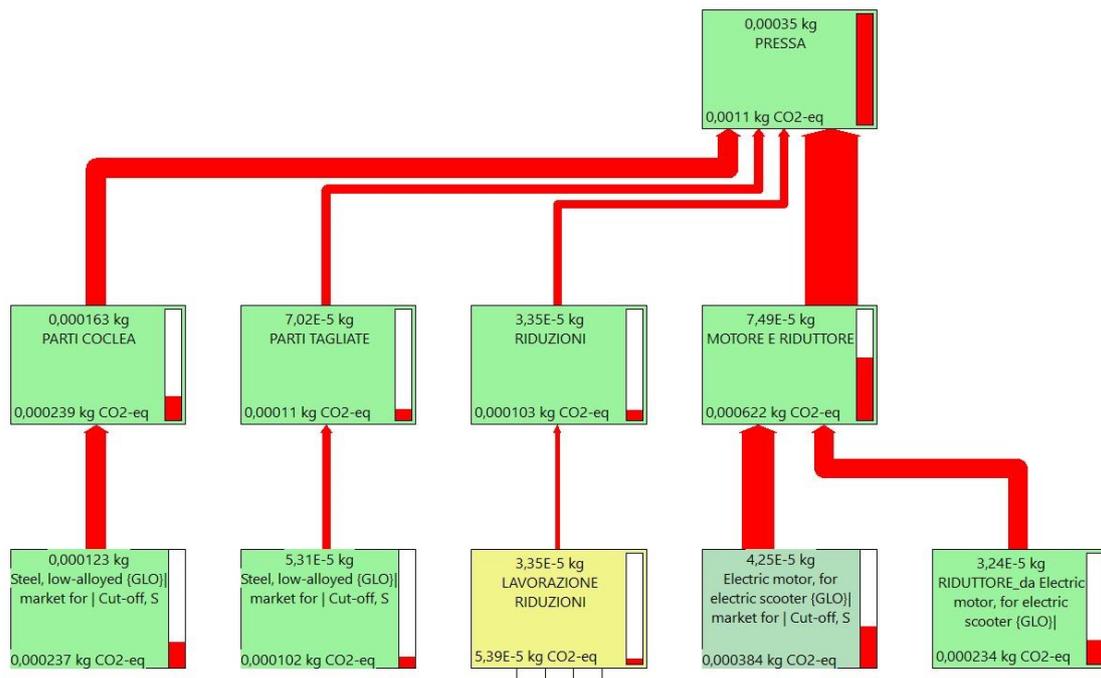


Figura 16 - IPCC 2021 pressa

L'impatto per la categoria *GWP100-fossil* [kg CO<sub>2</sub> equivalenti] risulta essere:

PARTI COCLEA	PARTI TAGLIATE	OMEGA	STELLA	RIDUZIONI	CONTRAPPESI	MOTORE E RIDUTTORE
213.68	98.28	3.21	0.35	91.52	18.78	554.72

Tabella 37 - IPCC 2021 pressa

Le altre categorie d'impatto non sono state riportate in quanto hanno valori trascurabili rispetto a quella analizzata.

Per quanto riguarda, invece, le parti esterne è possibile notare i valori degli impatti, calcolati attraverso il software SimaPro, osservando la Figura 17. Si riscontra che la cassetta e i pannelli laterali hanno l'impatto maggiore, rispettivamente 359 kg di CO<sub>2</sub> equivalenti e 336 kg di CO<sub>2</sub> equivalenti.

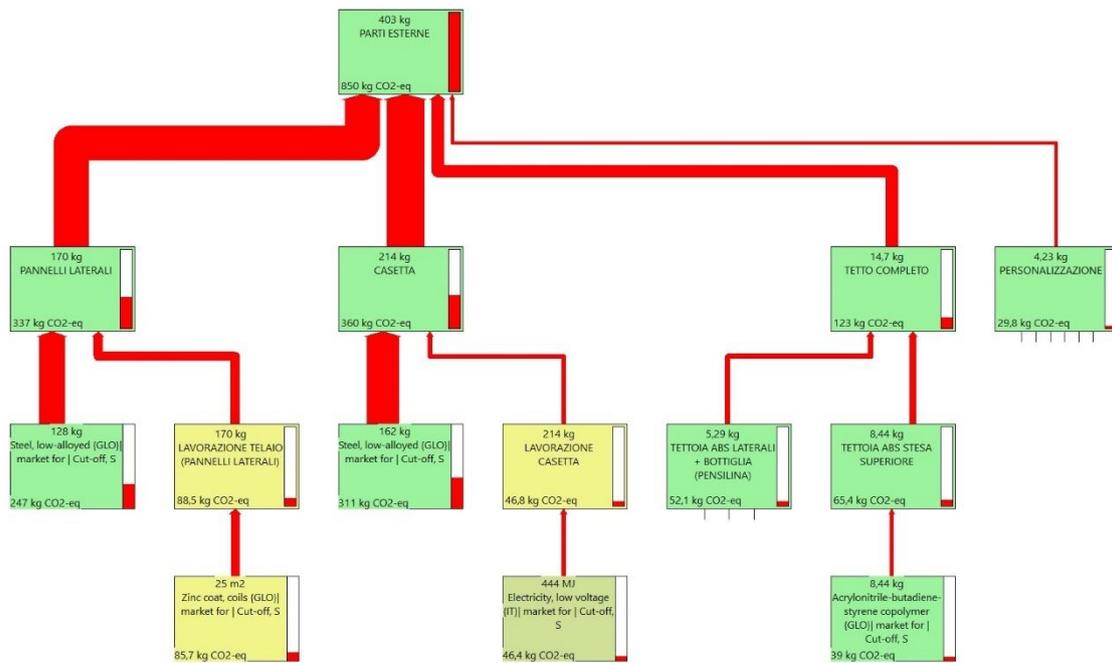


Figura 17 - IPCC 2021 parti esterne

L'unica categoria riporta di seguito è quella riguardante l'impatto *GWP100-fossil* [kg CO<sub>2</sub> equivalenti]; le altre categorie d'impatto non sono state riportate in quanto hanno valori trascurabili rispetto a quella analizzata.

<b>PANNELLI LATERALI</b>	<b>MANIGLIA</b>	<b>CASETTA</b>	<b>TETTO COMPLETO</b>	<b>PERSONALIZZAZIONE</b>
335.67	0.33	358.81	118.62	29.70

*Tabella 38 - IPCC 2021 parti esterne*

*Per 1 kg di plastica*

I risultati ottenuti a seguito delle ipotesi, precedentemente descritte, riguardanti gli impatti ambientali dovuti alla compattazione di 1 kg di plastica, sono elencati nella seguente tabella:

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>Totale</b>	<b>eco-compattatore</b>	<b>packaging</b>
GWP100 - fossil	kg CO2-eq	2.62E-03	2.61E-03	7.46E-06
GWP100 - biogenic	kg CO2-eq	1.06E-05	1.06E-05	2.43E-09
GWP100 - land transformation	kg CO2-eq	3.75E-06	3.75E-06	3.60E-09

*Tabella 39 - IPCC totale (per 1 kg di plastica)*

Tale tabella permette di conoscere il valore delle tre categorie d'impatto relative ad 1 kg di plastica per la produzione dell'eco-compattatore. Attraverso la seguente immagine è possibile valutare quale macroarea risulta essere quella maggiormente influenzante.

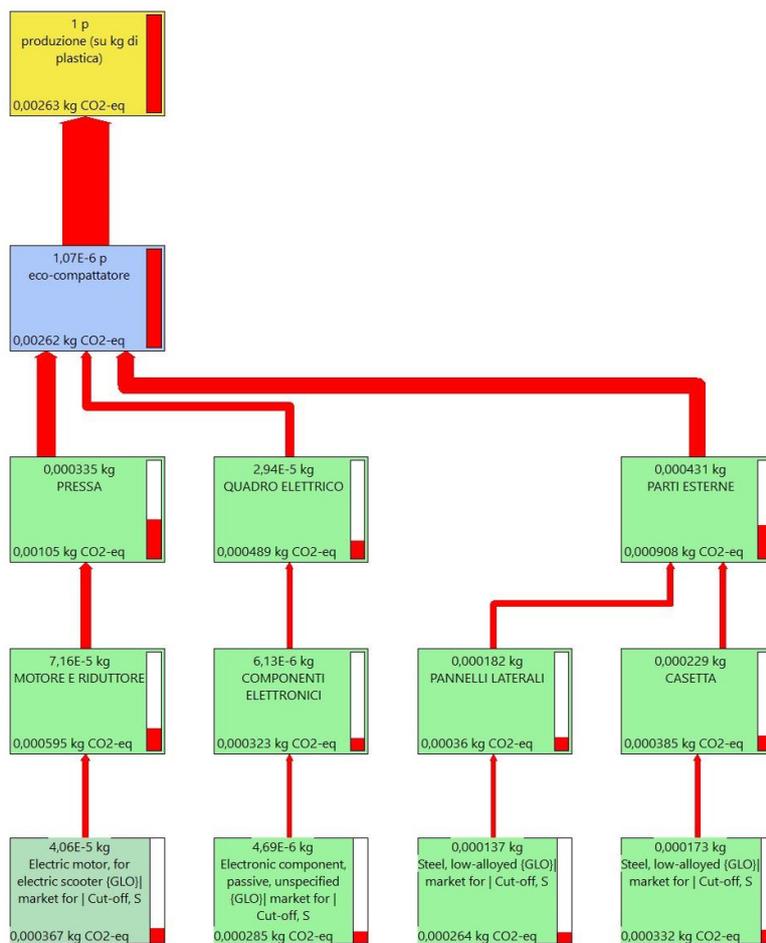


Figura 18 - IPCC totale (per 1 kg di plastica)

Ciò che è possibile notare è che l'impatto maggiore è dovuto alla pressa e alle parti esterne, le quali sono state analizzate nelle tabelle a seguire:

Categoria d'impatto	Unità	Totale	PARTI COCLEA	PARTI TAGLIATE	OMEGA
GWP100 - fossil	kg CO2-eq	1.05E-03	2.29E-04	1.05E-04	3.43E-06
GWP100 - biogenic	kg CO2-eq	2.43E-06	2.17E-07	1.15E-07	1.72E-08
GWP100 - land transformation	kg CO2-eq	1.74E-06	2.04E-07	9.98E-08	7.01E-09

Categoria d'impatto	Unità	STELLA	RIDUZIONI	CONTRAPPESI	MOTORE E RIDUTTORE
GWP100 - fossil	kg CO2-eq	3.74E-07	9.79E-05	2.01E-05	5.93E-04
GWP100 - biogenic	kg CO2-eq	1.30E-08	3.30E-07	6.91E-07	1.05E-06
GWP100 - land transformation	kg CO2-eq	5.16E-10	2.11E-07	2.71E-08	1.19E-06

Tabella 40 - IPCC pressa (per 1 kg di plastica)

Categoria d'impatto	Unità	Totale	PANNELLI LATERALI	MANIGLIA
GWP100 - fossil	kg CO2-eq	9.02E-04	3.59E-04	3.48E-07
GWP100 - biogenic	kg CO2-eq	6.27E-06	6.61E-07	6.09E-10
GWP100 - land transformation	kg CO2-eq	8.98E-07	4.69E-07	3.12E-10

Categoria d'impatto	Unità	CASETTA	TETTO COMPLETO	PERSONALIZZAZIONE
GWP100 - fossil	kg CO2-eq	3.84E-04	1.27E-04	3.18E-05
GWP100 - biogenic	kg CO2-eq	8.86E-07	4.68E-06	4.76E-08
GWP100 - land transformation	kg CO2-eq	3.08E-07	9.59E-08	2.48E-08

Tabella 41 - IPCC parti esterne (per 1 kg di plastica)

Osservando i valori presenti delle tabelle si evince che gli impatti per 1 kg di plastica sulla produzione di un eco-compattatore, calcolati attraverso il metodo IPCC il GWP, sono pari a  $1.05 \cdot 10^{-3}$  kg di CO<sub>2</sub> equivalenti per la pressa e  $9.09 \cdot 10^{-4}$  kg di CO<sub>2</sub> equivalenti per le parti esterne, come è possibile notare nella Figura 18.

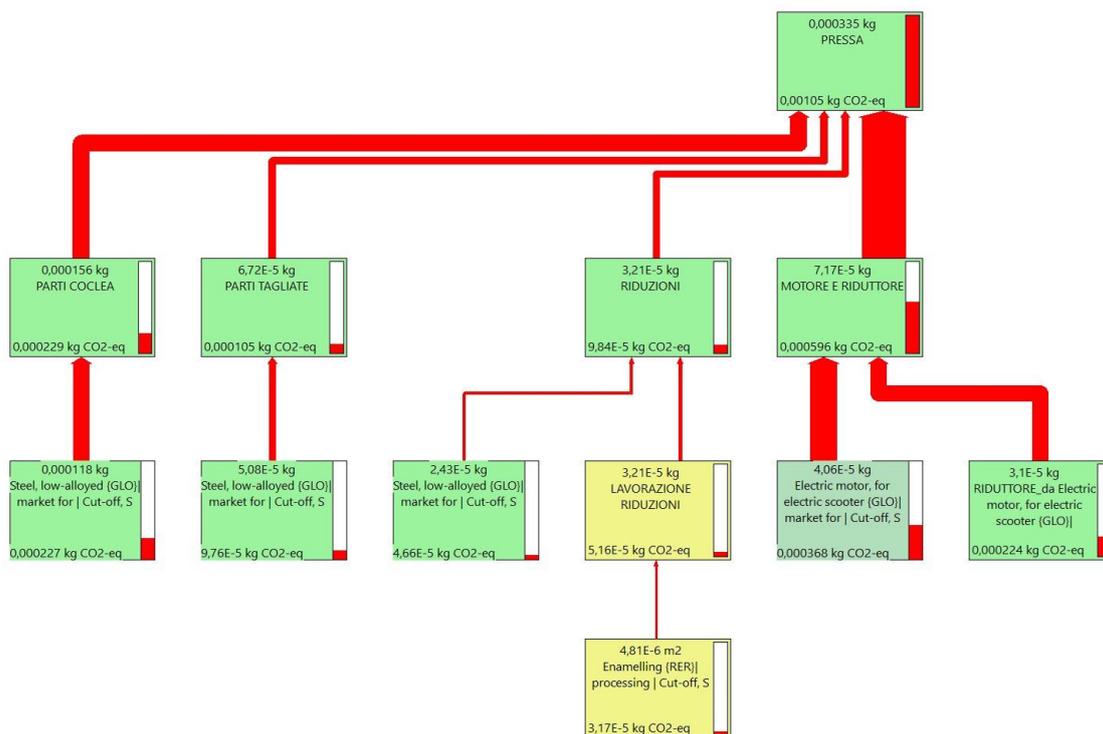


Figura 19 - IPCC pressa (per 1 kg di plastica)

Attraverso la Figura 19 si nota che, all'interno della pressa, il motore ed il riduttore continuano, come nei casi analizzati precedentemente, ad avere l'impatto maggiore.

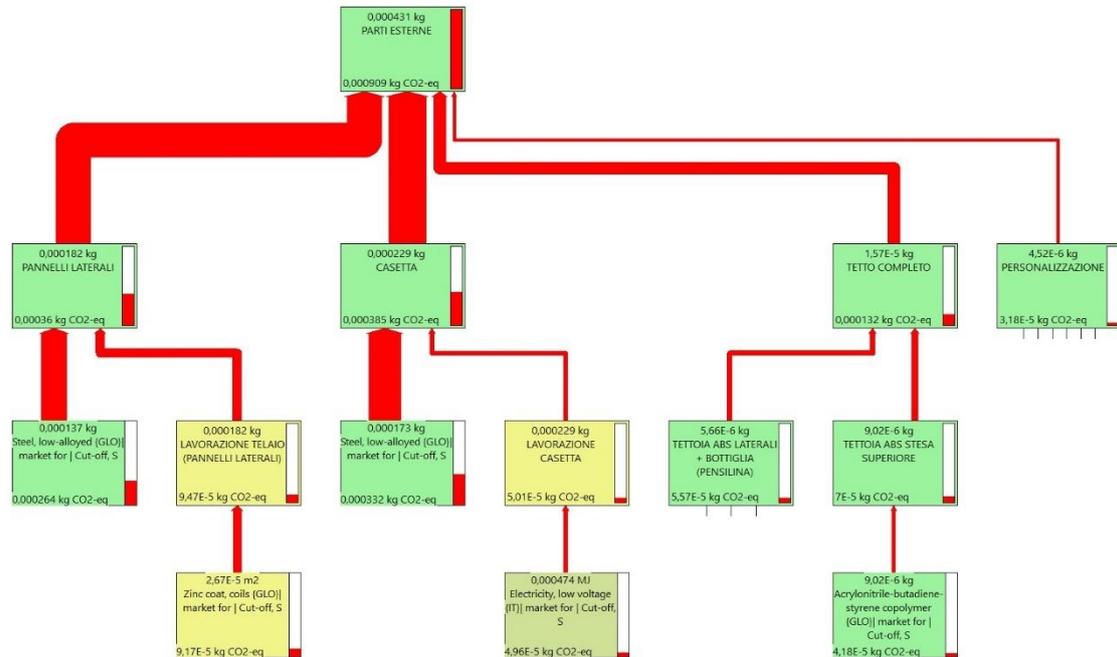


Figura 20 - IPCC parti esterne (per 1 kg di plastica)

Nella Figura 20 si nota che i componenti che hanno un impatto maggiore sono la cassetta e i pannelli laterali, ciò è dovuto al quantitativo elevato di acciaio presenti all'interno di questi due.

### 5.2.3 Metodo *single issue* – Cumulative Energy Demand

Utilizzando l'ultimo metodo scelto per valutare il consumo energetico dell'eco-compattatore, ovvero il metodo CED, è stato possibile ottenere i risultati nel caso complessivo dell'eco-compattatore per tutta la sua vita utile e nel caso normalizzato su chilo di plastica compattato, ovvero l'unità funzionale utilizzata scelta per svolgere lo studio.

*Per 1 eco-compattatore*

È stato possibile ottenere i seguenti risultati.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	eco-compattatore	packaging
Non-renewable, fossil	MJ	2.94E+04	2.93E+04	109.85
Non-renewable, nuclear	MJ	3.42E+03	3.42E+03	2.66
Non-renewable, biomass	MJ	3.66	3.65	-
Renewable, biomass	MJ	648.51	648.05	0.46
Renewable, wind, solar, geothermal	MJ	603.55	603.22	0.33
Renewable, water	MJ	2.32E+03	2.32E+03	1.00

Tabella 42 - CED totale

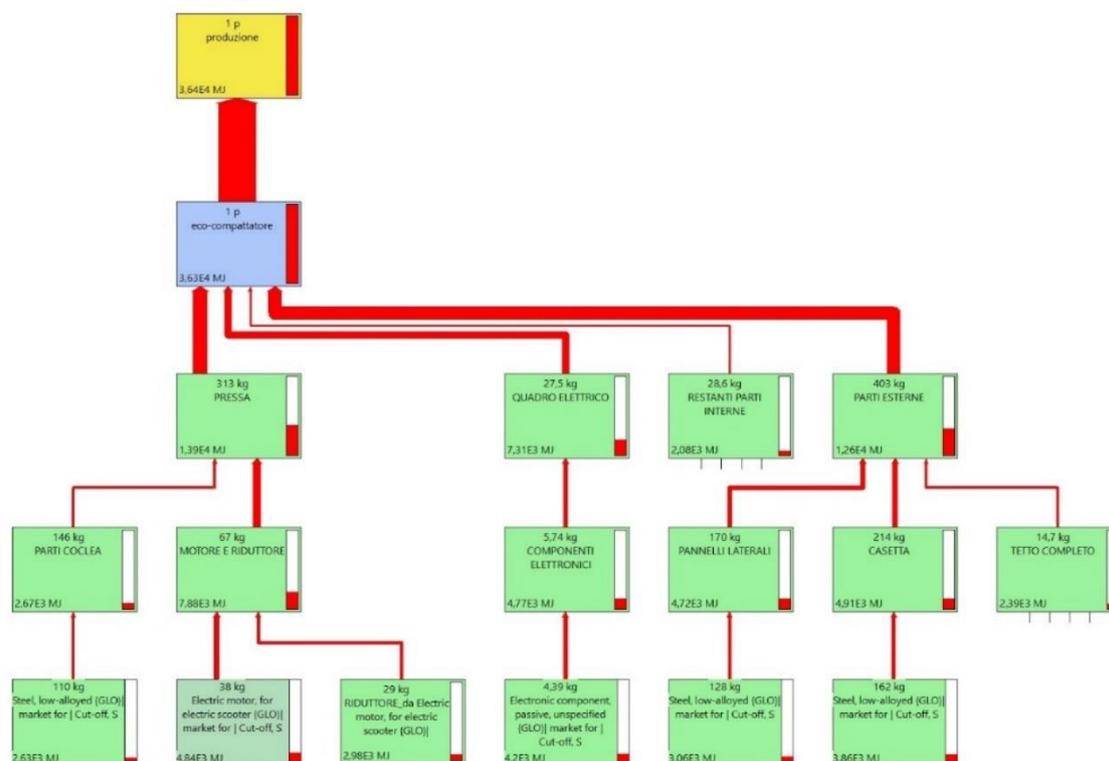


Figura 21 - CED totale

All'interno della Figura 21 i valori riguardanti le diverse tipologie di energia (*non renewable fossil, non renewable nuclear, non renewable biomass, renewable biomass, renewable wind, renewable solar, renewable geothermal e renewable water*) sono sommati. In particolare, si nota che il consumo maggiore è dovuto alla produzione della *pressa* e risulta essere pari a  $1.39 \cdot 10^4$  MJ. Il consumo per la produzione delle parti esterne risulta essere pari a  $1.26 \cdot 10^4$  MJ.

Nella Tabella 43 è possibile notare gli impatti delle varie parti che costituiscono la *pressa*. L'impatto maggiore lo si ottiene per la produzione del motore e del riduttore e per la produzione dei contrappesi.

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>PARTI COCLEA</b>	<b>PARTI TAGLIATE</b>	<b>OMEGA</b>	<b>STELLA</b>
Non-renewable, fossil	MJ	2.33E+03	1.09E+03	41.79	3.97
Non-renewable, nuclear	MJ	124.58	94.74	19.43	0.58
Non-renewable, biomass	MJ	0.49	2.13E-01	-	-
Renewable, biomass	MJ	43.68	21.18	1.32	0.09
Renewable, wind, solar, geothermal	MJ	18.12	14.95	3.97	0.11
Renewable, water	MJ	151.62	73.46	5.10	0.29

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>RIDUZIONI</b>	<b>CONTRAPPESI</b>	<b>MOTORE E RIDUTTORE</b>
Non-renewable, fossil	MJ	1.10E+03	214.38	6.38E+03
Non-renewable, nuclear	MJ	396.70	28.78	655.25
Non-renewable, biomass	MJ	0.21	0.02	0.65
Renewable, biomass	MJ	34.92	4.47	155.64
Renewable, wind, solar, geothermal	MJ	69.16	5.34	86.76
Renewable, water	MJ	118.73	15.00	601.49

*Tabella 43 - CED pressa*

Dalla Figura 22 si nota con maggiore evidenza quanto precedentemente esplicitato, grazie alla rappresentazione del diagramma di Sankey.

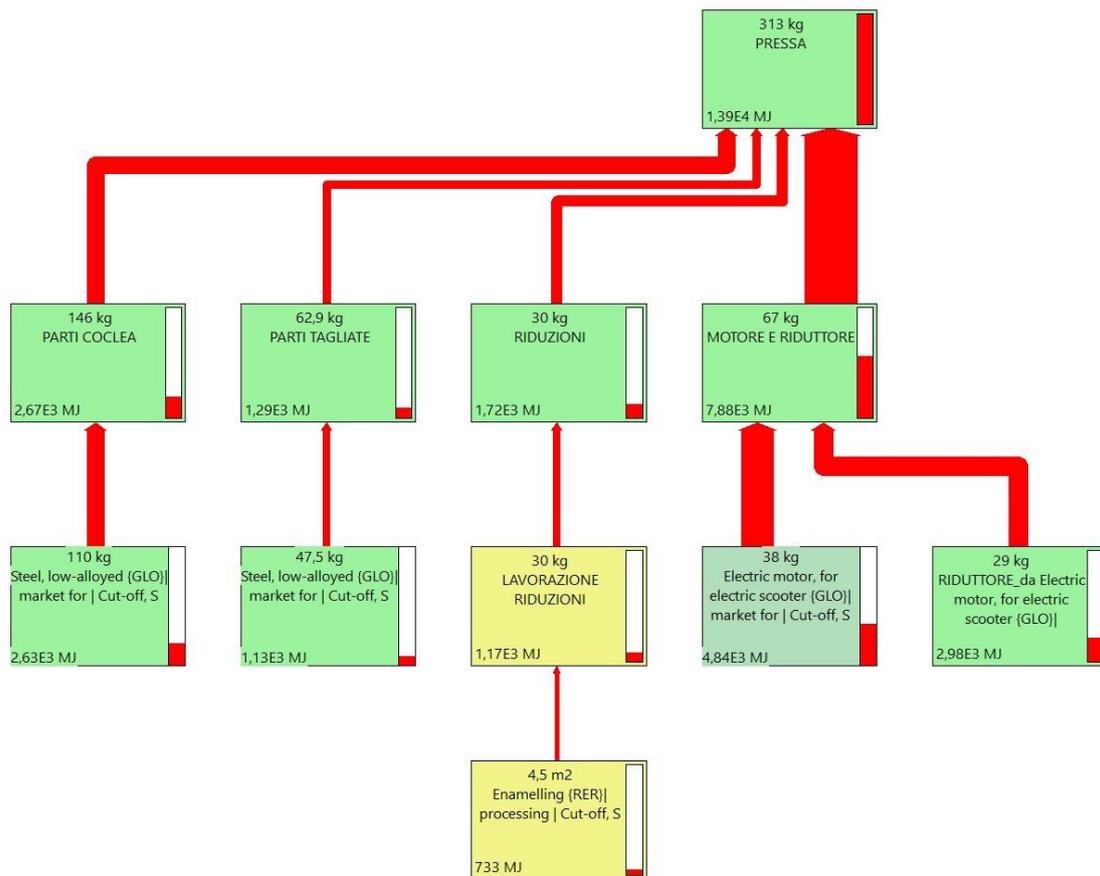


Figura 22 - CED pressa

Per quanto riguarda le parti esterne dell'eco-compattatore, vengono mostrati i consumi energetici con maggiore dettaglio attraverso la Tabella 44 e la Figura 23.

Categoria d'impatto	Unità	PANNELLI LATERALI	MANIGLIA
Non-renewable, fossil	MJ	3.95E+03	8.98E+00
Non-renewable, nuclear	MJ	3.81E+02	5.27E-01
Non-renewable, biomass	MJ	0.66	0.00
Renewable, biomass	MJ	70.91	0.14
Renewable, wind, solar, geothermal	MJ	55.57	0.05
Renewable, water	MJ	2.61E+02	1.42E-01

Categoria d'impatto	Unità	CASSETTA	TETTO COMPLETO	PERSONALIZZAZIONE
Non-renewable, fossil	MJ	4068.29	1.97E+03	517.29
Non-renewable, nuclear	MJ	293.70	3.03E+02	25.39
Non-renewable, biomass	MJ	0.72	0.06	0.04
Renewable, biomass	MJ	84.19	20.99	4.43
Renewable, wind, solar, geothermal	MJ	130.85	42.60	4.13
Renewable, water	MJ	336.94	6.03E+01	10.97

Tabella 44 - CED parti esterne

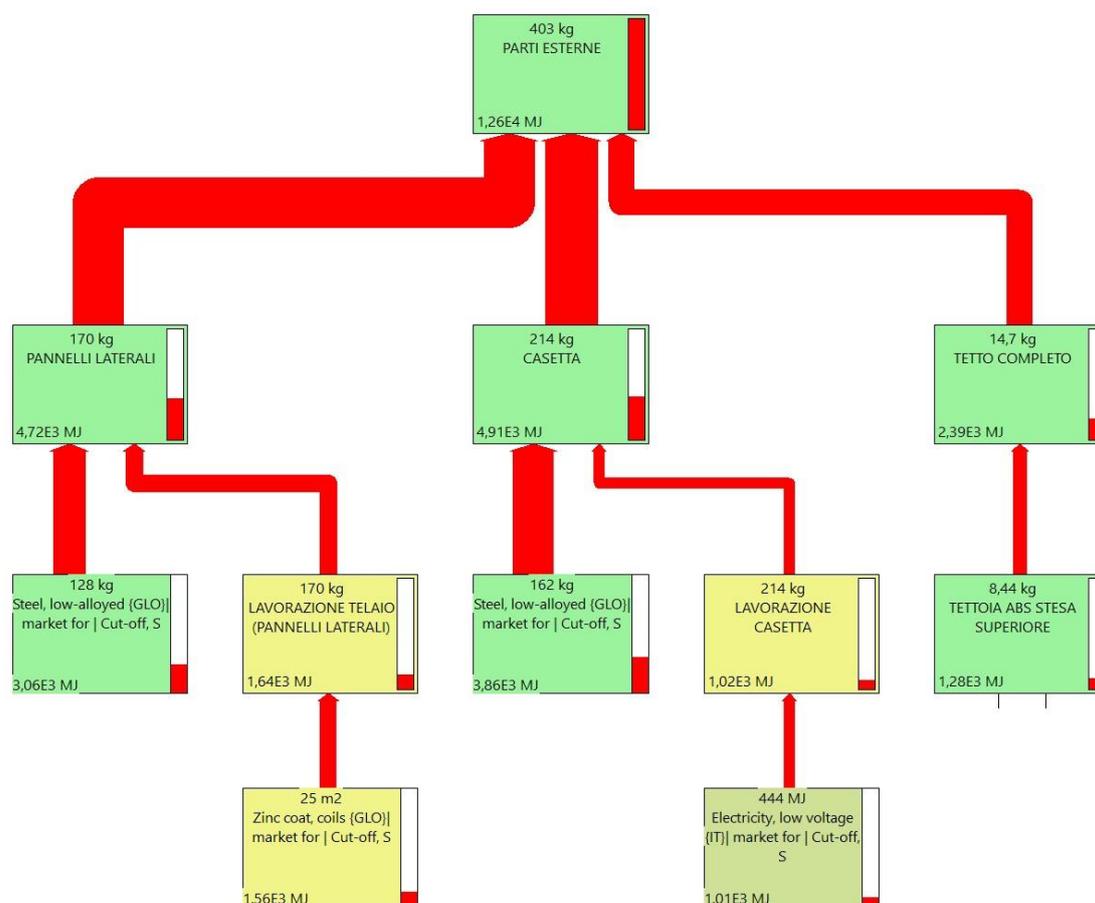


Figura 23 - CED parti esterne

La figura soprastante permette di notare come, anche nel caso del metodo CED, il consumo maggiore è dovuto ai pannelli laterali e alla cassetta, per quanto riguarda le parti esterne.

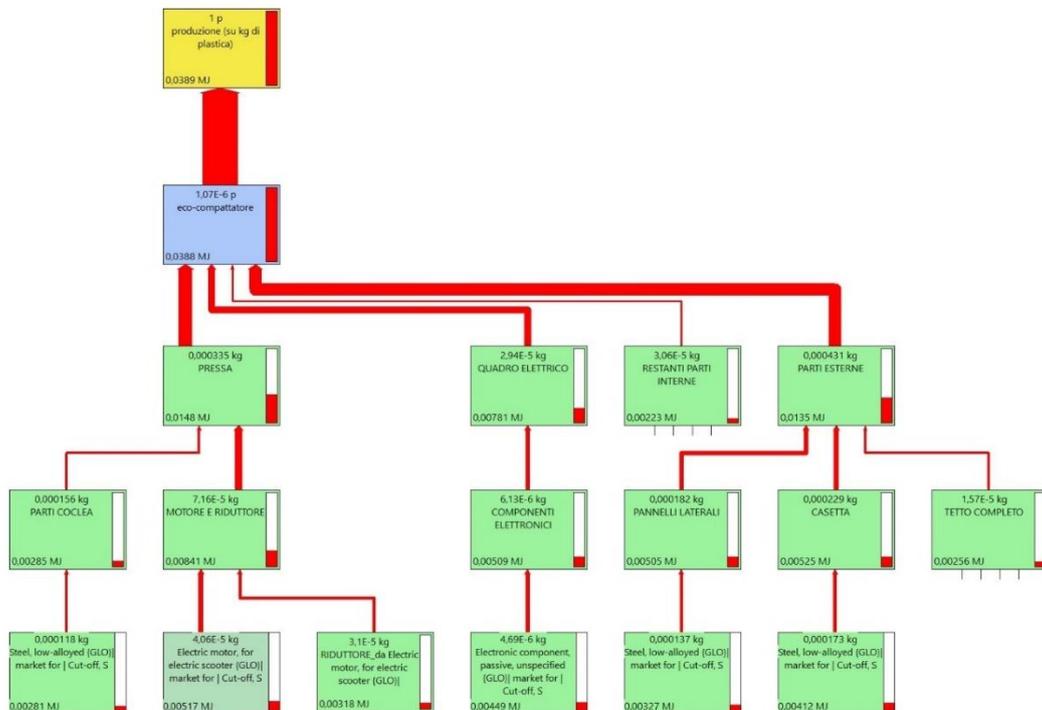
*Per 1 kg di plastica*

I risultati ottenuti a seguito delle ipotesi, precedentemente descritte, riguardanti gli impatti ambientali dovuti alla compattazione di 1 kg di plastica, sono elencati nella seguente tabella:

Categoria d'impatto	Unità	Totale	eco-compattatore	packaging
Non-renewable, fossil	MJ	3.15E-02	3.13E-02	1.17E-04
Non-renewable, nuclear	MJ	3.66E-03	3.65E-03	2.84E-06
Non-renewable, biomass	MJ	3.91E-06	3.90E-06	5.20E-09
Renewable, biomass	MJ	6.93E-04	6.92E-04	4.91E-07
Renewable, wind, solar, geothermal	MJ	6.45E-04	6.44E-04	3.50E-07
Renewable, water	MJ	2.48E-03	2.48E-03	1.07E-06

*Tabella 45 - CED totale (per 1 kg di plastica)*

La tabella permette di valutare in maniera totalitaria il consumo di energia dovuto alla produzione di un eco-compattatore, su un chilo di plastica. Ma attraverso il seguente diagramma di Sankey è possibile valutare quale delle macroaree dell'eco-compattatore abbia un consumo maggiore. Risulta che, come per anche le altre metodologie di calcolo, la pressa e le parti esterne risultano avere i valori maggiori.



*Figura 24 - CED totale (per 1 kg di plastica)*

Quindi, attraverso le seguenti tabelle e immagini è possibile valutare a quali componenti della pressa e delle parti esterne sia attribuito il consumo di energia maggiore.

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>Totale</b>	<b>PARTI COCLEA</b>	<b>PARTI TAGLIATE</b>	<b>OMEGA</b>
Non-renewable, fossil	MJ	1.19E-02	2.49E-03	1.16E-03	4.47E-05
Non-renewable, nuclear	MJ	1.41E-03	1.33E-04	1.01E-04	2.08E-05
Non-renewable, biomass	MJ	1.69E-06	5.22E-07	2.28E-07	2.33E-09
Renewable, biomass	MJ	2.79E-04	4.67E-05	2.27E-05	1.41E-06
Renewable, wind, solar, geothermal	MJ	2.12E-04	1.94E-05	1.60E-05	4.24E-06
Renewable, water	MJ	1.03E-03	1.62E-04	7.86E-05	5.46E-06

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>STELLA</b>	<b>RIDUZIONI</b>	<b>CONTRAPPESI</b>	<b>MOTORE E RIDUTTORE</b>
Non-renewable, fossil	MJ	4.24E-06	1.17E-03	2.29E-04	6.82E-03
Non-renewable, nuclear	MJ	6.24E-07	4.24E-04	3.08E-05	7.01E-04
Non-renewable, biomass	MJ	3.83E-10	2.20E-07	2.07E-08	6.92E-07
Renewable, biomass	MJ	9.21E-08	3.73E-05	4.79E-06	1.66E-04
Renewable, wind, solar, geothermal	MJ	1.16E-07	7.40E-05	5.71E-06	9.28E-05
Renewable, water	MJ	3.09E-07	1.27E-04	1.60E-05	6.43E-04

Tabella 46 - CED pressa (per 1 kg di plastica)

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>Totale</b>	<b>PANNELLI LATERALI</b>	<b>MANIGLIA</b>
Non-renewable, fossil	MJ	1.12E-02	4.23E-03	9.60E-06
Non-renewable, nuclear	MJ	1.07E-03	4.07E-04	5.64E-07
Non-renewable, biomass	MJ	1.59E-06	7.05E-07	3.92E-10
Renewable, biomass	MJ	1.93E-04	7.58E-05	1.45E-07
Renewable, wind, solar, geothermal	MJ	2.49E-04	5.94E-05	5.43E-08
Renewable, water	MJ	7.16E-04	2.79E-04	1.52E-07

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>CASETTA</b>	<b>TETTO COMPLETO</b>	<b>PERSONALIZZAZIONE</b>
Non-renewable, fossil	MJ	4.35E-03	2.10E-03	5.53E-04
Non-renewable, nuclear	MJ	3.14E-04	3.24E-04	2.71E-05
Non-renewable, biomass	MJ	7.74E-07	6.91E-08	4.43E-08
Renewable, biomass	MJ	9.00E-05	2.25E-05	4.74E-06
Renewable, wind, solar, geothermal	MJ	1.40E-04	4.56E-05	4.42E-06
Renewable, water	MJ	3.60E-04	6.45E-05	1.17E-05

Tabella 47 - CED parti esterne (per 1 kg di plastica)

Attraverso le tabelle riportate sopra è possibile valutare che l'impatto maggiore è dovuto, nel caso della pressa, al motore e al riduttore, invece, nel caso delle parti esterne è dovuto alla casetta e ai pannelli laterali. Ciò è visibile con maggiore facilità all'interno delle immagini riportate di seguito.

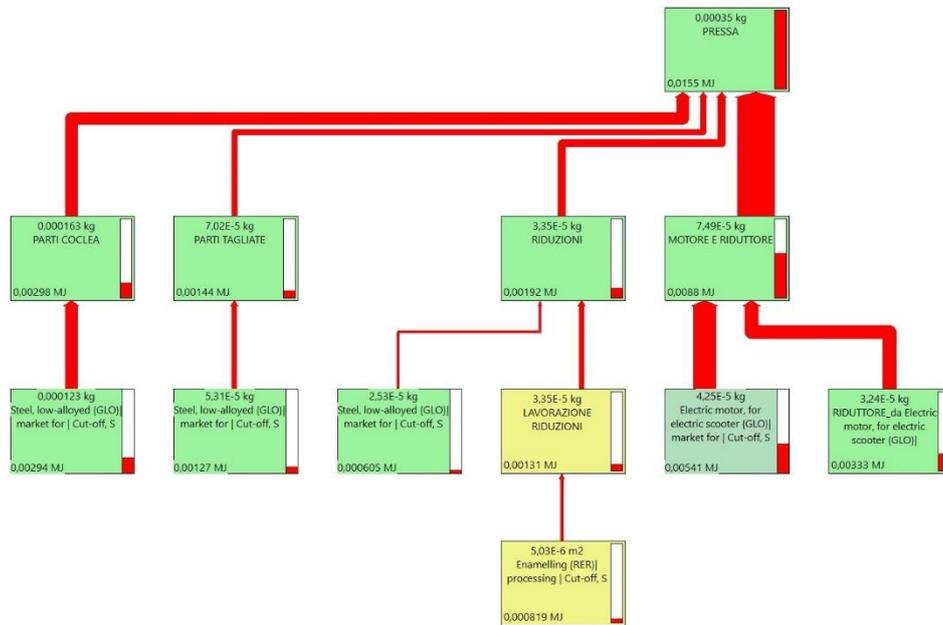


Figura 25 - CED pressa (per 1 kg di plastica)

Nella Figura 25 il motore e il riduttore risultano avere un consumo di molto maggiore rispetto agli altri componenti.

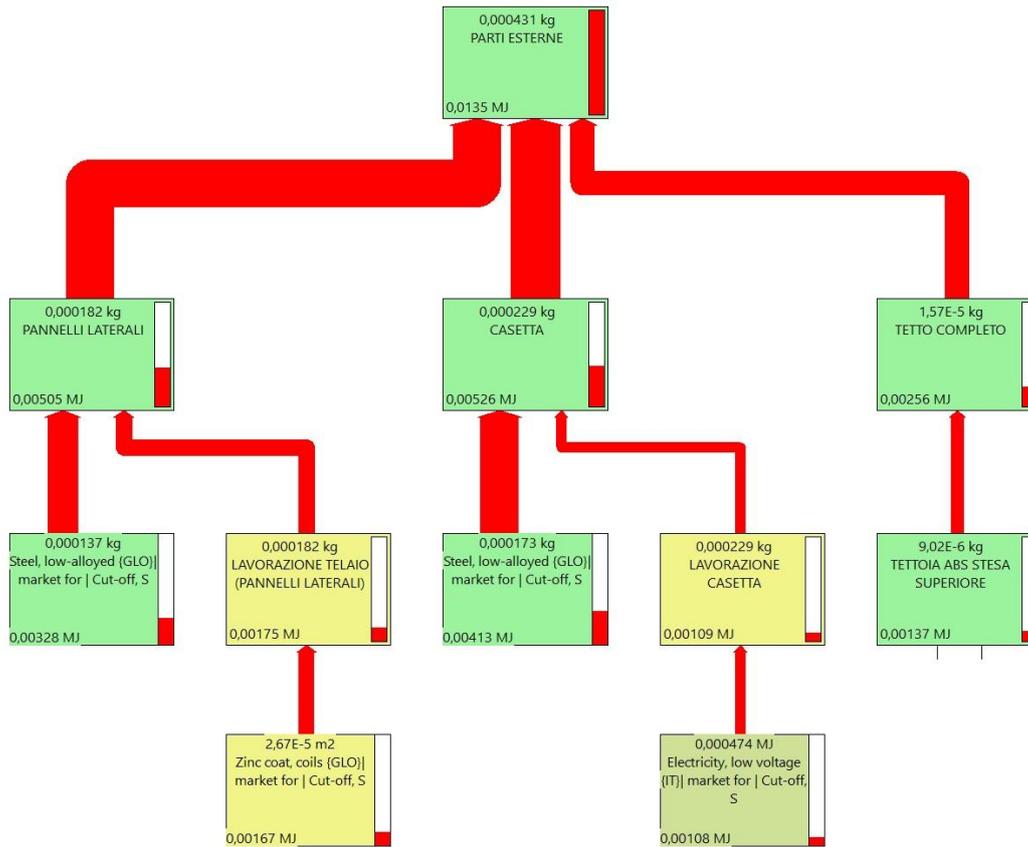


Figura 26 - CED parti esterne (per 1 kg di plastica)

Dalla Figura 26 si nota che i pannelli laterali hanno un consumo energetico elevato, risultato ottenuto anche per gli altri metodi di calcolo utilizzato. Inoltre, in questa figura si nota che un consumo elevato lo si ottiene anche per la produzione del tetto completo, anche se il valore risulta essere inferiore rispetto ai due componenti precedentemente citati.

## 6. FASE DI UTILIZZO

Gli eco-compattatori vengono installati al di fuori di scuole, centri commerciali e supermercati, in tal modo gli utenti che hanno intenzione di usufruire di tale servizio non effettuano il trasporto solamente per gettare i rifiuti di PET, bensì si spostano per effettuare un'azione differente, come ad esempio fare la spesa.

Tale scelta è dovuta a due considerazioni: la prima serve ad incentivare i cittadini, ovvero questi non devono effettuare uno spostamento solamente per gettare i rifiuti, ma si trovano tale macchinario in un luogo in cui sono già diretti, in secondo luogo tale decisione di ubicazione degli eco-compattatori permette di azzerare l'impatto ed il consumo del trasporto dalle residenze dei cittadini ai macchinari, in quanto il viaggio non è stato fatto per gettare gli imballaggi, ma piuttosto per recarsi in tale luogo per svolgere un'altra attività.

### 6.1 Analisi d'inventario

L'eco-compattatore ha una vita utile di 15 anni.

Il consumo energetico dell'eco-compattatore non è costante nel tempo, durante la vita utile si alternano fasi di attività della pressa in cui il consumo è pari a 5 kWh e fasi in cui il macchinario è in standby ed il suo consumo si riduce, con esattezza risulta essere pari a 1 kWh.

Attraverso ipotesi, già effettuate precedentemente nel paragrafo 5.2.1 per la produzione di 1 kg di PET compattato, è stato possibile stimare il consumo energetico al chilo (questo valore considera in un'ora il macchinario effettui solo compattazione e non sia mai in standby).

$$n. \text{ bottiglie compattate}_{1 \text{ ora}} = 3600/5 = 720 \text{ bottiglie}$$

$$\text{chili compattati}_{1 \text{ ora}} = n. \text{ bottiglie compattate}_{1 \text{ ora}} * p. \text{ bottiglia} = 28.8 \text{ kg}$$

$$\text{consumo energetico}_{1 \text{ ora}} = \text{potenza} * 1 \text{ h} = 5 \text{ kWh}$$

$$\begin{aligned} \text{consumo energetico}_{al\ chilo} &= \text{consumo energetico}_{1\ ora} / 28.8\ kg \\ &= 0.174\ kWh/kg \end{aligned}$$

noto che:

- 3600 s sono i secondi presenti in 1 ora;
- 5 s sono i secondi che il macchinario impiega a compattare una bottiglia di PET
- p. bottiglia = 0.04 kg è il peso di una bottiglia vuota in PET [18];
- potenza = 5 kW.

Il consumo energetico dell'eco-compattatore, durante la fase di standby, è stato stimato effettuando un'approssimazione per eccesso, noto che, oltre al tablet che ha un consumo pari a 600 W, sono da sommare i consumi passivi di tutti i componenti elettronici presenti all'interno del macchinario.

Infine, è stato necessario stimare il tempo di funzionamento nominale e quello di funzionamento in standby, noto che il tempo impiegato dalla pressa è pari a 5 s, dato calcolato.

$$\text{tempo di funzionamento}_{nominale} = 5 * \frac{n.\text{bottiglie} * n.\text{pieni}}{3600 * 7} = 6\ h$$

$$\begin{aligned} \text{tempo di funzionamento}_{standby} &= 24 - \text{tempo di funzionamento}_{nominale} \\ &= 18\ h \end{aligned}$$

noto che, come detto:

- n. bottiglie=10000 è il numero di bottiglie che un eco-compattatore riesce a compattare in un pieno, dato fornito da Ripet;
- n. pieni = 3 è il numero di pieni che un eco-compattatore riesce a effettuare in una settimana, dato stimato secondo ipotesi di funzionamento ideale.

Per effettuare un'analisi completa occorre fornire i risultati dell'inventario rispetto all'unità funzionale utilizzata all'interno dello studio, ovvero il chilo di plastica. Nella seguente tabella sono stati inseriti i primi 20 flussi in ingresso delle materie prime nella fase di utilizzo dell'eco-compattatore. Tali flussi sono stati ordinati in ordine decrescente rispetto al totale.

<b>Flusso</b>	<b>Sottocategoria</b>	<b>Unità</b>	<b>Totale</b>
Water, turbine use, unspecified natural origin, IT	Prima	m3	0.768
Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	Prima	MJ	0.265
Water, turbine use, unspecified natural origin, CH	Prima	m3	0.258
Water, turbine use, unspecified natural origin, FR	Prima	m3	0.225
Energy, solar, converted	Prima	MJ	0.128
Energy, kinetic (in wind), converted	Prima	MJ	0.073
Water, turbine use, unspecified natural origin, SI	Prima	m3	0.058
Water, turbine use, unspecified natural origin, RoW	Prima	m3	0.049
Energy, gross calorific value, in biomass	Prima	MJ	0.047
Water, turbine use, unspecified natural origin, AT	Prima	m3	0.041
Energy, geothermal, converted	Prima	MJ	0.038
Gas, natural/m3	Prima	m3	0.026
Coal, hard	Prima	kg	0.018
Gangue	Prima	kg	0.016
Water, cooling, unspecified natural origin, IT	Prima	m3	0.008
Shale	Prima	kg	0.007
Gravel	Prima	kg	0.006
Volume occupied, reservoir	Prima	m3y	0.006
Water, turbine use, unspecified natural origin, GR	Prima	m3	0.005
Occupation, forest, intensive	Prima	m2a	0.005

*Tabella 48 - Risultati d'inventario (materie prime)*

Le materie prime che risultano avere un valore maggiore, all'interno della tabella soprastante, sono il carbone, il minerale ganga e la ghiaia. Tali flussi sono attribuibili all'estrazione dei minerali necessari alla produzione dell'acciaio oppure potrebbero essere dovuti all'estrazione dei combustibili.

Nella Tabella 48 si nota che i flussi di energia hanno maggiore rilevanza rispetto alla fase di produzione. Questo perché nella fase di utilizzo dell'eco-compattatore, l'impatto maggiore è dovuto all'energia che viene utilizzata per il funzionamento del macchinario. Nella seguente tabella sono stati inseriti i primi 20 flussi in ingresso delle emissioni in aria, acqua e terreno nella fase di produzione dell'eco-compattatore. Tali flussi sono stati ordinati in ordine decrescente rispetto al totale.

Flusso	Sottocategoria	Unità	Totale
Carbon dioxide, fossil	Aria	kg	9.68E-02
Carbon dioxide, biogenic	Aria	kg	1.45E-02
Sulfate	Acqua	kg	2.00E-03
Calcium	Acqua	kg	6.18E-04
Silicon	Acqua	kg	4.43E-04
Chloride	Acqua	kg	3.80E-04
Sodium	Acqua	kg	3.37E-04
Sulfur dioxide	Aria	kg	2.94E-04
Aluminium	Acqua	kg	2.80E-04
Methane, fossil	Aria	kg	2.70E-04
Magnesium	Acqua	kg	2.62E-04
Iron	Acqua	kg	2.60E-04
Nitrogen oxides	Aria	kg	1.87E-04
Potassium	Acqua	kg	1.60E-04
Carbon monoxide, fossil	Aria	kg	1.26E-04
Phosphate	Acqua	kg	8.96E-05
COD (Chemical Oxygen Demand)	Acqua	kg	8.65E-05
Particulates, > 10 um	Aria	kg	7.26E-05
Suspended solids, unspecified	Acqua	kg	7.09E-05
Copper	Acqua	kg	5.75E-05

Tabella 49 - Risultati d'inventario (emissioni)

I risultati che hanno valori maggiori di emissioni sono relativi all'aria e all'acqua, non al terreno, e sono attribuibili anch'esse all'estrazione delle materie prime per la produzione dell'acciaio e alle lavorazioni che vengono effettuate per ottenere la lega metallica ed inoltre sono attribuibili anche alla produzione di energia elettrica necessaria al funzionamento del macchinario.

## 6.2 Analisi degli impatti

Per valutare i risultati ottenuti dall'analisi di utilizzo dell'eco-compattatore, sono stati utilizzati gli stessi metodi di caratterizzazione scelti per studiare la fase di produzione dell'eco-compattatore.

Per modellizzare, all'interno del software di calcolo, l'utilizzo di energia dell'eco-compattatore è stato scelto il mix energetico italiano, è quindi da considerare che a seconda del mix energetico scelto il risultato potrebbe cambiare in maniera considerevole.

## 6.2.1 Metodo europeo – CML-IA

*Per 15 anni*

Innanzitutto, è stato utilizzato il metodo europeo CML-IA per valutare l'impatto ambientale dell'eco-compattatore. Questo calcolo tiene conto dell'impatto dovuto ai 15 anni di funzionamento del macchinario, non considera però l'impatto delle manutenzioni in quanto sono dati che l'azienda produttrice dell'eco-compattatore non conosce poiché non è lei ad occuparsene.

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>Totale</b>	<b>eco-compattatore</b>	<b>fase d'uso in funzione</b>	<b>fase d'uso in standby</b>
Abiotic depletion	kg Sb eq	1.39	0.41	0.61	0.37
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	1.31E+06	2.73E+04	8.02E+05	4.81E+05
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1.01E+05	2.44E+03	6.15E+04	3.69E+04
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0.01	1.57E-04	7.42E-03	4.45E-03
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	6.24E+04	1.18E+04	3.16E+04	1.89E+04
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	8.93E+04	1.01E+04	4.95E+04	2.97E+04
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.11E+08	1.49E+07	6.02E+07	3.61E+07
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	845.04	13.60	519.65	311.79
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	21.40	1.42	12.49	7.49
Acidification	kg SO2 eq	433.75	23.16	256.62	153.97
Eutrophication	kg PO4--- eq	117.91	9.99	67.45	40.47

*Tabella 50 - CML-IA (fase d'uso)*

Come è possibile notare in Tabella 50 il maggior impatto ambientale riguarda, come nel caso della fase di produzione calcolato con lo stesso metodo, la categoria dell'ecotossicità dell'acqua di mare ha il valore più elevato, superando le altre categorie di almeno due ordini di grandezza.

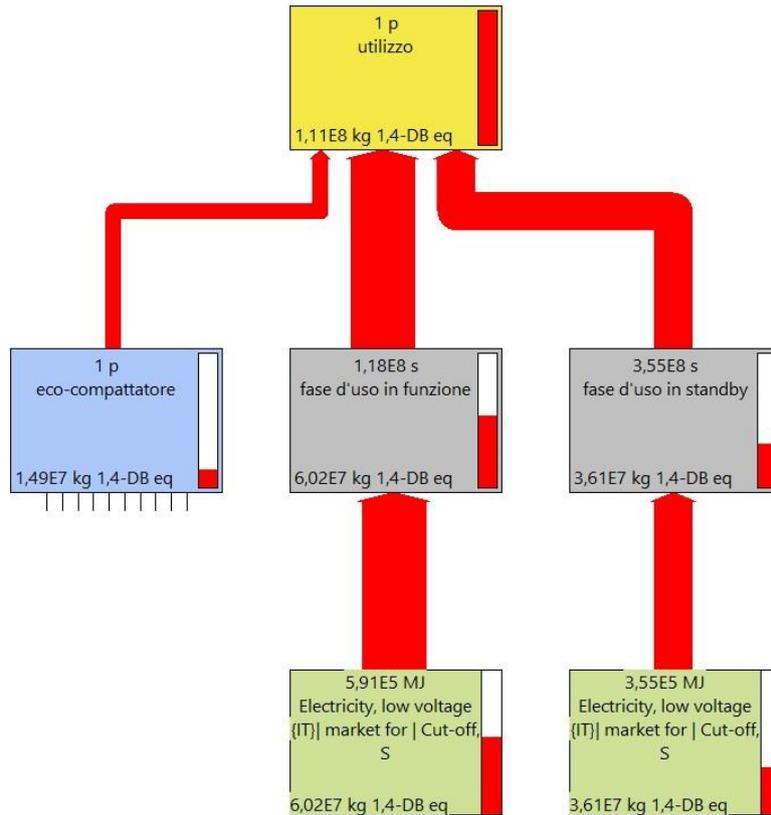


Figura 27 - CML-IA (marine aquatic ecotoxicity, fase d'uso)

Attraverso la Figura 27 è stato possibile notare che l'impatto maggiore è dovuto alla fase d'uso in funzione, come era possibile prevedere. Tale immagine permette di comprendere come la produzione dell'eco-compattatore influisca poco sull'impatto totale dell'eco-compattatore.

*Per 1 kg di plastica*

I risultati ottenuti a seguito delle ipotesi, precedentemente descritte, riguardanti gli impatti ambientali dovuti alla compattazione di 1 kg di plastica, sono elencati nella seguente tabella:

Categoria d'impatto	Unità	Totale	eco-compattatore	fase d'uso in funzione	fase d'uso in standby
Abiotic depletion	kg Sb eq	1.48E-06	4.34E-07	6.55E-07	3.93E-07
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	1.40	2.92E-02	8.57E-01	5.14E-01
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1.08E-01	2.61E-03	6.57E-02	3.94E-02
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1.29E-08	1.67E-10	7.93E-09	4.76E-09
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	6.66E-02	1.27E-02	3.37E-02	2.02E-02
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	9.54E-02	1.08E-02	5.29E-02	3.17E-02
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.19E+02	1.59E+01	6.43E+01	3.86E+01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	9.03E-04	1.45E-05	5.55E-04	3.33E-04
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	2.29E-05	1.52E-06	1.33E-05	8.00E-06
Acidification	kg SO2 eq	4.63E-04	2.47E-05	2.74E-04	1.65E-04
Eutrophication	kg PO4--- eq	1.26E-04	1.07E-05	7.21E-05	4.32E-05

Tabella 51 - CML-IA (fase d'uso per 1kg di plastica)

Anche in questo caso, la categoria d'impatto con valore maggiore risulta essere quella riguardante l'ecotossicità nelle acque marine. All'interno della Figura 28, all'interno della quale è possibile notare che l'impatto maggiore, come nei casi precedenti, è dovuto alla fase d'uso in funzione.

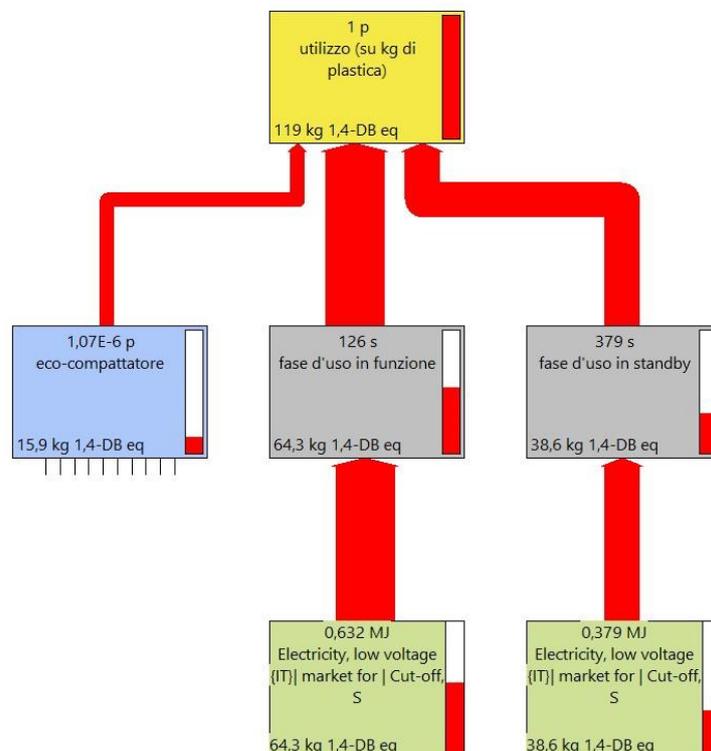


Figura 28 - CML-IA (marine aquatic ecotoxicity, fase d'uso per 1 chilo di plastica)

## 6.2.2 Metodo *single issue* – IPCC 2021

Utilizzando il metodo IPCC 2021 si ottengono i valori riguardo le seguenti categorie d'impatto: *GWP100 – fossil*, *GWP100 – biogenic*, *GWP100 – land transformation*.

*Per 15 anni*

Per quanto riguarda l'impatto totale dovuto all'eco-compattatore nei suoi 15 anni di utilizzo, vengono espone le seguenti tabelle e immagini.

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>Totale</b>	<b>eco-compattatore</b>	<b>fase d'uso nominale</b>	<b>fase d'uso in standby</b>
GWP100 - fossil	kg CO2-eq	1.00E+05	2442.63	6.11E+04	3.67E+04
GWP100 - biogenic	kg CO2-eq	1145.91	9.89	710.01	426.01
GWP100 - land transformation	kg CO2-eq	21.83	3.51	11.45	6.87

*Tabella 52 - Fase d'uso*

Come è possibile notare dalla Tabella 52 l'impatto principale maggiore riguarda la *GWP100 – fossil*, ed è, inoltre, possibile osservare che la fase d'uso nominale ha l'impatto maggiore. Il tutto è rappresentato in maniera visibile in Figura 29, nel quale è possibile notare che la fase d'uso nominale è l'impatto di gran lunga maggiore, se a confronto con la produzione dell'eco-compattatore e la fase d'uso in standby.

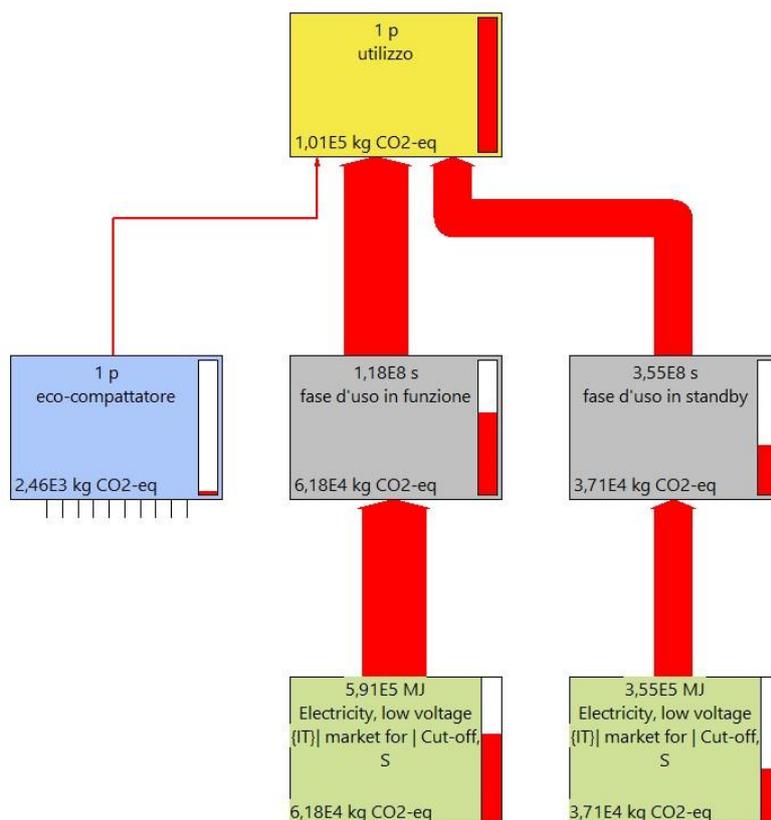


Figura 29 - IPCC (fase d'uso)

Per 1 kg di plastica

I risultati ottenuti a seguito delle ipotesi, precedentemente descritte, riguardanti gli impatti ambientali dovuti alla compattazione di 1 kg di plastica, sono elencati nella seguente tabella:

Categoria d'impatto	Unità	Totale	eco-compattatore	fase d'uso in funzione	fase d'uso in standby
GWP100 - fossil	kg CO2-eq	1.07E-01	2.61E-03	6.53E-02	3.92E-02
GWP100 - biogenic	kg CO2-eq	1.22E-03	1.06E-05	7.59E-04	4.55E-04
GWP100 - land transformation	kg CO2-eq	2.33E-05	3.75E-06	1.22E-05	7.34E-06

Tabella 53 - IPCC (fase d'uso per 1 kg di plastica)

I risultati possono essere espressi anche attraverso il diagramma di Sankey nell'immagine che segue. La quale permette di dare maggiore risalto all'impatto dovuto alla fase d'uso in funzione, rispetto alle altre 2 componenti: la fase d'uso in standby che ha un impatto

comunque elevato e la fase di produzione dell'eco-compattatore che ha un impatto decisamente inferiore rispetto alle altre due.

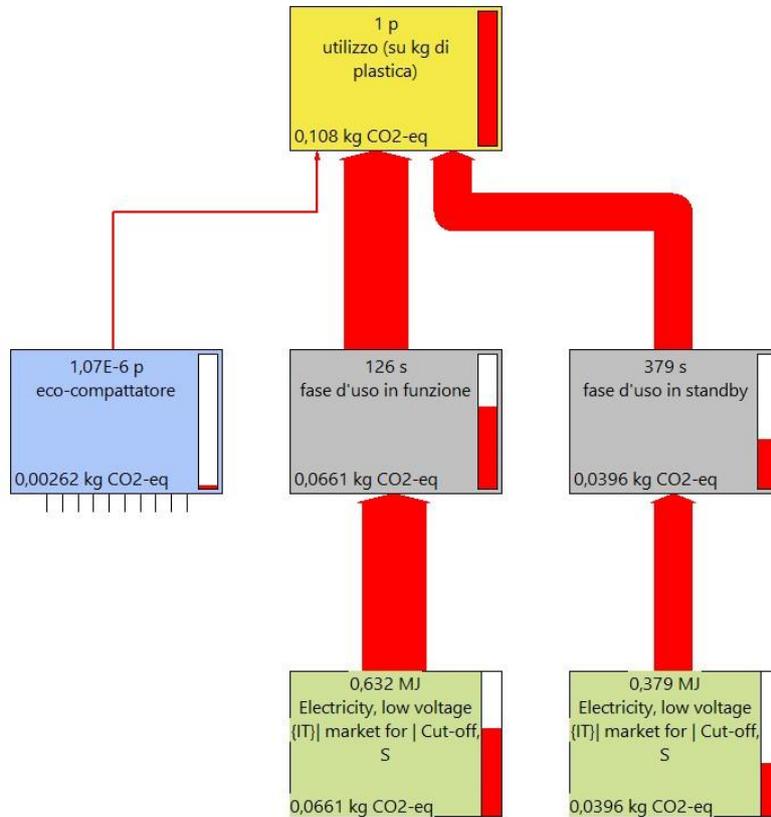


Figura 30 - IPCC (fase d'uso per 1 kg di plastica)

### 6.2.3 Metodo *single issue* – Cumulative Energy Demand

*Per 15 anni*

Utilizzando il metodo della Cumulative Energy Demand, che valuta il consumo energetico suddividendolo in base alla tipologia di energia utilizzata. Tali valori sono stati calcolati attraverso SimaPro e inseriti all'interno della Tabella 54.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	eco-compattatore	fase d'uso nominale	fase d'uso in standby
Non-renewable, fossil	MJ	1.43E+06	2.93E+04	8.76E+05	5.26E+05
Non-renewable, nuclear	MJ	2.41E+05	3419.46	1.49E+05	8.92E+04
Non-renewable, biomass	MJ	23.04	3.65	12.12	7.27
Renewable, biomass	MJ	4.39E+04	648.05	2.70E+04	1.62E+04
Renewable, wind, solar, geothermal	MJ	2.24E+05	603.22	1.40E+05	8.38E+04
Renewable, water	MJ	2.48E+05	2320.82	1.54E+05	9.21E+04

Tabella 54 - CED (fase d'uso)

Successivamente è stata inserita la Figura 31 grazie alla quale è possibile notare il consumo energetico totale, che risulta suddiviso nelle diverse tipologie di fonti energetiche nella Tabella 54, per la fase di produzione e la fase d'uso dell'eco-compattatore.

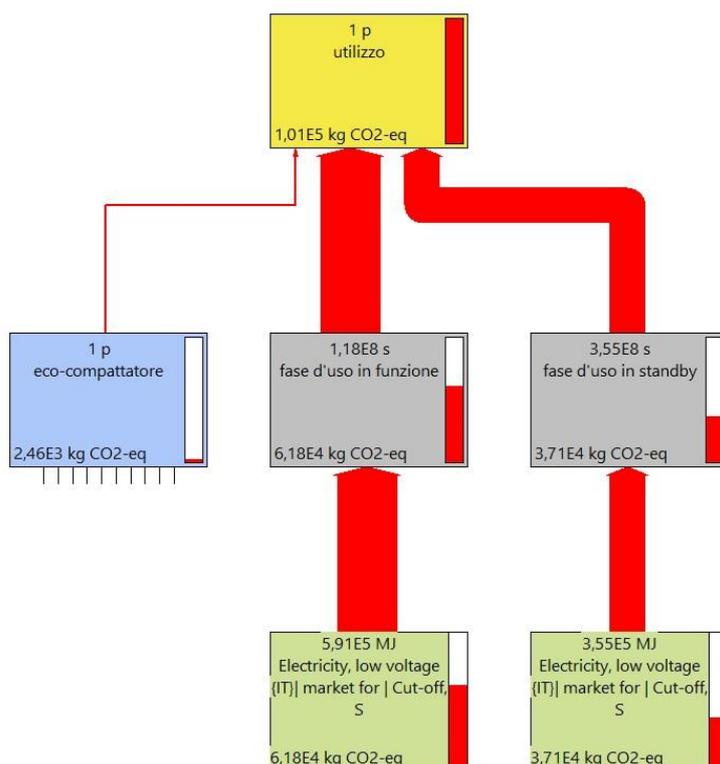


Figura 31 - CED (fase d'uso)

### Per 1 kg di plastica

I risultati ottenuti a seguito delle ipotesi, precedentemente descritte, riguardanti gli impatti ambientali dovuti alla compattazione di 1 kg di plastica, sono elencati nella seguente tabella:

Categoria d'impatto	Unità	Totale	eco-compattatore	fase d'uso in funzione	fase d'uso in standby
Non-renewable, fossil	MJ	1.53E+00	3.13E-02	9.36E-01	5.62E-01
Non-renewable, nuclear	MJ	2.58E-01	3.65E-03	1.59E-01	9.53E-02
Non-renewable, biomass	MJ	2.46E-05	3.90E-06	1.29E-05	7.77E-06
Renewable, biomass	MJ	4.69E-02	6.92E-04	2.89E-02	1.73E-02
Renewable, wind, solar, geothermal	MJ	2.39E-01	6.44E-04	1.49E-01	8.95E-02
Renewable, water	MJ	2.65E-01	2.48E-03	1.64E-01	9.84E-02

Tabella 55 - CED (fase d'uso per 1 kg di plastica)

Attraverso la tabella è possibile valutare il consumo di energia che è dovuto alle 2 fasi, ma attraverso l'immagine seguente, si comprende con più facilità che anche in questo caso il valore maggiore lo si ottiene per la fase d'uso in funzionamento, come era prevedibile.

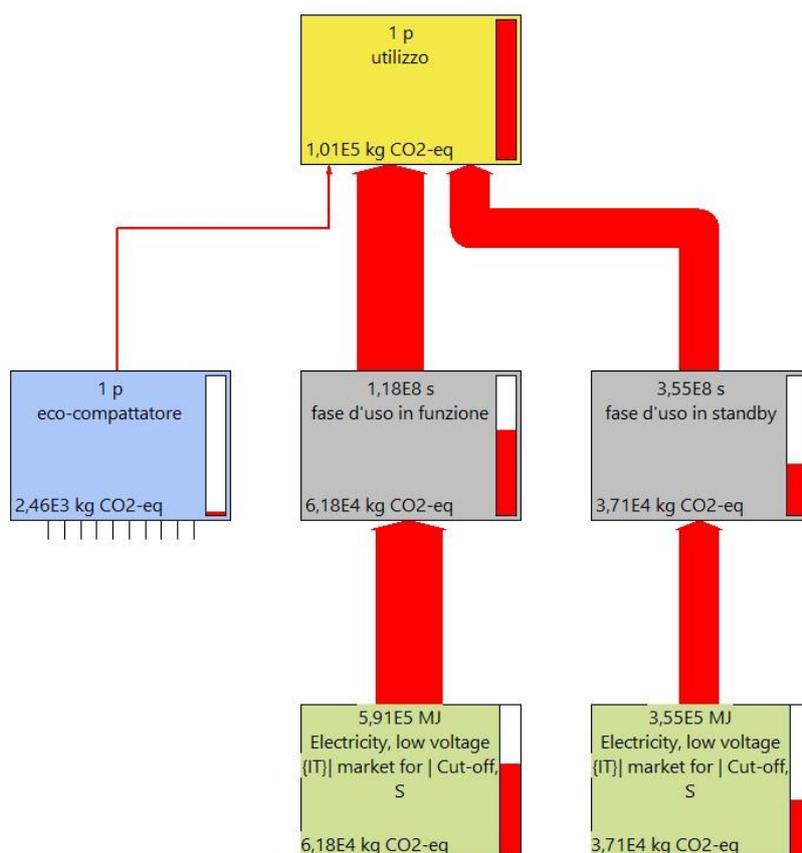


Figura 32 - CED (fase d'uso per 1 kg di plastica)

## 7. MIGLIORAMENTI

Nei capitoli precedenti sono state valutate due fasi dell'eco-compattatore:

- la fase di produzione;
- la fase d'uso.

I miglioramenti possibili per la fase di produzione dell'eco-compattatore sono diversi, ad esempio:

- miglioramento dell'efficienza dei componenti elettronici;
- riduzione dei trasporti dei vari componenti. I fornitori sono per la maggior parte vicini all'azienda produttrice dell'eco-compattatore, quindi, la riduzione dell'impatto dovuto ai trasporti potrebbe essere ottenuta attraverso l'utilizzo di mezzi con maggiori capacità, di modo da ottimizzare tale processo con un numero di chilometri costante rispetto a quello attuale ma normalizzato su un quantitativo maggiore di carico.

Per meglio valutare i risultati ottenuti per la fase di produzione dell'eco-compattatore, precedentemente trattati, si è scelto di sviluppare una tabella riassuntiva (Tabella 56), ricordando che i valori sono stati calcolati rispetto all'unità funzionale, ovvero il chilogrammo di plastica compattato.

	<b>CML-IA</b>	<b>IPCC</b>	<b>CED</b>
	<b>Marine aquatic ecotoxicity</b>		
	categoria d'impatto con il	somma delle	somma delle
	valore maggiore	categorie	categorie
	<b>kg 1,4-DB eq</b>	<b>kg CO2-eq</b>	<b>MJ</b>
<b>PRESSA</b>	6.78	0.0011	0.0149
<b>QUADRO ELETTRICO</b>	4.20	4.89E-04	0.0078
<b>RESTANTI PARTI INTERNE</b>	0.638	1.54E-04	0.0022
<b>PARTI ESTERNE</b>	4.30	9.09E-04	0.0135

*Tabella 56 - Riassunto (fase di produzione)*

Le macroaree in cui l'eco-compattatore è stato suddiviso sono raggruppamenti volti alla semplificazione dello studio, infatti, la differenza tra i valori è da attribuire sia al numero di componenti contenuti all'interno di ciascuna di queste macroaree, sia alla tipologia di questi.

Come è possibile notare, la macroarea denominata pressa risulta avere i valori maggiori, per tutti i metodi utilizzati su SimaPro per calcolare gli impatti ambientali e il consumo

energetico. È lecito pensare, quindi, di effettuare dei miglioramenti per tale macroarea dell'eco-compattatore. Andando ad analizzare la pressa nel dettaglio si ottengono i seguenti risultati (in Tabella 57), precedentemente descritti nel paragrafo 5.2.

	<b>CML-IA</b>	<b>IPCC</b>	<b>CED</b>
	<b>Marine aquatic ecotoxicity</b>		
	categoria d'impatto con il valore maggiore	somma delle categorie	somma delle categorie
	<b>kg 1,4-DB eq</b>	<b>kg CO2-eq</b>	<b>MJ</b>
<b>PARTI COCLEA</b>	0.69	2.29E-04	0.0029
<b>PARTI TAGLIATE</b>	0.31	1.05E-04	0.0014
<b>OMEGA</b>	0.014	3.45E-06	7.66E-05
<b>STELLA</b>	0.003	3.87E-07	5.38E-06
<b>RIDUZIONI</b>	0.23	9.84E-05	0.0018
<b>CONTRAPPESI</b>	0.15	2.08E-05	2.87E-04
<b>MOTORE E RIDUTTORE</b>	5.38	5.96E-04	0.0084

*Tabella 57 – Riassunto (fase di produzione – pressa)*

Come è possibile notare, per tutti i metodi di calcolo utilizzati il valore maggiore risulta essere dovuto al motore e al riduttore.

In conclusione, facendo riferimento a quanto scritto nel capitolo 5.1.1, che tratta della pressa, è possibile notare alcune particolarità che influiscono sui valori dei due componenti:

- questi vengono reperiti da uno dei fornitori più distanti dall'azienda produttrice dell'eco-compattatore;
- questi sono stati semplificati all'interno dello studio, utilizzando il processo presente all'interno del software SimaPro. Tale assunzione potrebbe aver influito sul valore finale. Utilizzare un motore ed un riduttore con un peso inferiore a quello attualmente utilizzato influirebbe positivamente sull'impatto totale, ma attraverso SimaPro non è stato possibile quantificare gli effettivi miglioramenti dovuti a questa proposta di sostituzione.

Infine, è necessario evidenziare che il motore e il riduttore hanno un consumo energetico ed un impatto ambientale maggiore rispetto agli altri componenti presenti all'interno dell'eco-compattatore, ma sono anche degli elementi elettro-meccanici che richiedono lavorazioni e materiali con impatti elevati rispetto alle lavorazioni degli altri componenti della pressa. Questi sono osservabili attraverso la Figura 33.

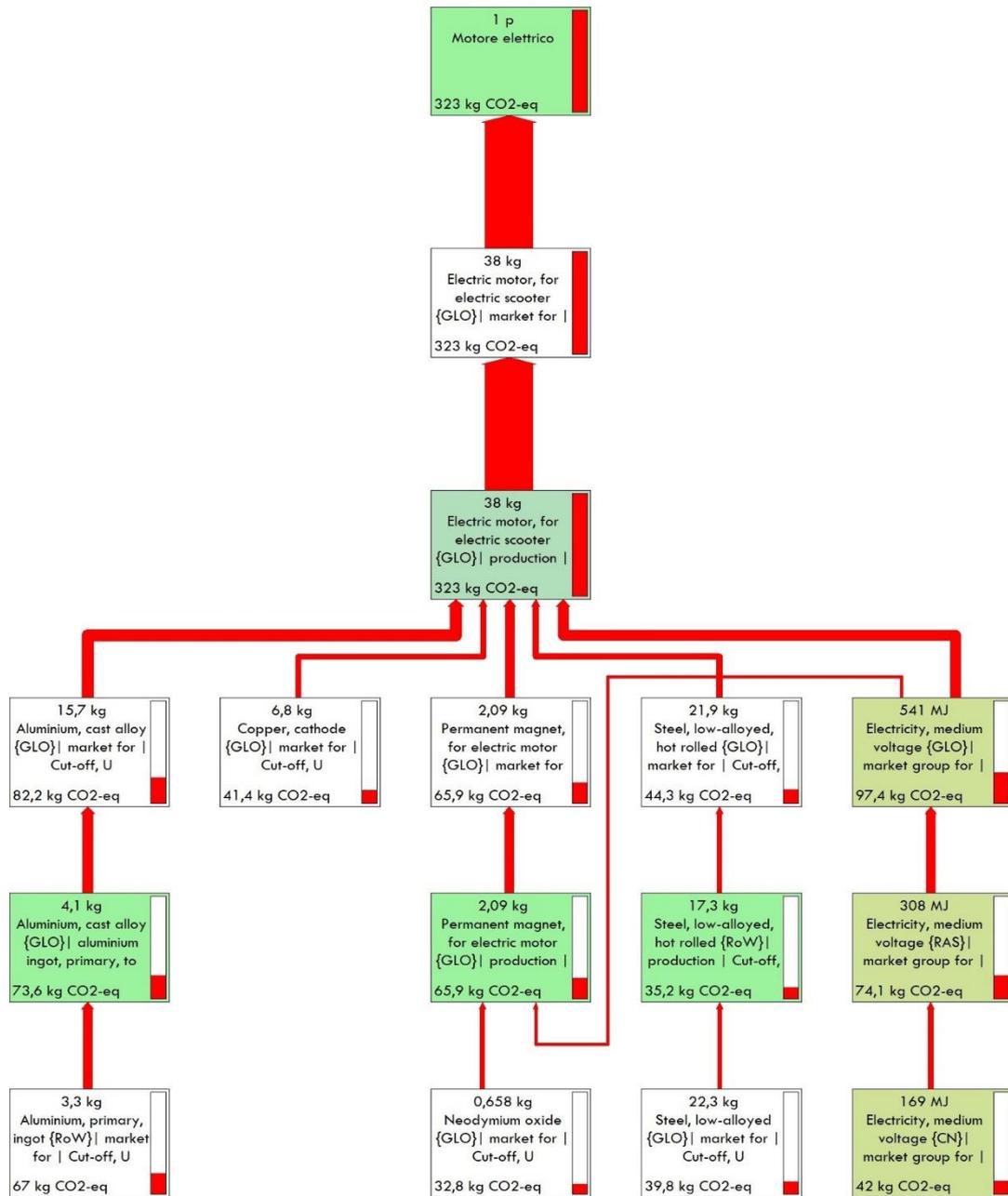


Figura 33 - Motore elettrico

Come si nota, gli impatti principali sono dovuti al consumo energetico che le lavorazioni impiegano per la produzione del macchinario e sono anche dovuti alla produzione della lega di alluminio. Successivamente si nota che un impatto importante è associato al magnete permanente (non presente all'interno del riduttore) ed infine con un impatto molto simile vi sono il rame e l'acciaio che influiscono sul totale seppur in maniera inferiore.

Per quanto riguarda la fase d'uso, questa è costituita da 3 elementi:

- eco-compattatore;
- fase d'uso in funzione;
- fase d'uso in standby.

Per valutare i miglioramenti ottenibili per quanto riguarda questa fase è quindi necessario andare a valutare gli elementi precedentemente elencati. L'eco-compattatore dipende dalla fase di produzione, di cui si è trattato in precedenza. Gli altri due elementi possono, invece, essere migliorati.

Si riassumono i risultati precedentemente ottenuti attraverso la seguente tabella.

	<b>CML-IA</b>	<b>IPCC</b>	<b>CED</b>
	<b>Marine aquatic ecotoxicity</b>		
	categoria d'impatto con il valore maggiore	somma delle categorie	somma delle categorie
	<b>kg 1,4-DB eq</b>	<b>kg CO2-eq</b>	<b>MJ</b>
<b>ECO- COMPATTATORE</b>	15.93	0.003	0.04
<b>FASE D'USO IN FUNZIONE</b>	64.32	0.066	1.44
<b>FASE D'USO IN STANDBY</b>	38.59	0.040	0.86

*Tabella 58 - Riassunto (fase d'uso)*

Come già notato nei paragrafi precedenti, il consumo energetico maggiore e gli impatti maggiori sono dovuti alla fase d'uso in funzione. Per ridurre tali valori sarebbe necessario diminuire il tempo di lavorazione della pressa, per compattare le bottiglie in plastica inserite all'interno del macchinario. Questa modifica, però, implica delle complicazioni dal punto di vista meccanico che non è possibile valutare senza affrontare uno studio apposito.

Inoltre, il valore degli impatti della fase d'uso varia a seconda del mix energetico utilizzato per alimentare l'eco-compattatore, se il mix energetico fosse migliore (meno emissivo) di quello attuale italiano gli impatti della fase d'uso in funzione, ma anche della fase d'uso in standby, diminuirebbero.

## **8. RACCOLTA DIFFERENZIATA TRADIZIONALE E SELETTIVA**

Una volta concluso lo studio LCA della fase di produzione e della fase di utilizzo dell'eco-compattatore, è necessario conoscere i diversi step che costituiscono la raccolta differenziata tradizionale e quella selettiva, per poter svolgere uno studio di confronto tra le due.

Le due differenti tipologie di raccolta differenziata hanno il medesimo obiettivo, ovvero quello di realizzare un'economia circolare per quanto riguarda gli imballaggi in plastica e, quindi, quello di reintrodurre i rifiuti in un nuovo ciclo produttivo oppure, qualora il riciclo non fosse possibile, di smaltirli nel pieno rispetto dell'ambiente. Tali processi permettono di limitare l'uso di estrazioni di materie prime naturali, preservando il pianeta e lasciando nell'ambiente una quantità di rifiuti notevolmente inferiore e, di conseguenza, ridurre il consumo di energia per la produzione di nuovi imballaggi in plastica. [19]

Il ciclo di vita della plastica inizia presso gli impianti produttori, all'interno dei quali gli imballaggi in plastica vengono fabbricati attraverso l'utilizzo di materie prime vergini e di materie prime secondarie (passaggi 1T nella Figura 34 e 1S nella Figura 36).

Una volta che gli imballaggi in plastica vengono utilizzati dai cittadini, essi si trasformano in rifiuti (passaggi 2T nella Figura 34 e 2S nella Figura 36). Il riciclo rappresenta una delle principali opzioni per il trattamento dei rifiuti plastici. Tuttavia, questo può variare a seconda della metodologia di raccolta differenziata adottata.

Oltre al processo di riciclo, altre opzioni di trattamento dei rifiuti plastici includono il recupero energetico, in cui i rifiuti vengono utilizzati come combustibile per la produzione di energia, e lo smaltimento in discarica, che rappresenta una soluzione di ultima istanza e viene preferita solo per i rifiuti non riciclabili o non valorizzabili in altre forme.

### **8.1.1 Raccolta differenziata tradizionale**

Per meglio comprendere i passaggi inclusi all'interno della raccolta differenziata tradizionale, è necessario fare riferimento alla Figura 34, all'interno della quale è

schematizzato il processo di raccolta differenziata tradizionale, con la rappresentazione dei vari passaggi denominati 1T, 2T, 3T, 4T e 5T.

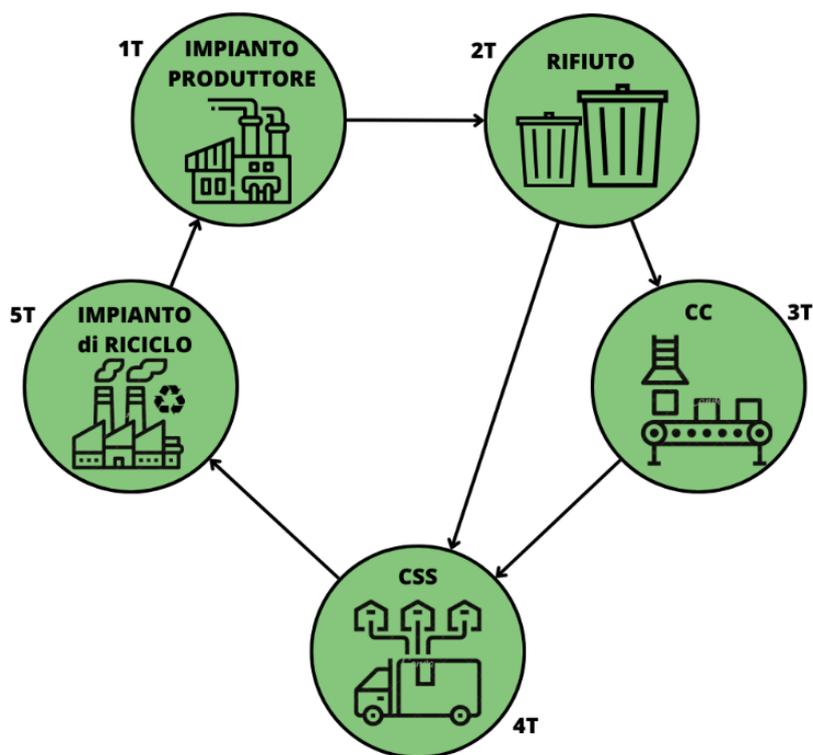


Figura 34 - Raccolta differenziata tradizionale

Nel caso della raccolta differenziata tradizionale, il comune gestisce i rifiuti di imballaggi in plastica ottenuti dalla suddivisione casalinga, dai centri di raccolta, dalla raccolta differenziata stradale per essere trasportata all'interno dei Centri Comprensoriali, anche detti CC, (3T). All'interno di questi impianti vi sono delle piattaforme dedicate alla pressatura ed eventuale preselezione dei materiali provenienti dalla raccolta differenziata, qualora questi non vengano direttamente conferiti a un Centro di Selezione e Stoccaggio (CSS). I rifiuti che vengono trasportati prima nei CC sono gli imballaggi monomateriali che quindi non sono comprendenti altre tipologie di materiali all'interno. [20] L'obiettivo dei CC è di ridurre l'impatto ambientale dei rifiuti, in modo da massimizzare il riciclo e il recupero energetico e ridurre al minimo la quantità di rifiuti destinati alla discarica.

In seguito, all'interno dei CSS (4T), avviene la separazione delle diverse tipologie di plastica mediante l'impiego di tecniche differenti, come la selezione manuale, l'utilizzo di sistemi meccanici o l'impiego di tecnologie ottiche. Questa fase è di fondamentale importanza per ottenere materiali di plastica omogenei che possano essere

successivamente trasformati in nuovi prodotti. Nella maggior parte dei CSS, gli imballaggi in plastica vengono, innanzitutto, separati dalle frazioni estranee conferite per errore dai cittadini e, successivamente, divisa in base alla dimensione attraverso un filtro rotante, grazie al quale i frammenti più piccoli passano dai buchi del filtro, mentre quelli più grandi passano attraverso altri filtri con maglie di dimensione diversa. Si ottengono così delle suddivisioni dei rifiuti in plastica in base alla dimensione e successivamente ciascuno di questi viene analizzato da uno scanner ad infrarossi che riesce a distinguere i diversi tipi di plastica ed a direzionare, con l'utilizzo di getti di aria compressa, la tipologia di plastica sul percorso idoneo.

All'interno del mercato la plastica viene suddivisa in sette differenti tipologie, le quali vengono elencate di seguito:

1. polietilentereftalato (PET) è la plastica più diffusa per la produzione di bottiglie per acqua e bevande, ma ha anche applicazioni nel tessile, per la produzione di fibre sintetiche;
2. polietilene ad alta densità (PE-HD), materiale rigido impiegato per la produzione di contenitori di shampoo, detersivi, olio o per i giocattoli;
3. polivinilcloruro (PVC), usato per gli imballaggi alimentari e anche per le attrezzature sportive;
4. polietilene a bassa densità (PE-LD), materiale flessibile impiegato per bicchieri per bevande calde, per produrre sacchetti e per giocattoli;
5. polipropilene (PP), utilizzato per il confezionamento dei cibi più delicati come i latticini;
6. polistirene o polistirolo (PS) è comune per gli imballaggi, contenitori per alimenti, posate e piatti;
7. altre plastiche non riciclabili che non devono essere gettate nella raccolta della plastica, bensì nella raccolta indifferenziata.



Figura 35 - Tipologie di plastica [21]

I gruppi omogenei di rifiuti di plastica, ottenuti attraverso lo smistamento, devono, infine, essere trasportati agli impianti per la trasformazione in una nuova materia prima (5T). Per effettuare tale movimentazione si impacchettano in grossi cubi le diverse tipologie di plastica per essere trasportati negli impianti di riciclo appositi. Il primo processo che la plastica subisce all'interno degli impianti di riciclo è la pulizia, che permette di eliminare contaminanti come sporco, etichette o residui di altri materiali. Successivamente i rifiuti vengono tritati per ottenere dei fiocchi di plastica e divisi per colore da appositi macchinari. Infine, questi ultimi vengono fusi per ottenere un materiale omogeneo che possa essere modellato, ovvero dei granuli di plastica riciclata.

### 8.1.2 Raccolta differenziata selettiva

Per meglio comprendere i passaggi inclusi all'interno della raccolta differenziata selettiva, è necessario fare riferimento alla Figura 36, all'interno della quale è schematizzato il processo di raccolta differenziata selettiva, con la rappresentazione dei vari passaggi denominati 1S, 2S, 3S e 4S.

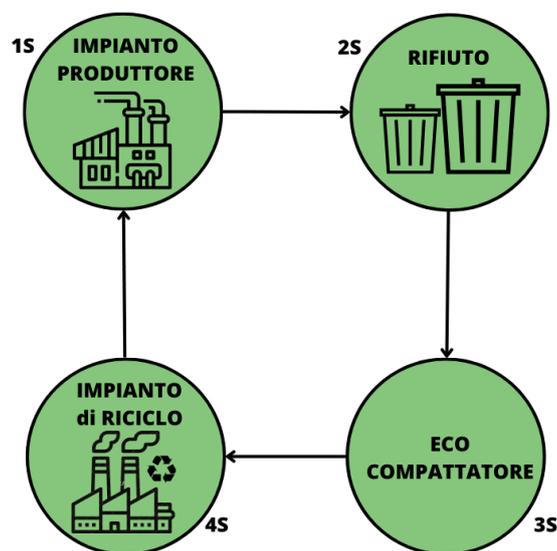


Figura 36 - Raccolta differenziata selettiva

Nel caso in cui i rifiuti vengano smaltiti attraverso la raccolta differenziata selettiva, questi subiscono un numero di step di trattamento inferiore, rispetto al numero di passaggi previsti per la raccolta differenziata tradizionale. In particolare, le bottiglie di plastica in

PET vengono trasportate dal cittadino stesso fino all'eco-compattatore (3S) che, solitamente, si trova presso supermercati, scuole o in luoghi nei quali ci si reca per svolgere ulteriori attività.

Dall'eco-compattatore, quando questo è pieno e viene svuotato, il PET compattato viene portato negli impianti di riciclo (4S) all'interno dei quali i rifiuti subiscono le stesse lavorazioni che sono state descritte per la raccolta differenziata tradizionale, quindi:

- pulizia;
- frantumazione;
- divisione per colore;
- triturazione;
- produzione di pellet.

È necessario specificare che in questo caso si sta trattando, attraverso la raccolta differenziata selettiva, solamente la raccolta degli imballaggi in PET, mentre, per quanto riguarda il resto dei rifiuti di plastica, questi subiscono, comunque, tutti i passaggi previsti nella raccolta differenziata tradizionale.

### 8.1.3 Confronto

Una volta compresi i differenti passaggi presenti nelle due diverse raccolte differenziate, è possibile effettuare un confronto per valutare le potenzialità dell'eco-compattatore. Innanzitutto, si nota che i passaggi 1T, 2T e 1S, 2S (Figura 34 e Figura 36) sono gli stessi, come anche gli ultimi passaggi, 5T e 4S, mentre, invece, quelli che sono compresi tra i primi due passaggi e l'ultimo differiscono.

Quindi, la raccolta differenziata tradizionale prevede due passaggi che non sono presenti nella raccolta differenziata selettiva:

- 3T (Centro Comprensoriale);
- 4T (Centro di Selezione e Stoccaggio).

Studiando il passaggio 3T, in mancanza di dati specifici, è stato ritenuto opportuno ipotizzare che, il consumo energetico e l'impatto ambientale del CC su chilo di plastica da riciclare, siano assimilabili a quelli di un chilo di plastica compattato dall'eco-compattatore. Tale ipotesi è stata considerata plausibile in quanto i consumi e gli impatti del CC sono maggiori di un singolo eco-compattatore, ma questi devono essere normalizzati su un quantitativo di rifiuti trattati maggiore, rispetto a quello compattati dal macchinario in studio.

Per quanto riguarda il passaggio 4T, all'interno del software SimaPro vi è un processo di riciclo, denominato *“Waste polyethylene terephthalate, for recycling, sorted {Europe without Switzerland}”*, che può essere assimilabile ai processi previsti all'interno dei CSS. Questo viene descritto nel database come segue:

*“Una volta che il PET post-consumo è stato raccolto, deve essere separato da altri materiali raccolti e contemporaneamente dalle altre tipologie di plastiche. Sebbene alcune plastiche recuperate siano separate tramite la selezione sul marciapiede e l'uso di contenitori separati nei centri di raccolta, l'operazione di selezione e separazione delle plastiche avviene più comunemente presso gli impianti di recupero dei materiali. Le operazioni di selezione possono variare dalla selezione manuale degli oggetti su un nastro trasportatore a sistemi altamente automatizzati che utilizzano magneti, classificatori ad aria, selezionatori ottici e altre tecnologie per selezionare e separare i materiali misti in ingresso. Le plastiche post-consumo possono essere separate e compattate come plastiche miste, oppure l'impianto può avere la capacità di selezionare ulteriormente per ottenere balle di resine individuali.”*

Tale processo si trova all'interno della libreria Ecoinvent, ma utilizza un metodo di allocazione differente rispetto a quello utilizzato fino ad adesso per lo svolgimento dello studio. Il metodo di allocazione in questione è denominato APOS (Avoided Production of Substitute), che si basa sulla premessa che il prodotto oggetto dello studio meriti un credito ambientale per l'impatto evitato, poiché l'utilizzo di tale prodotto ha impedito la produzione di un sostituto con un maggiore impatto ambientale. Il processo di allocazione APOS inizia con l'identificazione del prodotto sostituito e il calcolo delle emissioni evitate derivanti dalla sua produzione. Queste emissioni evitate vengono quindi allocate come credito al prodotto oggetto dello studio, riducendo così il suo impatto complessivo nel contesto dell'analisi del ciclo di vita.

Calcolando il consumo di energia e l'impatto ambientale per 1 kg di PET, attraverso l'implementazione sul software del processo di cui si è trattato fino ad ora, si ottengono i valori elencati all'interno della Tabella 59, della Tabella 60 e della Tabella 61.

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>Per 1 kg di PET</b>
Abiotic depletion	kg Sb eq	1.85E-06
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	3.57E+00
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	2.97E-01
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	2.37E-08
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	6.14E-01
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2.40E+00
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.20E+04
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	9.13E-04
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	6.97E-05
Acidification	kg SO2 eq	8.56E-04
Eutrophication	kg PO4--- eq	5.85E-04

*Tabella 59 - CML-IA (waste PET)*

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>Per 1 kg di PET</b>
GWP100 - fossil	kg CO2-eq	0.0673
GWP100 - biogenic	kg CO2-eq	0.0325
GWP100 - land transformation	kg CO2-eq	0.0001

*Tabella 60 - IPCC (waste PET)*

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>Per 1 kg di PET</b>
Non-renewable, fossil	MJ	0.4546
Non-renewable, nuclear	MJ	0.0919
Non-renewable, biomass	MJ	0.0001
Renewable, biomass	MJ	0.0199
Renewable, wind, solar, geother	MJ	0.0156
Renewable, water	MJ	0.0304

*Tabella 61 - CED (waste PET)*

A seguito dell'ipotesi precedentemente descritta, riguardante i passaggi 3T e 3S, i consumi e gli impatti di questi si elidono nel confronto tra le due raccolte differenziate, poiché aventi lo stesso valore.

Prima di ottenere come risultato che i contenuti nella Tabella 59, nella Tabella 60 e nella Tabella 61 rappresentino i consumi energetici e gli impatti ambientali che si eviterebbero se si utilizzassero gli eco-compattatori per il riciclo degli imballaggi in PET, è necessario valutare l'impatto del trasporto all'interno delle due raccolte differenziate.

Per quanto riguarda la raccolta differenziata tradizionale i trasporti che vengono effettuati nei passaggi che non sono comuni, tra le due raccolte differenziate trattate, sono:

- da 2T (rifiuto) a 3T (CC);
- da 3T (CC) a 4T (CSS);

- da 4T (CSS) a 5T (impianto di riciclo).

Invece, nel caso della raccolta differenziata selettiva i trasporti che vanno considerati sono:

- da 2S (rifiuto) a 3S (eco-compattatore);
- da 3S (eco-compattatore) a 4S (impianto di riciclo).

Il consumo e l'impatto del trasporto da 2S (rifiuto) a 3S (eco-compattatore), per la raccolta differenziata selettiva, è da considerarsi nullo, in quanto tale movimentazione viene effettuata dai cittadini che la svolgono a seguito di altre necessità. Infatti, come precedentemente descritto, gli eco-compattatori si trovano presso scuole, centri commerciali e supermercati, nei quali gli utenti si recano per svolgere ulteriori attività e non semplicemente per gettare gli imballaggi in PET.

Il secondo trasporto, quello da 3S (eco-compattatore) a 4S (impianto di riciclo), ha, invece, un consumo ed un impatto che non è trascurabile. Gli eco-compattatori sono distribuiti sul territorio italiano e, inoltre, hanno una capienza limitata. L'eco-compattatore viene svuotato una volta pieno e tale accadimento non è generalmente cadenzato in maniera fissa, il che comporta che il trasporto dei rifiuti compattati avvenga in momenti differenti per ogni eco-compattatore.

Poiché i dati necessari a valutare il consumo e l'impatto di tale spostamento non sono noti, si è deciso di considerarli pari ai trasporti elencati precedentemente per la raccolta differenziata. Tale ipotesi è plausibile in quanto i trasporti effettuati per svolgere la raccolta differenziata avvengono con camion carichi, quindi il loro impatto deve essere normalizzato su un quantitativo maggiore di rifiuti rispetto a quello trasportato per gli eco-compattatori. Inoltre, i CC e CSS sono meno distribuiti sul territorio rispetto agli eco-compattatori e questo implica un numero di chilometri inferiore da percorrere.

A seguito del confronto è stato ritenuto opportuno valutare il risparmio totale ottenibile attraverso l'uso dell'eco-compattatore noti i dati della raccolta differenziata in Italia ottenuti dalla *“Relazione sulla gestione del 2022”* redatta da Corepla. [22]

	<b>t</b>	
rifiuti di imballaggi in plastica totali		1907368
rifiuti di imballaggi in plastica avviati a riciclo		1052481
rifiuti di imballaggi in plastica avviati a riciclo da raccolta differenziata		692684
di cui PET		148066
che passano prima da CC (rifiuto pressato)	69.1%	102327
che vanno direttamente a CSS (rifiuto sfuso)	30.9%	45736

*Tabella 62 - Relazione sulla gestione del 2022*

Di seguito, nella Tabella 63, viene calcolato l'impatto ambientale ed il consumo di energia totali che si potrebbero evitare se si utilizzassero gli eco-compattatori per il riciclo del PET. Per ottenere tali risultati si è utilizzata la seguente formula:

$$\text{categoria d'impatto}_{\text{per 1 kg di PET}} * PET_{\text{riciclato (2022)}}$$

noto che:

- $PET_{\text{riciclato (2022)}}$  è il quantitativo di PET avviato a riciclo nel 2022 (specificato nella Tabella 62) ed è pari a 148066 t.

	<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>Per 1 kg di PET</b>	<b>TOTALE</b>
<b>CML-IA</b>	Abiotic depletion	kg Sb eq	1.85E-06	2.75E+02
	Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	3.57	5.28E+08
	Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	0.30	4.40E+07
	Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	2.37E-08	3.51E+00
	Human toxicity	kg 1,4-DB eq	0.61	9.10E+07
	Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2.40	3.56E+08
	Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.20E+04	1.78E+12
	Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	9.13E-04	1.35E+05
	Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	6.97E-05	1.03E+04
	Acidification	kg SO2 eq	8.56E-04	1.27E+05
	Eutrophication	kg PO4--- eq	5.85E-04	8.66E+04
		<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>Per 1 kg di PET</b>
<b>IPCC</b>	GWP100 - fossil	kg CO2-eq	0.0673	9.97E+06
	GWP100 - biogenic	kg CO2-eq	0.0325	4.81E+06
	GWP100 - land transformation	kg CO2-eq	0.0001	1.59E+04

	<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>Per 1 kg di PET</b>	<b>TOTALE</b>
<b>CED</b>	Non-renewable, fossil	MJ	0.455	6.73E+07
	Non-renewable, nuclear	MJ	0.092	1.36E+07
	Non-renewable, biomass	MJ	0.000	1.59E+04
	Renewable, biomass	MJ	0.020	2.95E+06
	Renewable, wind, solar, geothermal	MJ	0.016	2.32E+06
	Renewable, water	MJ	0.030	4.50E+06

Tabella 63 - Impatto e consumo evitati

Analizzando quanto ottenuto nel paragrafo, è possibile ottenere la seguente tabella riassuntiva, la quale permette di mettere in maggiore risalto il confronto tra le due tipologie di raccolta differenziata studiate.

<b>CML-IA</b>			
<b>Marine aquatic ecotoxicity</b>		<b>su kg di PET</b>	
categoria d'impatto con il valore maggiore			
<b>raccolta differenziata tradizionale</b>		<b>raccolta differenziata selettiva</b>	
<b>1T</b>	stesso processo	<b>1S</b>	stesso processo
<b>2T</b>	stesso processo	<b>2S</b>	stesso processo
<b>3T</b>	impatto/kg di plastica uguale	<b>3S</b>	impatto/kg di plastica uguale
<b>4T</b>	<b>12007.54</b>	<b>kg 1,4-DB eq</b>	-
<b>5T</b>	stesso processo	<b>4S</b>	stesso processo

<b>IPCC</b>			
<b>GWP100 (totale)</b>		<b>su kg di PET</b>	
somma delle categorie d'impatto			
<b>raccolta differenziata tradizionale</b>		<b>raccolta differenziata selettiva</b>	
<b>1T</b>	stesso processo	<b>1S</b>	stesso processo
<b>2T</b>	stesso processo	<b>2S</b>	stesso processo
<b>3T</b>	impatto/kg di plastica uguale	<b>3S</b>	impatto/kg di plastica uguale
<b>4T</b>	<b>0.10</b>	<b>kg CO2-eq</b>	-
<b>5T</b>	stesso processo	<b>4S</b>	stesso processo

<b>CED (totale)</b>		<b>su kg di PET</b>	
somma delle categorie d'impatto			
<b>raccolta differenziata tradizionale</b>		<b>raccolta differenziata selettiva</b>	
<b>1T</b>	stesso processo	<b>1S</b>	stesso processo
<b>2T</b>	stesso processo	<b>2S</b>	stesso processo
<b>3T</b>	impatto/kg di plastica uguale	<b>3S</b>	impatto/kg di plastica uguale
<b>4T</b>	<b>0.61</b>	<b>MJ</b>	-
<b>5T</b>	stesso processo	<b>4S</b>	stesso processo

Tabella 64 - Riassunto risultati (su kg di PET)

Quindi, attraverso la Tabella 64 si nota il risparmio secondo l'unità funzionale utilizzata per il caso studio.

Nella Tabella 65 sono stati calcolati i risparmi annuali se si sfruttasse la raccolta differenziata selettiva.

$$\text{categoria d'impatto}_{\text{per 1 kg di PET}} * PET_{\text{riciclato}} (2022)$$

noto che:

- $PET_{\text{riciclato}} (2022)$  è il quantitativo di PET avviato a riciclo nel 2022 (specificato nella Tabella 62) ed è pari a 148066 t.

<b>CML-IA (marine aquatic ecotoxicity)</b>		
categoria d'impatto con il valore maggiore		
<b>4T</b>	1.78E+12	kg 1,4-DB eq

<b>IPCC - GWP 100 (totale)</b>		
somma delle categorie		
<b>4T</b>	1.48E+07	kg CO2-eq

<b>CED (totale)</b>		
somma delle categorie		
<b>4T</b>	9.07E+07	MJ

Tabella 65 - Riassunto risultati (all'anno)

## 9. CONCLUSIONI

La raccolta differenziata selettiva degli imballaggi in PET rappresenta un approccio più avanzato e vantaggioso rispetto alla raccolta differenziata tradizionale. Questo metodo specifico di gestione dei rifiuti offre una serie di benefici ambientali, economici e sociali che ne giustificano l'adozione e la promozione.

Lo smaltimento degli imballaggi in PET può rappresentare una sfida significativa per l'ambiente, in quanto, questo materiale, se non gestito correttamente, può persistere nell'ambiente per lunghi periodi di tempo e contribuire all'inquinamento dei mari, all'accumulo di rifiuti e all'esaurimento delle risorse naturali.

La raccolta differenziata selettiva degli imballaggi in PET mira a mitigare questi impatti negativi, fornendo un metodo specifico e mirato per la gestione e il riciclo di questi materiali. Può essere ottenuta mediante l'utilizzo di un eco-compattatore che fa uso di dispositivi elettronici per la selezione del corretto materiale da smaltire.

È, infatti, corretto ricordare che la raccolta differenziata selettiva promuove la riduzione degli sprechi in quanto l'eco-compattatore permette di ottenere un materiale più puro e privo di contaminanti, consentendo così di ridurre la percentuale di rifiuto scartato, ovvero riducendo il quantitativo di rifiuti inviati in discarica. Ciò è coerente con quanto richiesto dalla Decisione UE 2019/665 [23] che stabilisce un obiettivo a livello europeo per il recupero di materiali. Secondo questa direttiva, l'obiettivo è quello di raggiungere un tasso di recupero di materiali (tutti i materiali, non solo riguarda gli imballaggi in plastica) del 70% entro il 2025. Ciò significa che almeno il 70% dei rifiuti prodotti deve essere recuperato e destinato a riciclo, compostaggio o recupero energetico, riducendo così la quantità di rifiuti inviati in discarica, il tutto a favore di un'economia circolare, che attraverso il riciclo degli imballaggi in PET, evita l'utilizzo di materie prime vergine per produrre nuovi imballaggi in plastica, riducendo, così, l'estrazione di risorse naturali, l'energia richiesta e le emissioni di gas serra associate alla loro produzione.

Il presente studio ha fornito evidenze riguardo ai vantaggi derivanti dall'utilizzo dell'eco-compattatore. Sono stati calcolati i potenziali risparmi, per quanto riguarda il consumo energetico questo risulta essere pari a 0.61 MJ/kg e 0.10 kg CO<sub>2</sub> eq/kg per quanto riguarda l'impatto ambientale, conseguenti all'implementazione della metodologia di raccolta differenziata, attraverso l'utilizzo della raccolta differenziata selettiva per gli imballaggi in PET avviati a riciclo in Italia. Ciò ha permesso di valutare l'opportunità di estendere

l'uso di tale metodologia anche ad altre tipologie di rifiuti in plastica e alle altre categorie di rifiuti.

All'interno di questo studio i trasporti, che vengono effettuati tra i vari step nelle due raccolte differenziate, sono stati ipotizzati con assunzioni cautelative. Per aumentare l'accuratezza dello studio risulterebbe utile valutare con più precisione l'influenza di questi all'interno delle due tipologie di raccolte differenziate studiate.

Inoltre, si potrebbe valutare il consumo energetico e l'impatto ambientale dovuto all'intera raccolta differenziata, andando a studiare anche gli altri passaggi presenti (ad esempio l'impianto di produzione o l'impianto di riciclo) di modo da valutare il consumo e l'impatto dell'intero ciclo degli imballaggi in PET. Ciò permetterebbe di conoscere con precisione quale tra i vari passaggi abbia l'impatto maggiore e di valutare ulteriori soluzioni migliorative per ridurre il consumo energetico e l'impatto ambientale per la raccolta differenziata.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Commissione Europea (Bruxelles, 2020). *Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare. Per un Europa più pulita e più competitiva.*
- [2] Commissione Europea (Bruxelles, 2020). *DIRETTIVA (UE) 2019/904 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 5 giugno 2019 sulla riduzione dell'incidenza di determinati prodotti di plastica sull'ambiente.*
- [3] Perra R. (2018). *La gestione dei rifiuti in Italia: la storia.*  
<https://rifiutologia.it/la-gestione-dei-rifiuti-italia/>
- [4] Fergnani S. (2018). *Raccolta differenziata: storia di una pratica che ha cambiato l'Italia.*  
<https://www.habitante.it/habitare/living-e-tendenze/raccolta-differenziata-storia-di-una-pratica-che-ha-cambiato-litalia/>
- [5] Pluskal J., Šomplák R., Szásziová L., Suja J. & Pavlas M. (2022). *Post-consumer plastic sorting infrastructure improvements planning: Scenario-based modeling of greenhouse gas savings with sustainable costs.* Journal of Environmental Management, Volume 325, Part A, 116567
- [6] Cantillo T., Notaro S. & Bonini N. (2023). *Assessing Italian household preferences for waste sorting systems: The role of environmental awareness, socioeconomic characteristics, and local contexts.* Journal of Waste Management, Volume 163, Pages 22-33
- [7] Gadaleta G., De Gisi S. & Binetti S. (2020). *Outlining a comprehensive techno-economic approach to evaluate the performance of an advanced sorting plant for plastic waste recovery.* Journal of Process Safety and Environmental Protection, Volume 143, Pages 248-261
- [8] *Economici circolare* (2023). *Life Cycle Thinking, disponibile in [www.economicicircolare.com](http://www.economicicircolare.com)*
- [9] Istituto superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). *LCA*
- [10] Apulianws. *La metodologia Life Cycle Assessment. L'analisi del ciclo di vita.*  
<https://www.apulianws.it/la-metodologia-life-cycle-assessment/>
- [11] R. Gerboni, Life Cycle Assessment (2021-2022). Slide del corso di *Valutazione di impatto ambientale e LCA*, Politecnico di Torino
- [12] Ripet srl (2023). *Il nostro Business.*  
<https://www.Ripet.it/chi-siamo/>

- [13] Giorgi S., Lavagna M. e Campioli A. (2017). *Procedure di allocazione nella metodologia LCA e tendenze settoriali verso un'economia circolare*. Conference proceeding Rete Italiana LCA conference "Resource efficiency e Sustainable Development Goals: il ruolo del Life Cycle Thinking".
- [14] Dodd N., Donatello S. & Cordella M. (2021). *Indicatore Level(s) 1.2: potenziale di riscaldamento globale (GWP) del ciclo di vita - manuale utente: nota introduttiva, istruzioni e orientamenti (versione 1.1)*.  
<https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2023-02/1.2.ENV-2020-00029-02-01-IT-TRA-00.pdf>
- [15] PRé Sustainability (2022). *SimaPro database manual. Methods library*.  
<https://simapro.com/wp-content/uploads/2022/07/DatabaseManualMethods.pdf>
- [16] Led-hallenbeleuchtung.com. *Lux per illuminazione capannoni industriali*.  
<https://led-hallenbeleuchtung.com/it/welche-lampen-wuerden-sie-nutzen-um-grosse-industriehalle-zu-beleuchten/#:~:text=La%20norma%20per%20i%20capannoni,altezza%20di%204%2C5%20metri.>
- [17] Plafoniera Philips WT065C LED44S/840 PSU L1800  
[https://www.lighting.philips.com/main/prof/indoor-luminaires/waterproof-and-cleanroom/waterproof-luminaires/ledinaire-waterproof-wt065c/911401825681\\_EU/product](https://www.lighting.philips.com/main/prof/indoor-luminaires/waterproof-and-cleanroom/waterproof-luminaires/ledinaire-waterproof-wt065c/911401825681_EU/product)
- [18] Chimica-Online.it. *Peso di una bottiglia d'acqua da 1.5 l*.  
<https://www.chimica-online.it/come-quando-perche/quanto-pesa-una-bottiglia-di-acqua-da%201-5-litri.htm#:~:text=Se%20con%20il%20%22peso%20di,litri%20pesa%20mediamente%2040%20grammi.>
- [19] Amiat Gruppo Iren. *Destino frazioni raccolte*.  
<https://www.amiat.it/ciclo-integrato-dei-rifiuti/destino-frazioni-raccolte>
- [20] Corepla (2022). *Rapporto di sostenibilità 2021*.
- [21] Moffa A. (2020). *C'è plastica e plastica*.  
<https://www.sogeam.it/i-diversi-tipi-di-plastica/>
- [22] Corepla (2023). *Relazione sulla gestione del 2022*.  
[https://www.corepla.it/sites/default/files/documenti/corepla\\_relazione\\_sulla\\_gestione\\_2022\\_.pdf](https://www.corepla.it/sites/default/files/documenti/corepla_relazione_sulla_gestione_2022_.pdf)
- [23] Gazzetta ufficiale della Commissione Europea (2019). *Decisione di esecuzione (UE) 2019/665 della Commissione*.