



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE  
MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

---

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

**La strategia di riuso per la rivalutazione degli  
scarti di processo.**

**Il caso studio MARLIC**

**The reuse strategy to valorise process waste.  
MARLIC case study**

Relatore:

**Prof. Michele Germani**

Correlatore:

**Ing. Marta Rossi**

Candidato:

**Greta Antonicelli**

Anno accademico 2019/2020



# INDICE

CAPITOLO 1.....	6
INTRODUZIONE .....	6
CAPITOLO 2.....	8
ECONOMIA CIRCOLARE.....	8
CAPITOLO 3.....	17
ECODESIGN .....	17
3.1 LA METODOLOGIA LCA: LIFE CYCLE ASSESSMENT .....	23
3.1.1 Definizione dell’obiettivo e campo di applicazione .....	25
3.1.2 Analisi di inventario (LCI).....	26
3.1.3 Valutazione dell’impatto del ciclo vita (LCIA) .....	27
3.1.4 Interpretazione dei risultati.....	28
3.2 END OF LIFE .....	29
NORMATIVE .....	31
DESIGN FOR REUSE.....	33
DESIGN FOR REMANUFACTURING .....	34
DESIGN FOR RECYCLING .....	35
INCENERIMENTO E DISCARICA.....	36
CAPITOLO 4.....	38
METODOLOGIA .....	38
CAPITOLO 5.....	40
CASO STUDIO .....	40
5.1 SimaPro .....	41

5.2 PROGETTO MARLIC.....	45
5.3 LE AZIENDE E I MATERIALI COMPOSITI.....	47
5.3.1 DELTA.....	47
5.3.2 ELANTAS.....	48
5.3.3 ETA BLADES .....	49
5.3.4 SIMEG.....	50
5.4 ANALISI DI INVENTARIO “AS-IS” SCARTI.....	51
5.4.1 ANALISI LCI – DELTA.....	52
5.4.2 ANALISI LCI – ELANTAS .....	54
5.4.3 ANALISI LCI – ETA BLADES .....	57
5.4.4 ANALISI LCI – SIMEG.....	63
5.5 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI.....	68
5.5.1 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI – DELTA.....	69
5.5.2 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI – ELANTAS .....	75
5.5.3 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI – ETA BLADES .....	84
5.5.4 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI – SIMEG.....	93
CAPITOLO 6.....	102
ANALISI LCA “AS-IS” MACINACAFFÈ .....	102
6.1 NUOVA SIMONELLI.....	102
6.2 ANALISI LCI MACINACAFFÈ.....	103
6.3 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI .....	108
CAPITOLO 7.....	130
CARATTERIZZAZIONE DEGLI SCARTI .....	130
7.1 CARATTERIZZAZIONE DEGLI SCARTI – DELTA.....	130
7.2 CARATTERIZZAZIONE DEGLI SCARTI – ELANTAS .....	131
7.3 CARATTERIZZAZIONE DEGLI SCARTI – ETA BLADES .....	132

7.4 CARATTERIZZAZIONE DEGLI SCARTI – SIMEG.....	133
7.5 CONSIDERAZIONI SULLA CARATTERIZZAZIONE.....	134
CAPITOLO 8.....	138
CRITICITÀ.....	138
8.1 CRITICITÀ DELTA.....	138
8.2 CRITICITÀ ELANTAS.....	139
8.3 CRITICITÀ ETA BLADES.....	149
8.4 CRITICITÀ SIMEG.....	152
CAPITOLO 9.....	153
CONCLUSIONI.....	153
BIBLIOGRAFIA.....	157

# CAPITOLO 1

## INTRODUZIONE

La seguente tesi si incentra sullo studio di nuove strategie di economia circolare in ambito regionale soffermandosi sull'utile simbiosi industriale tra le aziende del territorio marchigiano all'interno del progetto Marlic. L'obiettivo è quello di avvalersi di un flusso di risorse che parta dagli scarti prodotti da alcune imprese del partenariato (Delta, Elantas, Eta Blades e Simeg) e si concluda con il riuso di tali rifiuti. Attraverso ciò sarà possibile ottenere materie prime seconde per la produzione di componenti di un macinacaffè Mythos VA75 GRAVIMENTRICO realizzato da Nuova Simonelli.

Dopo aver esposto le principali definizioni e caratteristiche dell'economia circolare e dell'ecodesign, si propone la metodologia alla base del caso studio e le fasi necessarie a sfruttare le potenzialità della ricerca. A questo fine si realizza un'analisi di impatto ambientale basata sulle normative UNI EN ISO 14040 e UNI EN ISO 14044 per identificare all'interno della filiera del progetto Marlic le tipologie di scarti più impattanti a livello ambientale. In tal modo è possibile identificare quelli che potrebbero essere i maggiori benefici ambientali legati all'implementazione di strategie di economia circolare o di design for De o Re-manufacturing e le criticità in relazione ai diversi contesti aziendali. Nella seconda parte si realizza un'analisi di impatto ambientale per ricercare l'impatto associato ai componenti del macinacaffè, in modo da quantificare quali siano quelli più impattanti.

Infine si prosegue con la caratterizzazione degli scarti identificando le caratteristiche fisiche e verificando le potenzialità di riuso in funzione dei pezzi dei macinini maggiormente impattanti con l'obiettivo di capire come poter riutilizzare gli scarti delle aziende come materie prime per la produzione di parti che provocano un danno maggiore. In questo modo sarà possibile strutturare

metodologie di progettazione, a monte della progettazione del prodotto stesso, con lo scopo di ottenere dei prodotti finali più riciclabili o disassemblabili, che abbiano un minor impatto nel fine vita.

# CAPITOLO 2

## ECONOMIA CIRCOLARE

L'utilizzo incontrollato delle risorse del pianeta Terra sta avendo effetti negativi sulla società, sul clima e sull'ambiente; ogni anno l' Earth Overshoot Day arriva sempre prima. Si tratta del giorno in cui l'umanità consuma interamente le risorse rinnovabili prodotte dal pianeta nell'intero anno, da quel momento in poi verranno impiegate risorse che la Terra non è in grado di rigenerare. Questa data viene calcolata dalla Global Footprint Network, un'organizzazione di ricerca internazionale, considerando nell'anno il rapporto tra la quantità di risorse ecologiche che la Terra è in grado di rigenerare, detta biocapacità del pianeta e la richiesta dell'umanità nello stesso anno, ovvero l'impronta ecologica. Nel 2020 l' Earth Overshoot Day (fig. 2.1) è caduto qualche giorno più tardi rispetto al 2019, ma questo è dovuto solo alla riduzione dei trasporti, delle attività e delle produzioni delle grandi industrie per la pandemia da COVID-19 [1].

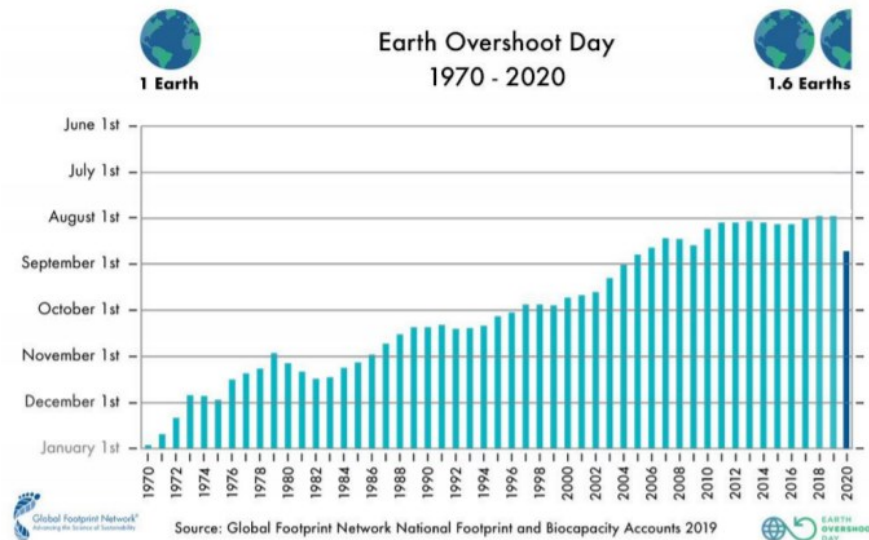


Figura 2.1 Earth Overshoot Day

Si stima infatti che se non si attuano politiche di cambiamento dell'attuale modello produttivo, entro il 2050 verranno consumate risorse pari a quelle



prodotte da tre pianeti, con conseguente aumento dei consumi di combustibili fossili, di biomasse, metalli e minerali fino al 70%<sup>1</sup>. La transizione verso un'economia circolare sia in termini di produzione che di consumo è un elemento imprescindibile affinché si possa adottare un modello di sviluppo sostenibile.

La consapevolezza sui temi ambientali ed economici inizia a crescere a partire dalla metà degli anni '70 del secolo scorso, in concomitanza con la crisi energetica e petrolifera che colpisce tutto il mondo. Fino a quegli anni lo sviluppo e la crescita economica erano basati su un modello di tipo lineare (fig. 2.2), fondato sullo sfruttamento delle risorse naturali, senza tener conto delle conseguenze negative che questo impiego sconosciuto avrebbe avuto sul clima e sugli ecosistemi. Il processo produttivo era del tipo “*Take-make-use-dispose*”, ovvero iniziava con l'estrazione delle materie prime che venivano poi trasformate in prodotti successivamente consumati e, raggiunto il fine vita, smaltiti in discarica. L'approccio basato sull'impiego di risorse prime sempre nuove, unito alla crescita demografica e quindi all'aumento della richiesta, avrebbe presto portato a un degrado ambientale.



Figura 2.2 Schema dell'economia lineare

Nel 1972 si gettano le basi per lo studio sulla sostenibilità ambientale grazie a una ricerca di un gruppo di scienziati del Massachusetts Institute of Technology (MIT) commissionata dal Club di Roma. Lo scopo è quello di analizzare le risorse disponibili esistenti sul pianeta e valutare un insieme di possibili scenari, considerando delle variabili critiche quali la popolazione,

---

<sup>1</sup> COM(2020) 98 final.

la produzione di cibo, l'industrializzazione, l'inquinamento e il consumo di risorse naturali non rinnovabili. I risultati di tale studio vengono trascritti nel rapporto "The Limits to Growth", all'interno del quale si evidenzia l'aumento esponenziale nel tempo delle variabili descritte, con una conseguente riduzione della disponibilità delle risorse ambientali (fig. 2.3). Per la prima volta viene introdotto il concetto di "overshoot"<sup>2</sup>. Alla fine di questa ricerca si raggiungono conclusioni importanti. Nel caso in cui non siano attuate politiche di sviluppo sostenibile ci sarà un picco della produzione industriale con successiva depressione, un picco relativo alla quantità di cibo e servizi annessi ed infine un picco della popolazione con conseguente decadenza.

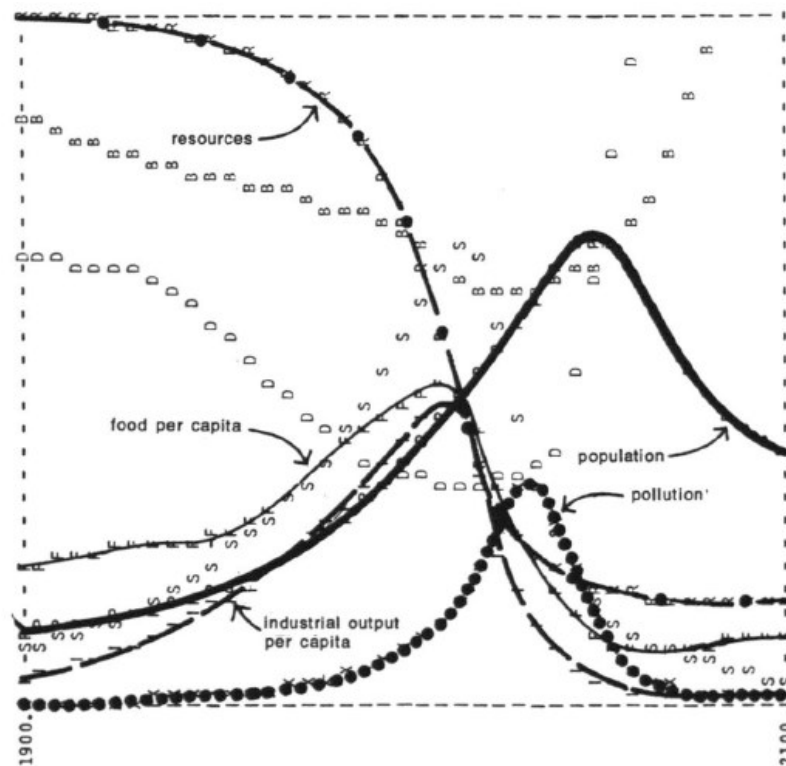


Figura 2.3 Scenario "standard" world model run. Immagine tratta da The Limits to Growth, 1972

Tutto ciò porterebbe quindi a un incontrollabile declino della popolazione e della produzione industriale andando ad incrementare le disegualianze

<sup>2</sup> Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jørgen Randers, William W. Behrens III, *The Limits to Growth*, 1972; p124-125

socioeconomiche e la propagazione di conflitti, epidemie e malattie. Per evitare che si realizzi tale previsione è necessario agire nell'immediato in modo da stabilizzare questa tendenza di decrescita. L'obiettivo da perseguire risulta quindi essere quello di sostituire il modello economico basato sulla crescita illimitata con un modello di stabilità economica ed ecologica [2].

Nello stesso anno, a Stoccolma, si svolge la prima conferenza delle Nazioni Unite sulla protezione dell'ambiente naturale, da cui ne deriva la Dichiarazione di Stoccolma costituita da 26 principi fondamentali. In generale, l'obiettivo è quello di incentivare tutte le nazioni a migliorare la qualità della vita senza che vi siano ritorsioni su quella delle generazioni future, nella consapevolezza dell'esauribilità delle risorse. Per questo motivo è necessario che tutti i partecipanti si accordino per realizzare un piano a tutela dell'ambiente [3]. Successivamente, nel 1987, l'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU) istituisce la World Commission on Environment and Development (WCED) ovvero una Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo. La stessa Commissione si occupa della pubblicazione del rapporto "Our Common Future" anche noto come Rapporto Brundtland, in cui lo sviluppo sostenibile viene definito come *"lo sviluppo che è in grado di soddisfare i bisogni della generazione presente, senza compromettere la possibilità che le generazioni future riescano a soddisfare i propri"* e ancora *"lo sviluppo sostenibile, lungi dall'essere una definitiva condizione di armonia, è piuttosto processo di cambiamento tale per cui lo sfruttamento delle risorse, la direzione degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico e i cambiamenti istituzionali siano resi coerenti con i bisogni futuri oltre che con gli attuali"*. L'obiettivo è quello di predisporre un'agenda globale per il cambiamento, compatibile sia per le grandi potenze industriali sia per i paesi in via di sviluppo, attraverso un modello di sviluppo disponibile [4]. Nel 1992 in una seconda conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente e lo sviluppo a Rio de Janeiro si redige un documento costituito da 27 principi; oltre a riaffermare i concetti precedentemente espressi, si sottolinea l'importanza di una coalizione internazionale degli stati membri per porre al centro la salute umana e il diritto ad una vita sana e produttiva, in armonia con la natura, con un occhio alle

generazioni future. Dato lo squilibrio socioeconomico degli Stati è anche rilevante valutare politiche ambientali che non vadano ad intaccare i paesi sottosviluppati, che riducano le disparità e che consentano una crescita economica e uno sviluppo sostenibile per tutti, attraverso un sistema di cooperazione internazionale, garantendo anche il coinvolgimento dei giovani e delle donne [5]. A distanza di 20 anni si svolge a Rio de Janeiro la Conferenza delle Nazioni unite sullo Sviluppo Sostenibile, anche detta Rio+20, in cui si rinnova l'impegno politico per lo sviluppo ambientale, si analizzano i progressi compiuti e le lacune relative agli obiettivi preposti che non sono stati realizzati; infine, si pongono le basi a nuove sfide. Nella stessa Conferenza vengono trattati anche due temi di rilevante importanza: la "*green economy*" e l'"*institutional framework*", quest'ultimo riguarda un quadro istituzionale per lo sviluppo sostenibile che coinvolge tutte le istituzioni. È necessario attuare riforme e incentivi per tutelare le risorse ambientali, introducendo meccanismi di mercato che garantiscano la creazione di nuove occupazioni e investimenti per il sistema produttivo; in questo modo si attua una sinergia tra l'aspetto economico e quello sociale e ambientale, mirando anche a ridurre la povertà nei Paesi in via di sviluppo. In generale, gli obiettivi principali da conseguire, sul modello di economia verde, attuabili con misure economiche, legislative, tecnologiche e di educazione, possono essere così elencati:

- riduzione del consumo di energia e di risorse naturali;
- abbattimento delle emissioni di gas serra;
- riduzione dell'inquinamento;
- riduzione dei rifiuti fino all'azzeramento degli stessi;
- promozione di modelli di produzione e consumo sostenibili.

Il fulcro della "*green economy*" quindi è quello di ripensare a un modello produttivo in cui le risorse naturali vengano reinvestite e non sfruttate. Dai temi trattati durante la conferenza è stato redatto un documento "The Future We Want" che pone le basi dei principi dell'Agenda 2030 [6].

A livello europeo, i primi passi verso una sostenibilità ambientale sono fatti nel 1972 durante il Consiglio Europeo di Parigi; in continuità con le affermazioni

della prima Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente di Stoccolma, è richiesto un programma d'azione fondato su una politica di consapevolezza ambientale, senza tralasciare la crescita economica. Qualche anno più tardi, nel 1987, viene redatto l'Atto Unico Europeo con obiettivi ben precisi: la salvaguardia della qualità dell'ambiente, la protezione della salute umana e l'utilizzo razionale delle risorse naturali [7]. L'ultimo tassello in ottica di circolarità e sostenibilità è posto con la stesura dell'Agenda 2030, un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità, sottoscritto nel settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU (fig. 2.4). Sconfiggere la fame, sostenere la lotta contro il cambiamento climatico, garantire salute, benessere, istruzione di qualità e parità di genere, assicurare energia pulita e accessibile e permettere la crescita economica con modelli di consumo e produzione responsabili, sono alcuni dei 17 obiettivi da perseguire entro il 2030 [8].



Figura 2.4 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile

La Ellen MacArthur Foundation, un ente di rilevante importanza a livello internazionale nell'ambito di circolarità e sostenibilità che è stato tra i primi ad approcciarsi a questa nuova scuola di pensiero, definisce l'economia circolare come *"un termine generico per definire un'economia pensata per potersi rigenerare da sola. In un'economia circolare i flussi di materiali sono di due*

*tipi: quelli biologici, in grado di essere reintegrati nella biosfera, e quelli tecnici, destinati ad essere rivalorizzati senza entrare nella biosfera”<sup>3</sup>.*

L'economia circolare costituisce quindi un'opportunità per cui gli scarti diventano risorse ad alto valore aggiunto (fig. 2.5); il loro riciclo e riuso mira a una riduzione di utilizzo di materie prime e della loro estrazione e importazione, con un conseguente abbattimento delle emissioni di gas a effetto serra e della perdita di biodiversità, tutte caratteristiche necessarie per ottenere la neutralità climatica entro il 2050<sup>4</sup>, nuovo obiettivo della Commissione europea. Un nuovo sistema di produzione può consentire la realizzazione di tecnologie innovative e l'incremento di posti di lavoro, la collaborazione tra industrie per cui i rifiuti di una potrebbero diventare risorse per un'altra; ciò comporterebbe anche la riqualificazione di spazi prima dedicati allo smaltimento in discarica [9].

Il raggiungimento di questi obiettivi, però, necessita di meccanismi che si discostino completamente dal vecchio modello di economia lineare; non vi è più un approccio “cradle to grave” (dalla culla alla tomba), ma si investe su processi che consentano di operare avvicinandosi a un modello “cradle to cradle” (dalla culla alla culla).

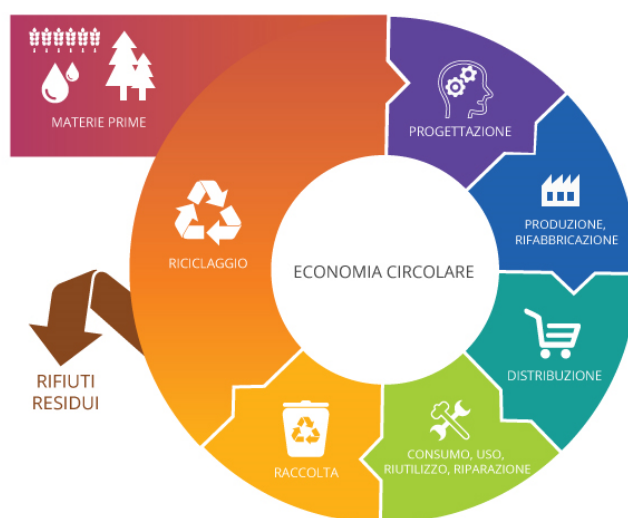


Figura 2.5 Schema dell'economia circolare

<sup>3</sup> <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept>

<sup>4</sup> COM(2018) 773 final

La strategia da portare avanti è quella di promuovere un approvvigionamento sostenibile delle materie prime ed estendere lo sviluppo dei mercati delle materie prime seconde, ampliare una progettazione ecologica e infine rendere i processi e i modelli di distribuzione e consumo più sostenibili.

Nascono dei veri e propri nuovi modelli di fare l'impresa. Per fare ciò è necessario favorire l'aumento di sistemi più efficienti di rigenerazione, riuso e riparazione dei beni, facilitando la manutenzione dei prodotti e permettendo una maggiore estensione della loro vita utile, ma anche incentivare la vendita dei beni come servizi e lo sviluppo di piattaforme di condivisione in grado di limitare le risorse impiegate, riducendo i costi e garantendo un uso efficiente che permette di ridurre l'impatto ambientale e aumentare l'interazione sociale. L'economia circolare lavora nell'ottica *Life Cycle Thinking* (LCT), ovvero la progettazione deve essere consapevole. Le ripercussioni che l'impatto di un dato prodotto o un servizio avrà sull'ambiente e sull'economia sono misurate sin dalle fasi di ideazione dello stesso e riguardano l'intero ciclo vita attraverso determinate metodologie standardizzate e strumenti capaci di calcolare analiticamente parametri mirati a valutare i danni. In questo contesto si parla di *ecodesign*; si devono analizzare le materie prime che verranno utilizzate, prediligendo quelle sostenibili e riciclabili, l'uso, la durata e infine lo smaltimento, che dovrà garantire una produzione minima di rifiuti in discarica. I prodotti devono durare a lungo ed essere rigenerati o riparati facilmente; in queste condizioni si riduce al minimo l'impatto sull'ecosistema. Uno degli obiettivi posti nel Piano d'azione dell'Unione Europea per l'economia circolare del 2015 [10] infatti è quello di estendere la progettazione ecocompatibile, principalmente incentrata sull'efficienza energetica, anche agli aspetti legati alla riparabilità, la durabilità, e la possibilità di rigenerazione dei prodotti, specialmente in ambito elettronico.

Un modo per ridurre i danni all'ambiente inoltre può essere anche lo sviluppo della bio-economia, un sistema in grado di mettere insieme i settori che operano con risorse biologiche e quelli che le utilizzano per le lavorazioni. L'obiettivo è quello di preservare tali risorse, garantendo la loro rinnovabilità e preservando la fertilità dei suoli riducendone lo sfruttamento. In questo modo

è possibile integrare anche i rifiuti organici provenienti dalle attività di agricoltura, silvicoltura, acquacoltura e pesca nei modelli di economia circolare. Le alghe possono essere utilizzate per la produzione di bioetanolo, attraverso sottoprodotti industriali si possono ottenere dei fertilizzanti a base di biomassa e a partire dai rifiuti si possono produrre mobili e capi di abbigliamento. Tale sinergia, da una parte incentiva l'utilizzo di risorse rinnovabili, dall'altra permette di ottenere una valorizzazione degli scarti organici. Attraverso questo approccio si riducono la dipendenza dalle risorse non rinnovabili e le pressioni ambientali grazie alla minore produzione di rifiuti e di emissioni di gas serra; una fonte energetica alternativa e sostenibile ai combustibili fossili è proprio la biomassa. La reintroduzione nel terreno di materia organica sotto forma di compost ottenuto dal trattamento dei rifiuti organici, ad esempio, consente di aumentare i livelli di carbonio organico nei terreni; questo componente grazie alle sue proprietà è in grado di aumentare la stabilità delle particelle del terreno, riducendo il pericolo di erosione e migliorando la fertilità.

L'approccio all'economia circolare però deve rendere partecipe anche il consumatore, il quale deve essere consapevole. La scelta di prodotti e servizi di qualità migliore a un ridotto impatto ambientale, anche se potenzialmente a costo maggiore, permette di ottenere una maggiore durabilità nel tempo. Se dal lato della produzione la transizione ha fatto già grandi passi in avanti, dal lato del fruitore è necessario attuare dei piani che promuovono l'educazione alla circolarità. Le opportunità che questo modello può offrire sono molteplici: la trasparenza del trattamento dei prodotti, data dalle maggiori informazioni relative ai processi produttivi e dalla tracciabilità, riduce anche operazioni illecite sia in fase di produzione che di smaltimento, la diminuzione dell'importazione di materie prime dall'estero permette un abbattimento dei costi e la nascita di nuove figure professionali garantisce opportunità occupazionali per i giovani.

In conclusione l'economia circolare deve fornire prodotti di alta qualità, funzionali, che durino a lungo, ma soprattutto non eccessivamente costosi, in modo che tutti ne possano beneficiare [11].



# CAPITOLO 3

## ECODESIGN

Nel passato la produzione industriale si basava su una progettazione che non prendeva in considerazione l'impatto ambientale. Oggi non è più possibile adottare questo modello, ma è necessario, fin dalle fasi di progettazione, accogliere una proposta che sia ecocompatibile. Oltre l'80% dell'impatto ambientale di un prodotto è determinato in fase di progettazione; quest'ultima quindi necessita di una nuova direzione in modo da ridurre i danni all'ecosistema. Attraverso strategie di ecodesign è possibile valutare in maniera preventiva l'impatto ambientale ed economico associato all'intero ciclo di vita delle risorse impiegate, con la possibilità di confrontare più scenari e scegliere quello più efficiente.

La Direttiva 2009/125/CE del Parlamento europeo e del Consiglio [12] pone le basi ad una progettazione di prodotti connessi all'energia, attraverso delle specifiche normative, aventi come scopo quello di migliorare le prestazioni ambientali. I metodi e gli strumenti collegati a una progettazione ecocompatibile sono destinati ai prodotti connessi all'energia, ovvero *“qualsiasi bene che abbia un impatto sul consumo energetico durante l'utilizzo, che viene immesso sul mercato e/o messo in servizio e che comprende le parti destinate a essere incorporate in un prodotto connesso all'energia contemplato dalla presente direttiva, immesse sul mercato e/o messe in servizio come parti a sé stanti per gli utilizzatori finali, e le cui prestazioni ambientali possono essere valutate in maniera indipendente”*. In questo modo oltre a considerare i prodotti “energy-using”, che consumano direttamente energia, entrano nell'ambito della progettazione ecocompatibile anche gli “energy-related products”, quei prodotti che non usano direttamente energia, ma sono importanti affinché vi sia un minor consumo (infissi termoisolanti, dispositivi che permettono il risparmio di acqua ed elettricità,...).

L'ecodesign è definito come l'integrazione degli aspetti ambientali all'interno della progettazione dell'intero ciclo di vita dei prodotti con lo scopo di migliorare la sicurezza in ambito energetico e ridurre le emissioni di gas a effetto serra (fig. 3.1).

Tutto parte dal processo di ideazione di un prodotto o servizio; alla base, è opportuno utilizzare materiali provenienti da fonti rinnovabili, riciclati e riciclabili o biodegradabili in sostituzione a quelli di difficile riuso in modo tale che possano essere riadoperati in nuovi cicli economici. Si riducono gli scarti da smaltire mediante tecniche ormai obsolete come la discarica e si sviluppa il commercio di materie prime seconde.

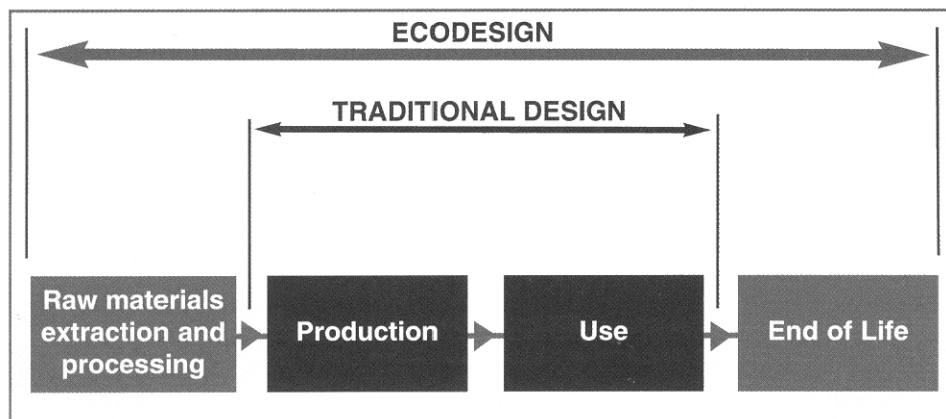


Figura 3.1 Differenza tra ecodesign e progettazione tradizionale

I processi produttivi devono tenere in considerazione l'uso efficiente delle risorse sostenendo l'ideologia di produrre solo quello che si può riciclare e operare anche attraverso modelli di simbiosi industriale.

Il coinvolgimento di industrie che lavorano in contesti diversi fra loro attraverso lo scambio di materia, sottoprodotti, servizi energetici, ma anche informazioni è un modo per promuovere un nuovo modello di sviluppo economico, ambientale e sociale; l'espansione di piattaforme digitali pertanto permette la condivisione di idee e una partecipazione attiva di tutti, a partire dall'individuo fino agli enti pubblici e alle imprese. Grazie a questa collaborazione è possibile migliorare le prestazioni a vantaggio della collettività.

Allontanandosi dai principi di economia lineare, la durabilità del prodotto è un elemento imprescindibile nella fattibilità di processo; per garantire ciò deve

essere assicurata una modularità e disassemblabilità del prodotto stesso. In caso di malfunzionamento o obsolescenza di alcune parti, bisogna offrire la possibilità di una facile sostituzione.

La qualità del riciclo deve essere pensata fin dall'inizio attraverso lo studio dei materiali; nel caso di sostanze pericolose, laddove non vi è un'alternativa al loro utilizzo, è opportuno garantire una gestione e recupero, evitando che si vadano ad alterare gli equilibri dell'ecosistema con il loro smaltimento (fig. 3.2).

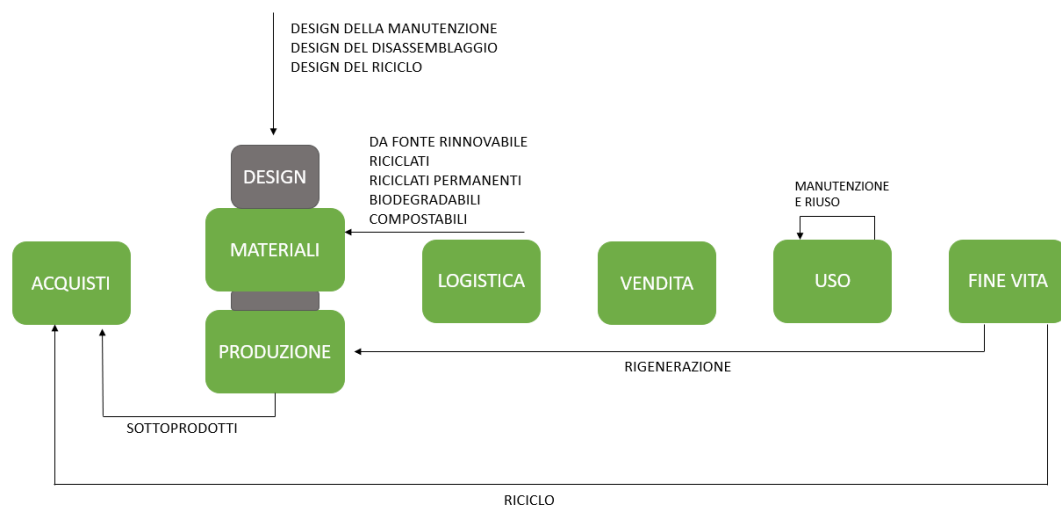


Figura 3.2 Il processo di design per lo sviluppo di prodotti circolari

Per promuovere una produzione sostenibile e avvicinare il consumatore a una maggiore consapevolezza in questo ambito, si adotta l'etichettatura energetica dei prodotti connessi all'energia. Ne deriva, oltre ad un contributo nel risparmio energetico, la riduzione degli importi delle fatture [11].

Grazie al regolamento (UE) 2017/1369 del Parlamento europeo e del Consiglio [13] vengono imposte norme chiare, precise ed uniformi da adottare tra gli Stati membri. Questo comporta la riduzione dei costi di produzione, la parità di condizioni e la libera circolazione delle merci nel mercato interno. Il coinvolgimento del cliente, attraverso la scelta informata, porta miglioramenti all'economia dell'Unione europea, riduce la domanda energetica, contribuisce all'innovazione e agli investimenti e consente vantaggi in termini di concorrenza alle industrie coinvolte in questo processo di miglioramento.

I prodotti immessi sul mercato dell'Unione per la prima volta sono sottoposti a questa regolamentazione, non vi è obbligo per i prodotti immessi per una seconda o successiva volta.

A livello europeo, si definisce Ecolabel EU il marchio di qualità ecologica attraverso cui si garantiscono le elevate prestazioni dei prodotti o servizi con il vantaggio di un basso impatto ambientale. La certificazione può essere ottenuta su base volontaria solo dopo aver superato dei criteri selettivi imposti da un ente indipendente. La valutazione viene fatta su base scientifica secondo un approccio LCA (Lyfe Cycle Assessment), ovvero considerando l'intero ciclo vita del prodotto o del servizio, valutando la vita utile media, la funzionalità e le opportunità che riserva nel fine vita in termini di riuso e riciclo, ma anche analizzando la composizione degli imballaggi. Si valutano inoltre altri aspetti ambientali come l'uso dell'energia, dell'acqua e delle sostanze chimiche. L'Ecolabel permette da una parte, al consumatore, di operare una scelta cosciente prediligendo tra un'ampia gamma di prodotti quelli che maggiormente rispettano l'ambiente e che garantiscono una maggiore durabilità, dall'altra, ai produttori, importatori, fornitori, di ottenere una visibilità sul mercato in termini di sostenibilità ambientale. In questo modo, puntando sulla chiarezza, sull'onesta e sulla maggiore possibilità aumenta la fidelizzazione tra le aziende che sostengono un approccio sostenibile e i consumatori.

Un altro strumento che può aiutare il mercato verde è il *Green Public Procurement* (GPP); esso mette insieme delle direttive, obblighi e leggi che la Pubblica Amministrazione deve rispettare nelle fasi di acquisto di un processo o prodotto (fig. 3.3). Lo sviluppo del GPP, oltre a contribuire alla riduzione dei danni all'ecosistema, permette anche di garantire un risparmio nella spesa pubblica nel lungo periodo, attraverso studi di Life Cycle Costing (LCC). Il metodo LCC riguarda la valutazione dei costi di un prodotto o servizio considerando tutte le risorse impiegate per lo sviluppo, il loro uso e lo smaltimento; inoltre permette la promozione di imprese innovative sotto il profilo ambientale anche migliorando la competitività [11].

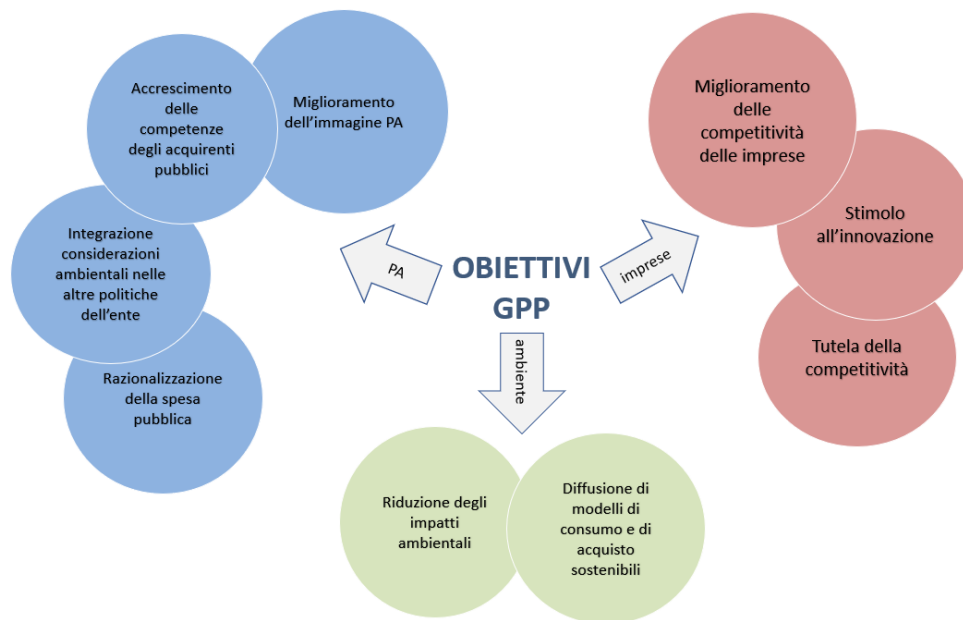


Figura 3.3 Obiettivi Green Public Procurement

L'Ecolabel UE o i criteri per gli appalti pubblici verdi dell'UE hanno tutte le carte in regola per garantire la promozione di un mercato sostenibile, tuttavia, fondandosi su piani a base volontaria, la loro espansione è ancora in crescita. L'immissione di prodotti o servizi certificati, che rispettino precisi criteri e che possano garantire un futuro migliore alle generazioni future, pertanto, dovrebbe essere regolamentato con misure più rigide e restrittive. Bisogna disciplinare precisi aspetti affinché si possa continuare su questa linea. Il primo aspetto, come ripetuto più volte, è la durabilità e la riutilizzabilità, a seguire la riduzione, laddove possibile, di materie chimiche pericolose (non sempre è possibile eliminare queste sostanze in quanto sono necessarie per determinati componenti), l'aumento di contenuto riciclato nei prodotti e la possibilità, a loro volta, di essere riciclabili, senza ridurre le prestazioni e la sicurezza, la diminuzione di prodotti monouso e l'introduzione del divieto di distruggere i beni durevoli non venduti. Dal lato delle iniziative che possono essere accolte vi è lo sviluppo del principio della vendita del "bene come servizio" e l'implementazione della digitalizzazione delle informazioni e delle etichette ecologiche in tutte le attività che permettono questo sviluppo sostenibile.

La definizione di scenari e alternative per un determinato servizio o prodotto deve passare attraverso la scelta di driver di progettazione (il tempo, il costo, il marketing, la sicurezza, la sostenibilità ambientale, la qualità, le prestazioni, ecc...) orientati al ciclo vita. Dato che vi è una difficoltà intrinseca nella scelta, a causa dell'importanza e del peso che questi hanno nella progettazione, è opportuno lavorare seguendo delle fasi ben precise operando nell'ottica dell'ottimizzazione:

1. suddivisione del problema in sotto problemi più circoscritti;
2. analisi del prodotto o processo mediante software;
3. individuazione delle criticità;
4. identificazione e confronto tra le alternative (ipotesi di soluzioni alternative);
5. valutazione del nuovo prodotto o processo.

Nella prospettiva di uno sviluppo di un prodotto che rispetti le condizioni di ecosostenibilità, si fa riferimento alle normative europee precedentemente descritte e a metodi e strumenti che permettano di svolgere l'analisi di impatto ambientale considerando tutte le fasi di vita del prodotto o servizio. Esistono molti strumenti, alcuni sono estremamente semplici e qualitativi, altri più complessi e quantitativi; la scelta tra i due ricade in relazione al contesto di progettazione e sviluppo, ma nel caso in cui erroneamente ne venga selezionato uno piuttosto che un altro, si può invalidare l'efficacia dello strumento stesso.

Tra i metodi di tipo qualitativo, uno molto valido risulta essere l'*Ecodesign checklist method*; questo permette di seguire delle linee guida per lo sviluppo di un prodotto attraverso determinate domande a cui il progettista deve rispondere. Tra le indicazioni vi è la possibilità ad esempio di un eventuale riduzione del peso, in accordo con valutazioni di tipo strutturale, che andrebbe a ridurre sia costi che l'impatto ambientale, l'opportunità, nella distribuzione, di scegliere dei trasporti adeguati o di sfruttare al massimo il volume del vano cargo, la diminuzione del consumo energetico, sia per la produzione che per il prodotto ed infine considerazioni sullo smaltimento del prodotto.

L'analisi di tipo quantitativo viene fatta secondo l'approccio LCA che riguarda la stima dell'impatto ambientale di un processo o prodotto attraverso il calcolo di specifici indicatori i quali stimano le emissioni in aria, acqua e nel terreno che incidono sulla qualità della vita delle persone [14].

### 3.1 LA METODOLOGIA LCA: LIFE CYCLE ASSESSMENT

Per sviluppare prodotti, processi o servizi che abbiano un basso impatto ambientale nell'ottica dell'ecodesign, l'analisi del ciclo di vita LCA è strutturata in modo da garantire un risultato critico e oggettivo (fig.3.4). L'LCA, conforme alla norma UNI EN ISO 14040:2006 [15], è una metodologia standardizzata in grado di valutare i carichi ambientali di un prodotto, processo o attività umana. Essa prende in considerazione l'intero ciclo di vita di un prodotto, inteso come bene o servizio, il potenziale impatto ambientale (l'uso e il consumo delle risorse ambientali impiegate per l'estrazione, il trattamento e la lavorazione delle materie prime e le conseguenze ambientali dovute alla produzione), il trasporto, l'uso, il riuso e la manutenzione fino al riciclo o un'eventuale collocazione finale dopo l'uso.



Figura 3.4 Schema LCA

In questo modo è possibile confrontare in maniera oggettiva prodotti simili ed eventualmente individuare delle opportunità per ridurre i danni. Nonostante

tale analisi possa essere compiuta in qualsiasi fase del ciclo vita, è preferibile in termini di utilità effettuarla in fase di progettazione, in maniera da rilevare eventuali criticità prima che si passi alla realizzazione del progetto stesso. Grazie all'integrità dei risultati, l'analisi LCA può essere di sostegno per scoprire se un prodotto ha capacità di miglioramento nelle diverse fasi della vita in termini di performance ambientale. In questo modo coloro che hanno potere decisionale come le organizzazioni governative e non, gli enti e le aziende, saranno informati e di conseguenza potranno prendere decisioni consapevoli per una nuova progettazione o, qualora necessario, potranno ridefinire obiettivi. Inoltre sarà possibile selezionare rilevanti indicatori di performance ambientali con misurazioni tecniche ed infine sviluppare operazioni di marketing, come nel caso delle etichette ambientali. Quello che ne consegue è una vera e propria pianificazione strategica.

Le fasi per uno studio LCA sono principalmente quattro (fig. 3.5) e, come descrive la NORMA UNI EN ISO 14040:2006, possono essere così elencate:

1. definizione dell'obiettivo e campo di applicazione;
2. analisi di inventario (LCI);
3. valutazione dell'impatto del ciclo vita (LCIA);
4. interpretazione dei risultati.

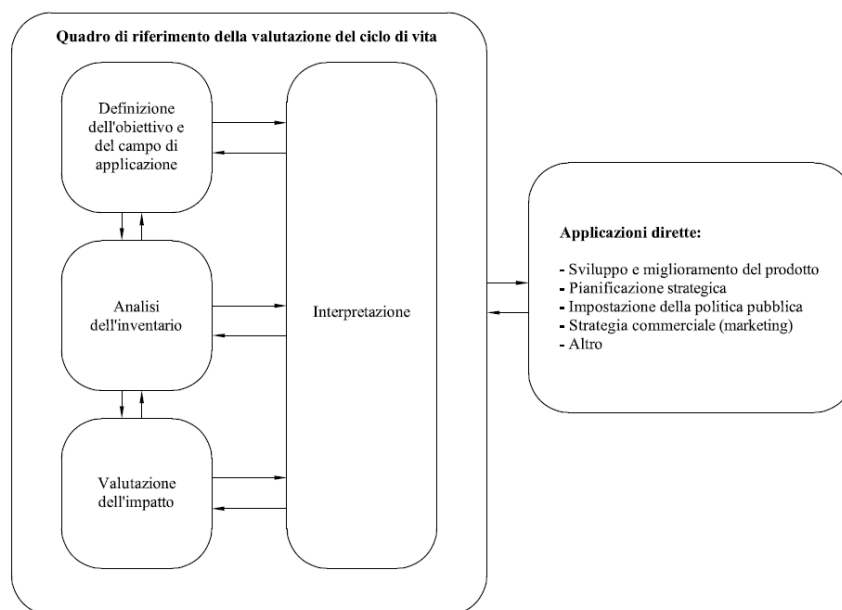


Figura 3.5 Quadro di riferimento della valutazione del ciclo di vita



### 3.1.1 Definizione dell'obiettivo e campo di applicazione

All'interno dell'obiettivo, che deve essere chiaro fin dal principio, rientrano le motivazioni per cui effettuare uno studio di questo tipo, come la valutazione del danno a un particolare ecosistema o la stima delle emissioni di CO<sub>2</sub> che il prodotto produce durante il suo ciclo di vita e i miglioramenti che si auspicano attuando modifiche o semplicemente valutando l'impatto ambientale. È necessario anche dichiarare a quale tipo di pubblico l'analisi è destinata e il campo di applicazione.

L'oggetto di studio, protagonista dell'analisi, viene identificato con l'unità funzionale; può essere un prodotto, un'attività umana o un processo produttivo. L'unità funzionale assume una rilevante importanza soprattutto quando si vuole effettuare un confronto tra prodotti diversi che abbiano lo stesso scopo; per avere dei risultati obiettivi essa deve essere accompagnata da un'unità di misura e presentarsi come una funzione, definita da un verbo. Considerando che un sistema di prodotto è costituito da una serie di sistemi unitari, i quali sono collegati tra loro da dei flussi in ingresso e in uscita, l'unità funzionale fornisce un riferimento per mettere in relazione tali flussi; ciò è necessario per garantire la comparabilità dei risultati dell'LCA, che può risultare critica quando si valutano sistemi diversi.

Nelle prime fasi di analisi, per descrivere il sistema, si genera un vero e proprio diagramma di flusso in cui sono segnalati i processi unitari e le loro interazioni; per ogni processo unitario si effettua una breve descrizione per stabilire l'inizio di tale processo, la natura delle trasformazioni e le operazioni e la fine del processo unitario, intesa come destinazione dei prodotti intermedi o finali. A questo punto è necessario scegliere quali flussi comprendere per l'analisi e per fare ciò si utilizzano dei criteri di esclusione basati sulla massa, sull'energia e sulla rilevanza ambientale.

Ciò che determina l'affidabilità dei risultati in un'analisi LCA è il campo di applicazione; esso include diversi aspetti: il confine del sistema, le categorie di impatto ambientale da valutare, la metodologia di valutazione, la qualità dei dati, le limitazioni del metodo e le ipotesi iniziali. Il confine di sistema definisce i processi unitari da includere nel sistema; considerando la complessità dei

casi che vengono sottoposti a questi studi spesso è possibile che la scelta iniziale di un determinato confine di sistema possa essere cambiata in corso e ridefinita.

### 3.1.2 Analisi di inventario (LCI)

L'analisi di inventario consiste in una raccolta dati in grado di descrivere quantitativamente i flussi di materiali ed energia in ingresso e in uscita del sistema e in una realizzazione di un processo di calcolo. Per scegliere gli elementi di ingresso significativi per ogni processo da studiare si fa riferimento ai materiali sulla base di dati raccolti da siti specifici o da fonti pubblicate. Successivamente si raccolgono i dati relativi ai flussi di energia, che devono essere trattati come tutte le altre entità in ingresso e in uscita dell'analisi LCA e che devono essere inerenti alla produzione e distribuzione di energia di tutti i processi analizzati all'interno del modello. I dati selezionati per l'analisi dipendono dall'obiettivo e dal campo di applicazione e possono essere scelti tra valori misurati, calcolati o stimati. Data la complessità della procedura, nel caso di presenza di criticità o difficoltà in merito alla raccolta dati, queste dovrebbero essere menzionate nel rapporto finale dello studio. È importante inoltre sottostare a dei requisiti per validare la qualità dei dati e per rispettare gli obiettivi e il campo di applicazione; tra questi vi sono la copertura temporale, ovvero il periodo cui i dati si riferiscono, la copertura geografica, la copertura tecnologica, la precisione, la completezza e la coerenza (fig. 3.6). Uno dei database di raccolta dati più importante è Ecoinvent.

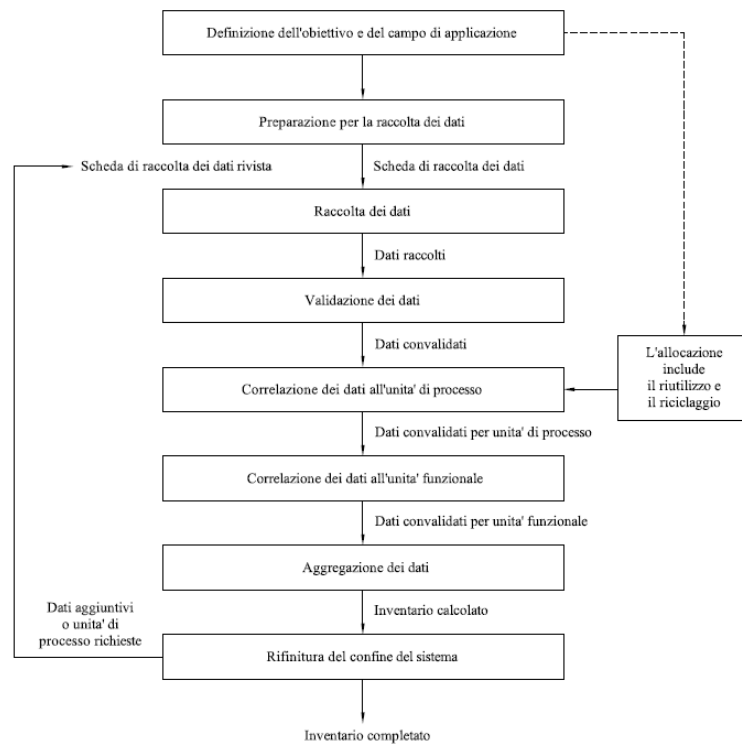


Figura 3.6 Procedure semplificate per l'analisi di inventario

### 3.1.3 Valutazione dell'impatto del ciclo vita (LCIA)

Secondo quanto scritto nella norma UNI EN ISO 14044:2006 [16] lo scopo dell'LCIA è quello di *“fornire informazioni aggiuntive per contribuire a valutare i risultati LCI del sistema di prodotti in modo da giungere a una migliore comprensione del loro significato ambientale”*. Per ottenere dei risultati critici e oggettivi la valutazione LCIA viene spesso effettuata grazie a software di calcolo, come ad esempio SimaPro o GaBi, che permettono una modellazione dei risultati del calcolo dell'analisi LCA e, oltre a fornire una caratterizzazione, consentono una normalizzazione in grandezze o parametri facilmente comprensibili ed utilizzabili (Eco-punti o Eco-indicatori). Il metodo Ecoindicator-99 ad esempio si basa sulla valutazione di tre tipi di danni ambientali: *Human Health* (la salute umana), *Ecosystem Quality* (la qualità dell'ecosistema) e *Resources* (lo sfruttamento delle risorse), ciascuno con una propria unità di misura.

Una volta ottenuti i valori, per rendere omogenei i danni in modo da ricavare un parametro univoco del danno ambientale, si fa la normalizzazione. Dato che ogni categoria di danno ha un peso diverso rispetto all'altra, per omogeneizzare i risultati si va a calcolare il valore del danno pesato  $W$  moltiplicando il valore del danno normalizzato  $N$  per il peso associato ad ogni categoria di danno  $P$  ( $W = N \cdot P$ ); in questo modo sarà possibile valutare quanto è grande il danno causato dal processo in esame [17].

#### 3.1.4 Interpretazione dei risultati

Attraverso i risultati ottenuti dall'analisi LCA si traggono le conclusioni dello studio, in questo modo è possibile individuare i danni che il prodotto, processo o servizio analizzato ha sull'ambiente. Mediante una valutazione concreta è possibile tradurre ciò che prima era nel campo delle ipotesi di miglioramento in raccomandazioni, al fine di ridurre l'impatto causato. L'interpretazione dei risultati può essere coadiuvata mediante l'utilizzo di dati numerici o grafici con lo scopo di migliorarne la comprensione anche verso quel pubblico che non ha competenze in questo ambito.

Per concludere, le condizioni necessarie affinché un'analisi LCA possa essere valida sono:

- la trasparenza e la possibilità di rendere modificabili le banche dati, che devono essere il più possibile rappresentative della realtà da analizzare;
- la trasparenza e la possibilità di rendere modificabili i metodi per la valutazione dell'impatto ambientale, che devono essere il più possibile adeguati al sistema che si sta studiando;
- una buona e coerente correlazione tra le banche dati e i metodi di valutazione;
- la trasparenza del risultato finale.

Ad oggi la maggior parte delle banche dati raccolgono informazioni a livello europeo o internazionale.

### 3.2 END OF LIFE

L'end of life rappresenta il momento in cui il prodotto termina la propria vita utile; nonostante in termini di tempo sia la fase più lontana dalla concezione di un prodotto, in termini di importanza, è uno dei primi fattori da tenere in considerazione nell'approccio alla progettazione. La crescita della coscienza ambientale, con lo sviluppo di prodotti sempre più sostenibili, la presenza di legislazioni aventi l'obiettivo di recuperare quanta più materia prima e la presenza di action plans permettono di avere una gestione delle risorse efficienti e di operare con nuovi modelli di business.

L'arco temporale in cui il fine vita opera parte con lo scarto del prodotto da parte dell'utente e termina con il recupero o lo smaltimento a seconda se ci si trovi in uno scenario chiuso o aperto. Nel primo caso il prodotto o parte di esso viene recuperato e reintrodotta come materia prima seconda, costituendo una vera e propria risorsa per i cicli successivi nella catena produttiva, nel secondo caso invece i prodotti vengono distrutti.

Esistono cinque scenari principali di fine vita; ne esiste anche un altro per casi più specifici che rientrano nella categoria di sostanze pericolose o regolamentati da particolari normative. Essi sono, in ordine di gerarchia ambientale:

1. il riuso di prodotti o componenti;
2. la rigenerazione di prodotti o componenti;
3. il riciclo di materiali;
4. l'incenerimento;
5. la discarica.

I primi tre sono associati a un ciclo chiuso in quanto permettono il ricircolo di materia, mentre gli ultimi due fanno riferimento a un ciclo aperto; è bene sottolineare che l'incenerimento rientra in quest'ultima categoria in quanto fa recuperare solo energia e non materia.

Il processo a valle dell'end of life è lo smontaggio, ovvero quello che permette la separazione di componenti e materiali all'interno del prodotto; affinché le operazioni che fanno parte del "closed-loop" possano andare a buon fine è

opportuno garantire nella maggior parte dei casi delle azioni non distruttive (fig. 3.7).

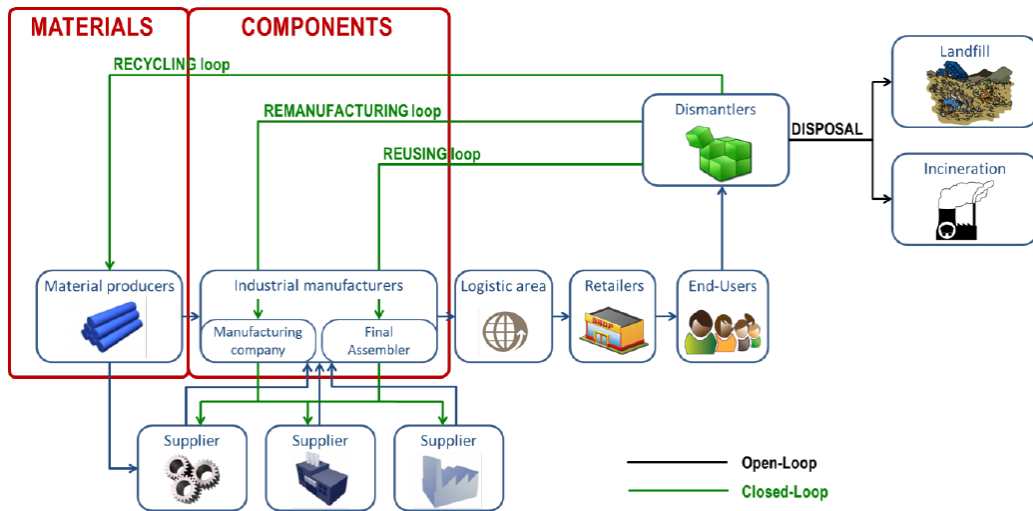


Figura 3.7 Scenari del fine vita

In questo ambito è d'aiuto l'approccio progettuale basato sul *Design for Disassembly* che opera una progettazione consapevole per cui al termine della vita del prodotto o nel caso di manutenzione, il recupero dei componenti è agevolato. È opportuno scegliere con cura i materiali, il design e i collegamenti tra i componenti. Se si utilizzano le plastiche, ad esempio, bisogna operare prediligendo per quanto possibile dei materiali opportuni. Esistono molte tipologie di plastiche e non tutte hanno lo stesso sistema di smaltimento, pertanto sarebbe meglio utilizzare dei materiali compatibili tra loro, in modo da avere una migliore gestione nel fine vita. A livello di architettura e di collegamenti si valuta come i componenti sono posizionati in un assieme. Il prodotto deve essere meno complesso possibile; ciò significa che il numero dei componenti deve essere ridotto al minimo, tenendo conto della fattibilità di processo e della struttura, e, i componenti che necessitano di maggiori manutenzioni, dovranno essere posti verso l'esterno, in modo da agevolare l'operazione [18].

## NORMATIVE

La legislazione europea consente di regolamentare, attraverso delle specifiche normative, la catena del fine vita associata a diverse categorie di prodotto (rifiuti organici, rifiuti plastici, componenti elettronici,...), di aiutare i produttori ad operare un fine vita più semplice, dato che i vincoli di smaltimento attuali non sono del tutto efficaci in termini di attuabilità, e di organizzare una vera e propria catena del fine vita in ambito europeo. Tutte le normative si fondano sul principio chiamato “Extended Producer Responsibility” (EPR), una politica ambientale per cui il produttore, visto come il “polluter” cioè la causa del rifiuto inquinante, deve avere anche il compito di garantire un giusto smaltimento.

Tra le normative di riferimento vi è la Waste Framework – Directive 2008/98/EC [19] avente l’obiettivo di regolamentare il fine vita di alcune categorie per ridurre la generazione di rifiuti e gestirli in maniera efficiente. In questa si conferma il principio fissato nella Direttiva 2004/35/CE del Parlamento europeo e del Consiglio [20] “chi inquina paga”, per cui cade sotto la responsabilità di un’azienda un eventuale danno ambientale da essa provocato e saranno dunque a carico dell’azienda stessa i costi annessi oltre che le azioni di prevenzione o di riparazione necessarie. Inoltre incoraggia i Paesi membri ad operare attraverso strategie a ciclo chiuso e impone che si raggiungano le percentuali prefissate entro il 2020 di riciclaggio e recupero (50% per i rifiuti domestici e 70% per i rifiuti da costruzione e demolizione), tassi poi aumentati con la direttiva di modifica (UE) 2018/851 [21] entrata in vigore a luglio 2020 in cui si prefissa il raggiungimento entro il 2025 del 55% dei rifiuti urbani, entro il 2030 del 60% ed infine entro il 2035 del 65%.

La Direttiva 2000/53/CE del Parlamento europeo e del Consiglio relativa ai veicoli fuori uso [22] regola la demolizione delle sole auto e dei piccoli autocarri, non è applicata ai grandi camion, ai veicoli d’epoca, ai veicoli per uso speciale e ai motocicli. L’obiettivo è quello di prevenire la produzione di rifiuti; in questo senso impone l’organizzazione di una catena di recupero, affida la responsabilità dello smaltimento ai costruttori e infine incoraggia i produttori ad un maggiore utilizzo di materie riciclate e di operare una progettazione nell’ottica circolare. Con la Direttiva 2005/64/CE del Parlamento

europeo e del Consiglio [23] si rafforzano le misure cautelative relative alla riutilizzabilità, riciclabilità e recuperabilità dei veicoli; “ *il costruttore deve fornire all'autorità di omologazione tutte le pertinenti informazioni tecniche sui materiali di fabbricazione e le rispettive masse per permettere di verificare i calcoli del costruttore in base alla norma ISO 22628: 2002*”. In questo modo, se le informazioni fornite dal costruttore sono idonee, l'organo competente può rilasciare l'atto di omologazione.

Per quanto riguarda le apparecchiature elettriche ed elettroniche (AEE) attraverso la stesura della Direttiva 2002/95/CE [24] si attuano delle disposizioni affinché si limiti l'utilizzo di sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche. Attraverso ciò si lavora affinché i rifiuti derivanti da queste apparecchiature (RAEE) vengano recuperati e smaltiti in maniera corretta ed ecologica. Inoltre si dispone che a partire dal 1° Luglio 2006 tutti i nuovi prodotti elettronici ed elettrici siano privi di sostanze quali piombo, mercurio, cadmio, cromo esavalente, bifenili polibromurati (PBB) o etere di difenile polibromurato (PBDE). Successivamente, con la Direttiva 2012/19/UE del Parlamento europeo e del Consiglio [25], si attuano delle misure affinché si riduca al minimo lo smaltimento dei RAEE come rifiuti urbani misti e si garantisca un tasso annuale minimo di raccolta dei RAEE. Inoltre, la Direttiva incoraggia i produttori a rilasciare tutte le informazioni necessarie per consentire uno smontaggio e uno smaltimento adeguato dei loro prodotti e incoraggia ad operare in maniera consapevole anche nelle prime fasi di progettazione nell'ottica di uno scenario di smaltimento futuro di tipo closed-loop. Per fare facilitare tutte le operazioni in questo ambito sarebbe opportuno che vi sia una collaborazione tra produttori e operatori degli impianti di riciclaggio.

Lato plastica, attraverso il piano d'azione COM(2018) 28 final - Strategia europea per la plastica nell'economia circolare [26], si sottolinea l'importanza di operare una progettazione che ne garantisca il riuso e il riciclo. Negli ultimi anni la quantità di rifiuti di plastica è aumentata notevolmente e lo smaltimento è nella maggior parte dei casi sottoposto a uno scenario di tipo aperto, senza considerare quella parte che va a finire negli oceani causando gravi danni



all'ecosistema marino. Un passo importante da fare è quello di avvicinare la comunità ad avere una maggiore attenzione verso prodotti nati da materie prime seconde; la domanda di plastica riciclata infatti è pari solo al 6% rispetto a quella di plastica in Europa (dati riferiti al 2018, anno della stesura del piano d'azione COM(2018)28 final).

Infine gli ultimi piani di azione tra cui il COM(2015) 614 final - L'anello mancante - Piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare [10] e il COM(2020) 98 final - Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare Per un'Europa più pulita e più competitiva [9], già approfonditi nei capitoli precedenti, si attuano le misure necessarie e nuovi obiettivi per garantire una sostenibilità ambientale, incentivando lo sviluppo di scenari di smaltimento di tipo closed-loop. In questo modo è garantito il benessere ambientale, economico e sociale.

## DESIGN FOR REUSE

Il riuso permette il riutilizzo di componenti o parti di essi con l'immissione in un nuovo prodotto che solitamente svolge la stessa funzione della loro "prima vita". Questa tecnica presenta un largo impiego in quei componenti che hanno una vita utile maggiore rispetto a quella del prodotto a cui appartengono. Dopo lo smontaggio, che deve essere non distruttivo, nella maggior parte dei casi, non c'è la necessità di effettuare delle lavorazioni aggiuntive.

Nonostante risulti essere una delle scelte più ecosostenibili e i costi di produzione siano molto bassi, si possono riscontrare dei problemi in termini di fattibilità. In primo luogo vi è l'incertezza relativa alla qualità dei prodotti, in secondo, la limitata possibilità di adattare il riuso a quei prodotti che presentano un'obsolescenza tecnologica, ma anche estetica. Dato che spesso non è economicamente fattibile, il riuso viene eseguito soprattutto su componenti ad alto valore. È necessario quindi trovare una metodologia in grado di valutare la vita utile dei prodotti e dei componenti in grado di permettere di stimare un possibile riuso e valutarne i benefici. Per fare ciò prima di tutto sarebbe bene conoscere la storia del prodotto in modo da poterla analizzare e decidere se il processo di riuso è adattato o no e

successivamente, una volta conclusa la vita utile, effettuare dei test in grado di esaminare la loro qualità e tenere traccia di dati inerenti alla loro manutenzione per valutarne l'affidabilità ad esempio con analisi di vibrazione o test di fatica.

## DESIGN FOR REMANUFACTURING

Il processo di rigenerazione permette di ripristinare principalmente i prodotti usati dopo opportune operazioni di pulizia, smontaggio e ispezione; in alcuni casi i prodotti possono essere anche rimodernati in modo da migliorare le loro prestazioni e il design. La rigenerazione pertanto permette di ottenere un prodotto come nuovo. A volte però i prodotti rigenerati possono avere una qualità inferiore rispetto alle condizioni di inizio vita di quelli originari. Per questo motivo, anche per soddisfare la domanda del cliente, il prezzo viene ribassato; è il caso ad esempio degli smartphone ricondizionati, perfettamente funzionanti, ma con un processore di qualche generazione precedente, dei computer o dei toner delle stampanti.

Affinché tale metodo possa avere dei vantaggi sia economici che ambientali è opportuno, fin dalle prime fasi di progettazione, operare in modo consapevole attraverso il Design for Remanufacturing. Questo metodo consiste nello scegliere determinati aspetti che influiscono sull'efficienza e sulla buona riuscita del processo per garantire una rigenerazione futura del prodotto. È conveniente valutare attentamente la forma, i materiali utilizzati (nel caso in cui si utilizzino dei materiali non durevoli e poco resistenti, il prodotto potrebbe non avere le caratteristiche opportune per la rigenerazione e la loro vita utile potrebbe essere compromessa anche nel primo ciclo di vita), l'assemblaggio (utilizzando tecniche che consentano un facile smontaggio, prediligendo ad esempio delle giunzioni con viti piuttosto che utilizzare la saldatura, sempre nel rispetto della funzionalità e della fattibilità) e lo sviluppo. Nel caso in cui un prodotto non è progettato con lo scopo della rigenerazione, il processo può essere complicato fino a diventare non fattibile anche dal punto di vista economico. La rigenerazione infatti non deve trascurare aspetti come i fattori di mercato attuando specifiche strategie che soddisfino i bisogni dei clienti, che

riducano i costi e che offrano supporto tecnico in modo da instaurare una collaborazione tra i fornitori e i consumatori.

Le operazioni che sono alla base della rigenerazione sono principalmente dodici e possono essere riassunte con l’immagazzinaggio, lo smistamento, la pulizia, lo smontaggio di parti di un prodotto, l’ispezione e la successiva pulizia di parti di prodotti presi in considerazione, la riparazione o il rinnovo delle parti, l’analisi attraverso specifici test, il riassettaggio, l’analisi del nuovo prodotto con i componenti rigenerati ed infine il confezionamento e la spedizione. La rigenerazione quindi tiene conto di più fattori contemporaneamente, includendo molti modelli di progettazione visibili nella tabella sottostante (fig. 3.8).

DESIGN STRATEGY	REMANUFACTURING PROCESS						
	Core Collection	Inspection	Disassembly	Cleaning & storage	Remediation	Reassembly	Testing
Design for Core Collection	✓	✓					
Eco-Design		✓	✓	✓		✓	
Design for Disassembly		✓	✓	✓	✓	✓	
Design for Multiple Lifecycles				✓	✓		
Design for Upgrade					✓		
Design for Evaluation		✓					✓

Figura 3.8 Design for Remanufacturing

Per concludere si può dire che questo metodo può costituire una grande opportunità in campo sostenibile in quanto l’energia necessaria per effettuare operazioni di rigenerazioni è circa il 10-20% di quella che si utilizza per la produzione di un prodotto ex-novo [27].

## DESIGN FOR RECYCLING

Il riciclo è quel processo che permette di recuperare i materiali da componenti che sono giunti al fine vita e riutilizzarli per produrre materia prima seconda.

Tra tutti gli scenari a ciclo chiuso, è il più comune e il più semplice; in questo caso, a differenza dei due processi precedentemente descritti ( il riuso e la rigenerazione), è possibile operare anche uno smontaggio distruttivo a patto che l'estrazione del materiale durante il procedimento non venga compromessa. Per ottenere dei vantaggi oggettivi è opportuno che, lato progettazione, si realizzino dei prodotti, laddove possibile, composti da componenti dello stesso materiale o di poche tipologie di materiale, che si utilizzino materiali riciclabili e infine che si evitino prodotti che hanno un alto impatto ambientale. Nel caso di materiali tossici ad esempio è richiesto l'utilizzo solo se non vi è un'altra opportunità e comunque dovrebbero essere concentrati in una zona adiacente tra loro, in modo tale che, durante lo smontaggio del pezzo, possano essere completamente separati dal resto. Grazie al riciclo la domanda di nuove risorse primarie si riduce e in questo modo anche la sua estrazione.

#### INCENERIMENTO E DISCARICA

Sia l'incenerimento che la discarica fanno riferimento a un sistema di ciclo aperto. Dall'incenerimento di materia organica come polimeri o legna si ottiene energia termica o elettrica; questo processo permette di ridurre di circa il 95% il volume dei rifiuti originari e anche di occupare poco spazio se confrontato con il suolo occupato dalle discariche. La fattibilità e la convenienza sono date ovviamente dal potere calorifico di ciascun materiale. La plastica ha un potere calorifico superiore rispetto a quello della carta, dato che è composta principalmente da idrocarburi, come il petrolio. Il problema legato all'utilizzo di un termovalorizzatore è associato alla presenza di poche leggi che ne tutelino la corretta gestione; se gestito regolarmente, il potenziale impatto ambientale sarebbe ridotto grazie all'impiego di specifici depuratori e filtri in grado di trattenere gli inquinanti tossici come residui solidi, ceneri, gas acidi e diossine. L'ultima e peggiore soluzione è il conferimento dei rifiuti in discarica. Fino agli anni '80/'90 ogni comune aveva la propria discarica in quanto rappresentava la strategia più economica e l'interesse verso la sostenibilità ambientale non si era ancora esteso. Oggi i materiali tipicamente conferiti in discarica sono i

materiali inerti, quelli non tossici che non necessitano di un trattamento specifico, quelli non contenenti parti elettroniche e in genere tutti quei prodotti per cui non è possibile adottare uno dei quattro scenari precedentemente elencati.

# CAPITOLO 4

## METODOLOGIA

La metodologia alla base di questa tesi vuole sottolineare l'importanza di come la collaborazione tra aziende possa portare benefici sia ambientali che economici.

L'idea consiste nel riutilizzare o riciclare i prodotti di scarto di alcune aziende, che altrimenti verrebbero smaltiti con sistemi di smaltimento di tipo open-loop, come materie per la produzione di componenti di altre aziende che non necessariamente lavorano nello stesso campo. Per fare ciò è fondamentale effettuare una prima analisi LCA dei componenti di scarto di alcune aziende (AS-IS) in modo da valutare l'impatto ambientale che questi hanno e poi eseguire una caratterizzazione per riassumere le informazioni relative al peso, alle dimensioni, allo stato in cui si presentano (liquido, solido, polvere,...) o a eventuali lavorazioni necessarie che serviranno per poter mettere in atto la catena del riuso o il riciclo. In questo modo è possibile stabilire quali potrebbero essere i benefici ambientali associati a un sistema di smaltimento diverso rispetto all'originario. Dall'altra parte si effettua un'analisi LCA di prodotti di altre aziende che vorrebbero migliorare la loro produzione in ottica di sostenibilità ambientale e si identificano i componenti più impattanti. Dalla successiva caratterizzazione è possibile anche differenziarli tra parti funzionali ed estetiche, in maniera da avere un'idea su quali materiali potrebbero essere adatti o no; ad esempio, nel caso di componenti estetici sarebbe meglio utilizzare materiali che non si presentano allo stato grezzo. A questo punto, una volta ottenute tutte le informazioni necessarie da entrambi i lati è possibile valutare le potenzialità per mettere in atto i processi di riuso o di rilavorazione, quest'ultima è un'operazione preliminare per poter compiere il riciclo. Infine, individuate le lavorazioni essenziali e quantificati gli impatti ambientali, si può fare un'analisi TO-BE ed eventualmente confrontare le due situazioni per analizzare i benefici ricavati dal nuovo modello produttivo.

In questo lavoro si terrà conto solo del processo di riuso in quanto non si hanno le informazioni necessarie per valutare i processi di rilavorazione per operare in ottica di riciclo. Si andrà a determinare un potenziale beneficio ambientale legato ad un riuso e quindi a un sistema di trattamento diverso del fine vita delle materie di scarto e a valutare l'impatto limite che le eventuali future lavorazioni dovranno avere affinché tale riuso sia efficiente nei componenti che usufruiranno delle materie derivanti dagli scarti (fig. 3.4).

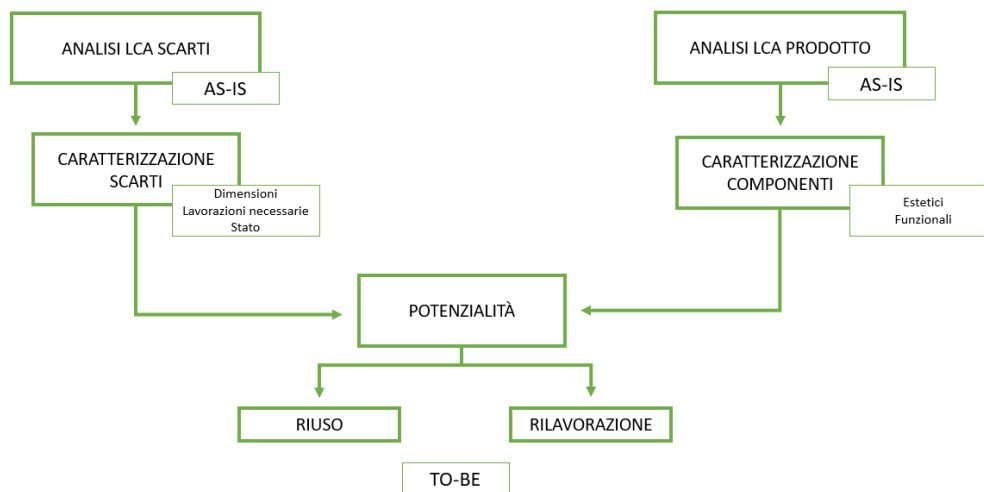


Figura 4.1 Schema del metodo

# CAPITOLO 5

## CASO STUDIO

Il lavoro di ricerca di questa tesi rientra nell'ambito della Linea 2 OR-2 del progetto Marlic; nello specifico si andranno a descrivere e ad analizzare nel dettaglio i passi effettuati per compiere una progettazione mediante metodologie e strumenti innovativi di DFD e DFR di prodotti industriali e realizzazione di prototipi. Lo scopo del progetto è quello di favorire l'economia circolare in ottica regionale, identificando i materiali recuperabili e riutilizzabili e trasformarli, ove possibile, in prodotti aventi un alto valore aggiunto, mediante un approccio multisetoriale.

In questo studio, seguendo le linee guida del progetto, inizialmente si presenta un'analisi LCA *“from cradle to grave”*, in cui gli input sono i rifiuti generati da quattro aziende coinvolte. Una volta definito l'obiettivo e l'unità funzionale, ovvero *“produrre e trattare a fine vita lo scarto industriale annuo”*, risulta più semplice confrontare le possibili alternative; successivamente si procederà con l'analisi dell'inventario LCI. Grazie alle informazioni raccolte durante le interviste con ciascuna azienda e consultando la letteratura, si creano delle schede dati e si prosegue con la modellazione e con la valutazione degli impatti mediante il software Simapro. Concluso ciò, si andrà a svolgere l'analisi LCA, con le stesse modalità descritte per gli scarti, di un macinacaffè di Nuova Simonelli, il Mythos VA75 GRAVIMETRICO, per stabilire quali componenti hanno un impatto elevato e anche in questo caso, si effettua una caratterizzazione delle parti. L'unità funzionale è *“produrre e smaltire un macinacaffè”*. Infine, dopo aver messo in atto la caratterizzazione dei rifiuti, si andranno a valutare le potenzialità in ambito di riuso.

Il seguente capitolo descrive e analizza nel dettaglio i passi effettuati per quantificare l'impatto ambientale legato alla produzione e al trattamento in discarica o nel termovalorizzatore degli scarti prodotti annualmente dalle aziende che hanno partecipato all'attività di ricerca in termini di:



- impatto legato ai materiali (relativamente alla fase di pre-produzione);
- impatto legato all'attuale trattamento di fine vita.

### **5.1 SimaPro**

Per valutare l'impatto ambientale si utilizza il software SimaPro attingendo alla banca dati Ecoinvent. Attraverso tale software, inserendo i dati ottenuti in fase di inventario, si possono quantificare gli impatti ambientali dei prodotti, beni o servizi che si stanno analizzando; inoltre, la versatilità di SimaPro consente di poter effettuare tale valutazione in diversi periodi del ciclo vita.

Questo software permette di operare in maniera trasparente in quanto tutti i dettagli del database, dei processi e i risultati associati all'impatto sono facilmente accessibili, inoltre, SimaPro è strutturato in modo da seguire i passi dell'LCA secondo quanto descritto nella norma UNI EN ISO 14040 [15].

SimaPro contiene diversi metodi per la valutazione dell'impatto; in questa tesi l'analisi è eseguita con il metodo di calcolo ReCiPe 2008 (H) sia a livello midpoint per le categorie di impatto (18 categorie di impatto) che a livello endpoint per le categorie di danno (3 categorie di danno); la lettera H indica la prospettiva gerarchica a lungo termine ed è quella che rispecchia maggiormente i principi politici più comuni. La caratterizzazione è fatta sulla base di dati presi dalla scala europea. La struttura di base per la valutazione degli impatti è caratterizzata da:

1. caratterizzazione;
2. valutazione dei danni;
3. normalizzazione;
4. ponderazione.

Solo la caratterizzazione è un passaggio fondamentale, gli altri step possono essere trascurati a seconda dei metodi di valutazione; nel caso in esame verranno considerate la caratterizzazione, la valutazione dei danni e la normalizzazione.

La caratterizzazione viene definita mediante il prodotto tra le sostanze che contribuiscono a una categoria di impatto e un opportuno fattore di caratterizzazione che indica il contributo relativo alla sostanza considerata. La

valutazione dei danni viene fatta combinando una serie di categorie di impatto in una categoria di danno (fig. 5.1). Infine, per consentire anche ai non esperti di LCA di valutare i risultati ottenuti, si utilizza la normalizzazione che confronta i risultati ottenuti in fase di caratterizzazione con un valore di riferimento, dividendo le categorie di impatto per un opportuno riferimento.

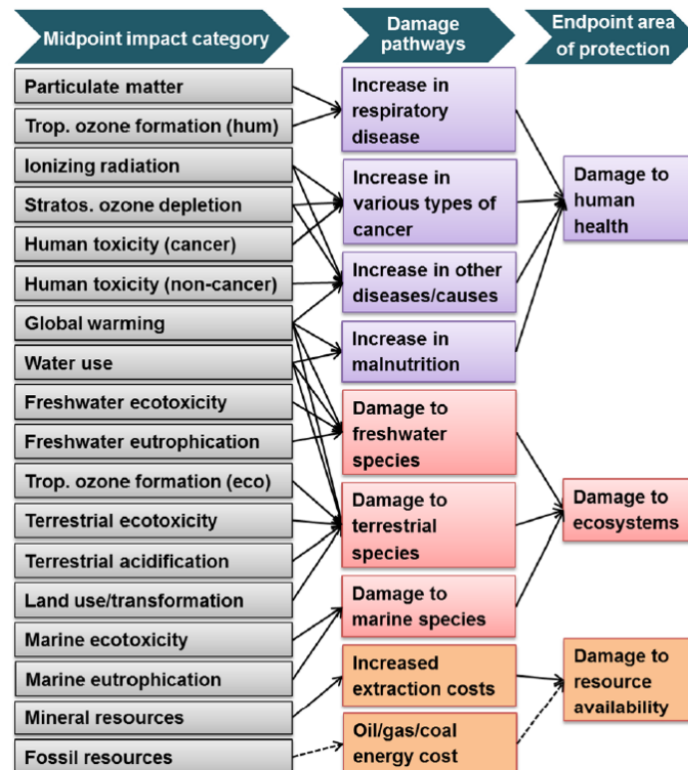


Figura 5.1 Relazione tra midpoint ed endpoint

Nel lavoro di tesi sono considerate le 10 categorie di impatto ritenute più valide per l'analisi effettuata (fig. 5.2), ovvero:

1. Climate change che indica gli effetti causati dalle emissioni in atmosfera dei gas a effetto serra e il fattore di caratterizzazione è il potenziale di riscaldamento ambientale (GWP) espresso in kg CO<sub>2</sub> eq.;
2. Ozone Depletion che indica la riduzione dello strato di ozono e il fattore di caratterizzazione è la distruzione dello strato di ozono da parte di sostanze emesse da parte delle attività umane che ne diminuiscono lo spessore espresso in kg CFC-11 eq.;
3. Ionising radiation che indica gli impatti sulla salute umana e sugli ecosistemi generati dalle radiazioni ionizzanti e il fattore di

caratterizzazione è il livello di esposizione per la popolazione mondiale espresso in kBq U235 eq.;

4. Metal depletion che indica l'esaurimento delle risorse non rinnovabili relativamente ai metalli e il fattore di caratterizzazione è la riduzione dei metalli espresso in kg Fe eq.;
5. Fossil depletion che indica l'esaurimento delle risorse non rinnovabili relativamente al petrolio e il fattore di caratterizzazione è la quantità di combustibile fossile estratto espresso in kg oil eq.;
6. Marine eutrophication che indica il deterioramento della qualità delle acque causato da eccessivi apporti di sostanze ad effetto fertilizzante (azoto) e il fattore di caratterizzazione indica la persistenza ambientale dell'emissione di nutrienti contenenti l'azoto espressa in kg N eq.;
7. Freshwater eutrophication che indica il deterioramento della qualità delle acque dolci causato da eccessivi apporti di sostanze ad effetto fertilizzante (fosforo) e il fattore di caratterizzazione indica la persistenza ambientale dell'emissione di nutrienti contenenti il fosforo espressa in kg P eq.;
8. Natural land transformation che indica il danno agli ecosistemi causato a seguito della trasformazione e dell'occupazione del territorio naturale e il fattore di caratterizzazione è la quantità di terra occupata e trasformata espresso in m<sup>2</sup>;
9. Urban land occupation che indica il danno causato a seguito della trasformazione e dell'occupazione del suolo urbano e il fattore di caratterizzazione è la quantità di suolo occupato espresso in m<sup>2</sup> anno;
10. Agricultural land occupation che indica il danno causato a seguito della trasformazione e dell'occupazione dei terreni coltivabili e il fattore di caratterizzazione è la quantità di terreno agricolo occupato espresso in m<sup>2</sup> anno.

Le 18 categorie di impatto poi sono racchiuse in 3 categorie di danno a livello endpoint (fig. 5.3) di seguito elencate:

1. Human Health, ovvero la salute umana che indica il numero di anni di vita persi e degli anni di invalidità; l'indice che quantifica questa

categoria è DALY (Disability Adjusted Life Years) utilizzato anche dalla World Bank e dall'OMS;

2. Ecosystem describe la perdita di specie in una certa area e in certo periodo, espressa in species.yr;
3. Resources indica il surplus dei costi sulla produzione di risorse future su un arco di tempo infinito; l'unità di misura è \$. [28]

INDICATORI	UNITÀ DI MISURA	DESCRIZIONE
Climate change	kg CO <sub>2</sub> eq	Effetti causati dall'emissione in atmosfera dei gas serra
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	Riduzione dello strato di ozono
Ionising radiation	kBq U235 eq	Impatti sulla salute umana e sugli ecosistemi generati dalle radiazioni ionizzanti
Metal depletion	kg Fe eq	Esaurimento delle risorse non rinnovabili (ferro)
Fossil depletion	kg oil eq	Esaurimento delle risorse non rinnovabili (petrolio)
Marine eutrophication	kg N eq	Eutrofizzazione marina con azoto
Freshwater eutrophication	kg P eq	Eutrofizzazione relativa all'acqua dolce con fosforo
Natural land transformation	m <sup>2</sup>	Danno agli ecosistemi causato a seguito della trasformazione e dell'occupazione del territorio
Urban land occupation	m <sup>2</sup> a	Danno agli ecosistemi causato a seguito della trasformazione e dell'occupazione del suolo urbano
Agricultural land occupation	m <sup>2</sup> a	Danno agli ecosistemi causato a seguito della trasformazione e dell'occupazione del suolo agricolo

Figura 5.2 Indicatori midpoint

INDICATORI END	UNITÀ DI MISURA	DESCRIZIONE	INDICATORI MID
Human Health	DALY	Somma degli anni di vita persi e degli anni d'invalidità	Particulate matter formation
			Climate change Human Health
			Human toxicity
			Ionising radiation
			Photochemical oxidant formation
Ecosystems	species.yr	Perdita di specie su una certa area durante un certo periodo	Ozone depletion
			Climate change Ecosystems
			Agricultural land occupation
			Urban land occupation
			Terrestrial acidification
			Natural land transformation
			Freshwater eutrophication
Terrestrial ecotoxicity			
Resources	\$	Surplus dei costi sulla produzione di risorse future su un arco di tempo infinito	Freshwater ecotoxicity
			Marine ecotoxicity
			Fossil depletion
			Metal depletion

Figura 5.3 Indicatori endpoint

## 5.2 PROGETTO MARLIC

Nell'ambito dell'economia circolare, per promuovere una riduzione e un riutilizzo degli scarti di prodotti o componenti che hanno concluso la loro vita utile, nelle Marche è nato MARLIC, acronimo di "Marche Applied Research Laboratory for Innovative Composites"<sup>5</sup>, un laboratorio di ricerca e innovazione applicato ai materiali compositi, annesso alla quarta Piattaforma Collaborativa Regionale i-Labs sui temi dell'ecosostenibilità e nuovi materiali. L'obiettivo principale è quello di creare un punto di riferimento regionale per la realizzazione di nuovi materiali, incentivando l'utilizzo di materiali bio derivati sia da materie prime che da materie di scarto o di recupero ed ecosostenibili, sostenendo la circolarità dell'uso e del riuso di materie prime e seconde.

Il Laboratorio è costituito da un partenariato di 27 protagonisti, di cui 5 centri di ricerca (Università degli Studi di Camerino, in qualità di responsabile scientifico e capofila del laboratorio Marlic, Università Politecnica delle Marche, Università degli Studi di Urbino, ENEA e CNR) e 22 aziende del territorio marchigiano (HP Composites, impresa capofila e leader della produzione di componenti di materiale composito, Delta, Teknochim, Linset, Eta Blades, 3P Engineering, F.lli Guzzini, Maila's, Nano-Tech, Ubaldi, Prefiniti Simon, Savas, Nuova Simonelli, Carni Fileni, Elantas, Simeg Marmi, Scatolificio Sios, Diamonte, ETS, Rock and River, Albertani). La Fondazione Cluster Marche avrà il compito di diffondere i risultati della ricerca.

Le linee di ricerca sono le seguenti:

1. Costituzione di un laboratorio chimico Marlic a disposizione delle aziende del territorio marchigiano, per fornire soluzioni a problematiche varie sui materiali, avente sede a Camerino (partner capofila Unicam);
2. Svolgimento di due progetti sulla manifattura sostenibile:
  - a. Bio-sostenibilità dei materiali (società capofila HP Composites);
  - b. Demanufacturing di materiali compositi (società capofila Delta);
3. Trasferimento tecnologico e diffusione dei risultati.

---

<sup>5</sup> <https://www.i-labs.it/it/composite-materials>

Il focus della Linea 2- OR2 è quello di trovare un punto in comune tra le aziende produttrici di scarti in materiali compositi e quelle che hanno le capacità tecnologiche per poterli trasformare, valutando, tramite uno studio LCA, la sostenibilità ambientale, in modo da evitare uno smaltimento di tipo open-loop nel fine vita.

Si tratta di una vera e propria sfida in quanto i protagonisti principali dello studio sono appunto i materiali compositi; questi hanno largo impiego in tutti i settori grazie alla loro versatilità e alle loro caratteristiche: peso ridotto rispetto ai materiali tradizionali che vanno a sostituire (acciaio, alluminio, cemento) ed elevate prestazioni meccaniche, tra cui resistenza alla corrosione. Proprio per l'enorme sviluppo che hanno avuto negli ultimi anni, si ha l'esigenza di ridurre i flussi di rifiuti compositi, tracciarne il fine vita, individuare le tecnologie di recupero/riciclo per rendere i materiali compositi di scarto/sfrido di produzione e/o i componenti in composito a fine vita, materiali nuovamente utilizzabili per la stessa tipologia di prodotto o per altri utilizzi in filiere diverse da quelle originarie, puntando al risparmio energetico e all'utilizzo di nuove risorse o materie prime. Le tecnologie impiegate fino ad oggi per il recupero di tali prodotti non hanno avuto esiti positivi: non è stato possibile adottare un approccio standard per tutti a causa della loro composizione diversificata. Risulta fondamentale quindi identificare e caratterizzare gli scarti per definire metodi e tecnologie per il loro recupero o trasformazione che risultino essere più idonei e meno impattanti.

Le attività che verranno effettuate in questo ambito sono le seguenti:

1. Analisi delle metodologie di DFD e DFR volte a identificare e analizzare i prodotti di riferimento delle aziende partner e successivamente determinare le strategie applicabili nei diversi contesti per ottimizzare il fine vita in termini di livello di riciclabilità/*Disassembly* e la fase di *Material* e *Manufacturing* per la riduzione degli impatti a fine vita. In questa fase i partner coinvolti sono Delta, Elantas, Eta Blades, Maila's e Simeg;
2. Progettazione mediante applicazione di metodologie e strumenti di DFD e DFR di prototipi di prodotti industriali: in questo contesto si andrà ad

agire attraverso una collaborazione tra Nuova Simonelli per la progettazione di prototipi ottimizzati e le aziende in cui sono stati analizzati gli scarti nel punto 1 per valutare eventuali scenari di riprogettazione per i prodotti di riferimento individuati;

3. Realizzazione dei prototipi con le nuove soluzioni individuate: punto finale che ha come obiettivo la realizzazione dei prototipi precedentemente ideati e la valutazione dei benefici ottenuti [29].

### **5.3 LE AZIENDE E I MATERIALI COMPOSITI**

Le aziende coinvolte in questa prima fase sono Delta, Elantas, Eta Blades, e Simeg. Di seguito si presenta una breve descrizione dei partner che hanno partecipato attivamente alla ricerca e il loro processo produttivo<sup>6</sup>.

#### **5.3.1 DELTA**

La società Delta, situata a Montecassiano (MC), è un'azienda leader nella produzione di lavelli da cucina in materiale composito grazie anche all'utilizzo della tecnologia "ARIAPURA". Tale materiale è provvisto di nanoparticelle di biossido di titanio fotocatalitico che in presenza di luce naturale o artificiale si "attivano" innescando un fenomeno di fotocatalisi, andando a trasformare le sostanze inquinanti presenti nell'ambiente in sali minerali. Questo principio attivo, infatti, funge da pulitore dell'aria perché ne riduce l'inquinamento, distrugge le sostanze organiche esercitando un'azione antibatterica e facilita la pulizia del lavello stesso che, per questo motivo, è definito autopulente. Inoltre, essendo immesso direttamente in massa, qualora il lavello venga scheggiato o graffiato, la sua funzione non è compromessa. La presenza di particelle di  $TiO_2$  consente di avere uno scarto foto attivo che può risultare interessante per altri materiali nell'ambito del progetto relativo al Demanufacturing. I lavelli sono creati mediante dispersioni acriliche costituite da un insieme di materie prime acquistate sul mercato (monomeri,

---

<sup>6</sup> Tutte le informazioni relative al processo produttivo sono state ottenute da un colloquio con ciascuna azienda

polimeri, vari chemicals, quarzi,...) e la loro composizione media è simile (80% carica minerale, 20% polimero); la variabilità dipende dal tipo di effetto estetico che si vuole dare (per un effetto più opaco, saranno necessarie cariche minerarie più grandi e una quantità minore di polimero, al contrario, per un effetto “silk” si userà più polimero).

La sequenza produttiva per la realizzazione del prodotto consiste in tre fasi.

La prima fase avviene nello stabilimento di Montelupone, in cui è presente il laboratorio per le analisi dei vari step di produzione; essa è associata alla preparazione della materia prima: dopo aver realizzato uno sciroppo con monomeri o polimeri, si aggiungono varie cariche minerarie (sia grandi che fini) e la pasta colore; successivamente il materiale viene messo in fusti da circa 260 kg e avviato allo stampaggio negli stabilimenti di Montecassiano o in Serbia. A questo punto inizia la seconda parte del processo in cui la dispersione liquida viene inserita a bassa pressione fino a riempimento in stampi, prima riscaldati per far avvenire la polimerizzazione e successivamente raffreddati per portare via il calore in eccesso; infine, dopo circa 30 minuti, vengono estratti i manufatti sotto forma di lavello. L'ultimo step consiste nel tagliare tutti i materiali di scarto come la bava perimetrale del lavello, la piletta e il troppo pieno; a volte, se avviene una cattiva polimerizzazione (lavello troppo lucido o difetti superficiali) il lavello viene buttato. Quando il lavello viene tagliato si genera una polvere fina che viene aspirata e messa nei bigbag. In conclusione, tutti gli scarti, che sono tutti di produzione, hanno la stessa composizione e riguardano sfridi e scarti dei lavelli da una parte e la polvere che proviene dal taglio dall'altra.

Per quanto concerne la politica di De Manufacturing, Delta ha già adottato diverse strategie con esiti non del tutto positivi sia in termini tecnologici che economici, tra cui la macinazione sotto azoto; l'obiettivo, quindi, sarà quello di trovare una strategia più soddisfacente.

### 5.3.2 ELANTAS

Elantas è un'azienda leader nella produzione di materiali isolanti e protettivi nel campo dell'industria elettrica ed elettronica, avente sede centrale in



Germania, ma con siti sparsi in tutto il mondo. In questo studio si farà riferimento al sito di Ascoli Piceno, in cui i processi di produzione sono prevalentemente sintetici, si gestiscono determinate tipologie di chimiche come monomeri e polimeri e ha una maggiore capacità di fare economia circolare e a quello di Collecchio, direttamente legato al settore dei compositi nei processi di dispersioni (resine epossidiche e poliuretaniche), che si occupa di vendere prodotti liquidi, successivamente trasformati dal cliente.

Elantas vende prodotti di bi-componenti per cui, solitamente, la reazione di polimerizzazione parte già a  $T_{amb}$  (in alcune situazioni è necessario somministrare calore) o di mono-componenti che polimerizzano con la temperatura, ovvero sono stabili per  $T_{amb}$  e induriscono se scaldati sopra determinate temperature. I prodotti realizzati con l'utilizzo di questi materiali sono destinati a diversi impieghi, tra cui il settore dei compositi e dei materiali strutturali; la loro composizione varia a seconda dell'oggetto finale che necessita di caratteristiche tecniche diverse (caratteristiche meccaniche, durezza, flessibilità,...) e della funzione per cui è stato progettato.

Gli scarti si riferiscono a quella parte dei prodotti che non può essere venduta perché fuori specifica; essi presentano ad esempio una differente densità, viscosità, velocità di reazione rispetto alla specifica originaria. Per evitare inutili sprechi i liquidi di scarto potrebbero essere modificati aggiungendo agli stessi altri "ingredienti". Ci sono già procedure di recupero e di rilavorazione associate a un processo di rimescolamento: se i prodotti sono di poco difformi dalle richieste, vengono riadoperati in piccole percentuali per le produzioni successive o vengono modificati nell'ottica della sensibilità ambientale ed economica, cercando di giungere allo smaltimento come estrema soluzione. Nel caso in cui si presentino eccessivi rischi nelle modifiche o rischi di natura tecnica, i prodotti non possono essere riutilizzati nel loro campo; a tal riguardo vengono conferiti al progetto Marlic.

### 5.3.3 ETA BLADES

Eta Blades, situata a Fano, è un'azienda leader in Italia nella progettazione, sviluppo e produzione di pale eoliche. Oltre agli obiettivi in termini di

perfezionamento della qualità ed efficienza dei prodotti attraverso tecniche di produzione avanzate, Eta Blades sostiene l'economia circolare, sia grazie all'introduzione del concetto di Re-blading, permettendo il miglioramento della vita utile delle turbine, riducendone i costi e allungando il loro ciclo vita, sia scegliendo materiali duraturi e poco impattanti, con lo scopo di produrre il minor quantitativo di scarti. Ciò è dovuto anche al fatto che le quantità medie annue di pale eoliche da smaltire in Europa, ad oggi, sono 3200, un numero in crescita nei prossimi anni dato che in Germania le pale eoliche esauste sono circa 2000 e nel 2024 le quantità saliranno fino a 15000 [30].

In questo ambito, infatti, la mission di Eta Blades è quella di trasformare gli scarti di produzione come gli scarti in fibra di vetro, i rifiuti plastici (i tagli di radice di pala, gli scarti in PVC,...) e le polveri di carteggiatura della pala, attuando dei processi di valorizzazione, di riciclo o re-impiego, anche in altri campi e settori; per questo motivo l'azienda presenta tutte le "carte in regola" per partecipare al progetto Marlic.

Il processo produttivo per la realizzazione della pala eolica consiste nella resinatura in infusione sottovuoto che prevede un'aspirazione della resina all'interno dello stampo mediante dei supporti in fibra di vetro o carbonio precedentemente posizionati a secco e sigillati con un sacco da vuoto, evitando il procedimento di resinatura manuale. La resina, poi, viene aspirata e portata nello stampo attraverso dei tubi in polietilene grazie ad una differenza di pressione (vuoto); una volta finito il processo produttivo, questi tubicini sporchi di resina catalizzata vengono tolti insieme al sacco del vuoto. Attualmente tali rifiuti sono smaltiti in discarica.

#### 5.3.4 SIMEG

Simeg è un'azienda con stabilimento produttivo a San Severino Marche (MC) che si occupa di lavorazione di lastre di materiale naturale come marmi e graniti, ma anche quarzi, pietre sinterizzate e ceramiche di grande formato da 3 a 20 mm di spessore per la realizzazione di rivestimenti e composizioni per bagno&wellness, cucina, campo navale e residenziale. Per ottenere un prodotto di qualità, il processo produttivo si sviluppa in più fasi: taglio su

misura, lavorazione superficiale, bordatura, foratura e battentatura, assemblaggio, ripulitura e imballaggio. Le lavorazioni meccaniche sono eseguite con frese a ponte, macchine a getto d'acqua, centri di lavoro a controllo numerico e levigacoste garantendo elevata precisione e finiture omogenee.

I principali rifiuti prodotti sono i pezzami, che ricoprono l'82,3% degli scarti totali, seguiti in ordine di peso dai fanghi (17%) e in piccole quantità da abrasivi di scarto, polveri di lavorazione e altri materiali. Le possibili destinazioni d'uso di questi scarti spaziano dall'oggettistica all'edile, nell'affiancamento della creazione di calcestruzzi, cementi e sottofondi stradali, ma potrebbero essere anche utilizzati come materia prima per prodotti innovativi (stampe 3D) o come base per nuovi materiali compositi. Attualmente Simeg sta anche lavorando all'analisi su nuove possibilità d'uso di sotto misure dei loro processi, ovvero resti di materiale di lavorazioni precedenti, accantonati per eventuali futuri riutilizzi che quindi non vengono considerati fin da subito come rifiuti. I limiti legati a questa idea sono di carattere dimensionale e quantitativo perché tali sotto misure vengono prodotte in maniera incontrollata e la variabilità associata alla quantità non permette di avere un "processo standard" (è possibile che per un certo periodo ce ne siano molte, mentre in altri periodi ce ne siano di meno); inoltre, se lo stock di questi materiali "buoni" diventa elevato e non ci sono spazi fisici per l'accumulo, i prodotti vengono smaltiti come pezzami.

#### **5.4 ANALISI DI INVENTARIO "AS-IS" SCARTI**

Nella fase "AS-IS" viene descritto lo stato attuale delle cose. In questo ambito, dopo aver effettuato delle interviste alle aziende coinvolte in modo da ottenere i dati necessari per valutare la produzione annuale degli scarti di ciascuna, si analizzano le informazioni ricevute ed eventualmente si faranno delle assunzioni, compatibilmente con le esigenze e le richieste delle aziende stesse.

#### 5.4.1 ANALISI LCI – DELTA

La società Delta produce circa 160 ton di scarti all'anno e il loro attuale smaltimento avviene in discarica. Si distinguono due categorie principali:

- Scarti e sfridi solidi dei lavelli (fig. 5.4) in quantità pari a 140 ton dovuti a:
  - una cattiva polimerizzazione della dispersione acrilica (resina con quarzi) negli stampi: ad esempio, in caso di un non corretto indurimento della dispersione con conseguente realizzazione di lavelli di scarto con difetti;
  - la fase di sbordatura in cui sarà sempre presente una componente costante di scarto sottoforma di sfridi nel lavoro di rifinitura del lavello (troppo pieno, bave laterali e piletta).



Figura 5.4 Scarti e sfridi di lavelli

- Polvere derivante dal taglio di lavelli (fig. 5.5) in quantità pari a 20 ton: durante la fase di sbordatura si genera polvere in seguito al taglio del lavello che poi viene aspirata e immessa in big bag.



Figura 5.5 Polvere da taglio di lavelli

La composizione è la medesima per entrambi i casi:

- 70% di carica minerale (quarzo);
- 25% di matrice pmma (polimero metacrilico);
- 5% di additivi.

Per l'analisi degli impatti associati agli scarti e sfridi dei lavelli e alle polveri sono stati importate le quantità nel software Simapro, dove sono stati attribuiti i materiali più opportuni tra quelli presenti nel database Ecoinvent. La carica mineraria composta da quarzo è stata caratterizzata con “*Natural stone plate*” diversificando la forma a seconda della tipologia di rifiuto: per gli scarti e sfridi è stata associata la forma “*cut*”, mentre per le polveri la forma “*grounded*”; la matrice pmma di polimero metacrilico è stata caratterizzata con il “*Polymethyl methacrylate*”. Gli additivi sono stati trascurati in quanto è stata assunta come ipotesi di cut-off l'eliminazione di componenti aventi peso minore o uguale del 5% della massa totale di scarto. La categoria relativa al codice CER (Catalogo Europeo Rifiuti) [31] è 07.02.13 – RIFIUTI PLASTICI - tipo 1: la classe 07 identifica i rifiuti dei processi chimici organici, mentre la sottoclasse 07.02 identifica i rifiuti della produzione ed uso di plastiche; per le considerazioni fatte, anche il costo di smaltimento sarà lo stesso (0,3 €/kg).

Di seguito la tabella 5.1 riassume i concetti appena esplicitati.

RIFIUTI	QUANTITÀ [ton/anno]	QUANTITÀ [%]	MATERIALE	COMPOSIZIONE	MATERIALE SIMAPRO	QUANTITÀ [ton/anno]	QUANTITÀ [%]	ATTUALE PROCESSO DI SMALTIMENTO	COSTI DI SMALTIMENTO [€/kg]	CODICE CER
SCARTI E SFRIDI DI LAVELLI	140	88%	Carica minerale	Quarzo	Natural stone plate, cut {GLO}  market for   Alloc Def, S	98	70%	Discarica	0,03	07.02.13
			Matrice pmma	Polimero metacrilico	Polymethyl methacrylate, beads {GLO}  market for   Alloc Def, S	35	25%			
			Additivi	/	/	7	5%			
POLVERI	20	12%	Carica minerale	Quarzo	Natural stone plate, grounded {GLO}  market for   Alloc Def, S	14	70%	Discarica	0,03	07.02.13
			Matrice pmma	Polimero metacrilico	Polymethyl methacrylate, beads {GLO}  market for   Alloc Def, S	5	25%			
			Additivi	/	/	1	5%			

Tabella 5.1 Scarti Delta

#### 5.4.2 ANALISI LCI – ELANTAS

Elantas produce circa 86 ton di scarti all'anno di cui il 65% è costituito da un mix di liquidi di varie nature chimiche (resine epossidiche caricate o meno con minerali, polioli, ammine e isocianati) e il restante 35% da un mix di polveri di cariche minerarie (quarzo, carbonato di calcio, allumina e microfibre). Attualmente sono smaltiti mediante l'uso di termovalorizzatori posti in Germania e in Olanda.

Per la modellazione degli impatti associati agli scarti sono state utilizzate le informazioni ottenute attraverso un colloquio con l'azienda, ma l'analisi dei mix di liquidi, in particolare delle resine caricate con minerali, ha richiesto uno studio più approfondito a causa della mancanza di alcuni dati (carica minerale e percentuale di composizione).

Di seguito si elencano i principali componenti dei mix di liquidi con i relativi materiali del database Ecoinvent:

- resine epossidiche, modellate con il materiale "*Epoxy resin, liquid*";
- resine epossidiche caricate con minerali modellate in percentuale con il materiale "*Epoxy resin, liquid*" per le resine e con "*Natural stone plate, grounded*" per le cariche minerali di quarzo e carbonato di calcio e con "*Aluminium oxide*" per la carica minerale di allumina;
- polioli, modellati con il materiale "*Polyol*";
- poliammine, ovvero indurenti per le resine epossidiche, modellate con il materiale "*Ethylenediamine*";
- isocianati, ovvero indurenti per i polioli, modellati con il materiale "*Methylene diphenyl diisocyanate*".

La categoria relativa al codice CER [31] è 07.02.08 - ALTRI FONDI E RESIDUI DI REAZIONE: la classe 07 identifica i rifiuti dei processi chimici organici, mentre la sottoclasse 07.02 identifica i rifiuti della produzione, formulazione, fornitura ed uso di plastiche, gomme sintetiche e fibre artificiali; i costi di smaltimento variano tra 0,38 e 1,22 €/kg.

I principali componenti dei mix di polveri sono:

- quarzo, modellato con il materiale "*Natural stone plate, grounded*";

- carbonato di calcio, modellato con il materiale "*Natural stone plate, grounded*";
- allumina, modellata con il materiale "*Aluminium oxide*";
- microfibre che non sono state modellate perché scartate in fase di inventario.

La categoria relativa al codice CER [31] è 16.03.04 - RIFIUTI INORGANICI: la classe 16 identifica i rifiuti non specificati altrimenti nell'elenco, mentre la classe 16.03 identifica i prodotti fuori specifica e prodotti inutilizzati; i costi di smaltimento sono di 0,42 €/kg.

Come accennato poco fa, nel caso delle resine epossidiche caricate con minerali è stato necessario un approfondimento circa la composizione; in questo caso, infatti, è stata ipotizzata una composizione di resina epossidica e minerali prendendo come riferimento i minerali presenti nei mix delle polveri e suddividendo il loro peso in parti uguali, ottenendo dal dato iniziale di 15 ton/anno:

- 5 ton/anno di resine epossidiche caricate con quarzo;
- 5 ton/anno di resine epossidiche caricate con carbonato di calcio;
- 5 ton/anno di resine epossidiche caricate con allumina.

Tutti gli scarti appena descritti vengono prelevati dalla sede di Ascoli Piceno e consegnati a Caorso, da dove sono inviati in Germania e Olanda per essere smaltiti mediante un termovalorizzatore. Per la valutazione dell'impatto relativo al trasporto verso lo smaltimento, considerando che i rifiuti sono destinati sia in Germania che in Olanda, è stato ipotizzato un valore relativamente al peso degli scarti pari alla metà del totale. In funzione della quantità di rifiuti e della frequenza di smaltimento è stato prima valutato il carico del mezzo d'opera per ogni viaggio, successivamente è stato scelto un mezzo opportuno e infine, considerando la distanza tra il sito di prelievo e la destinazione, è stato calcolato il valore in tkm (tab. 5.2).

**VALUTAZIONE TRASPORTO PER SMALTIMENTO (GERMANIA)**

RIFIUTI	ATTUALE PROCESSO DI SMALTIMENTO	QUANTITÀ [ton/anno]	FREQUENZA SMALTIMENTO [mese]	FREQUENZA SMALTIMENTO [anno]	CARICO DEL MEZZO D'OPERA [ton]	MEZZO UTILIZZATO	DISTANZA ASCOLI PICENO - CAORSO [km]	DISTANZA CAORSO-GERMANIA [km]	TRASPORTO PER LO SMALTIMENTO [tkm]
Mix di LIQUIDI e di POLVERI	Termovalorizzatore	43	3	36	1,2	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4	470	950	61,06

**VALUTAZIONE TRASPORTO PER SMALTIMENTO (OLANDA)**

RIFIUTI	ATTUALE PROCESSO DI SMALTIMENTO	QUANTITÀ [ton/anno]	FREQUENZA SMALTIMENTO [mese]	FREQUENZA SMALTIMENTO [anno]	CARICO DEL MEZZO D'OPERA [ton]	MEZZO UTILIZZATO	DISTANZA ASCOLI PICENO - CAORSO [km]	DISTANZA CAORSO-OLANDA [km]	TRASPORTO PER LO SMALTIMENTO [tkm]
Mix di LIQUIDI e di POLVERI	Termovalorizzatore	43	3	36	1,2	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4	470	1100	67,51

Tabella 5.2 Valutazione del trasporto per lo smaltimento in Germania (sopra) e in Olanda (sotto)

Di seguito le tabelle 5.3, 5.4 e 5.6 riassumono i concetti appena esplicitati con le quantità relative ai componenti e sottocomponenti di questa categoria.

RIFIUTI	QUANTITÀ [ton/anno]	QUANTITÀ [%]	MATERIALE	QUANTITÀ [%]	QUANTITÀ [ton/anno]	MATERIALI SOTTO-COMPONENTI	MATERIALE SIMAPRO	QUANTITÀ SOTTO-COMPONENTI [ton/anno]	QUANTITÀ COMPOSIZIONE SOTTO-COMPONENTI [%]	QUANTITÀ COMPOSIZIONE SOTTO-COMPONENTI sul totale [%]	
MIX DI LIQUIDI di varie nature chimiche	56	65%	Resine epossidiche	9%	5		Epoxy resin, liquid {GLO} market for   Alloc Def, S				
			Resine epossidiche caricate con minerali (Quarzo)	27%	5	Resine epossidiche	Epoxy resin, liquid {GLO} market for   Alloc Def, S	1,25	25	2%	
						Quarzo	Natural stone plate, grounded {GLO} market for   Alloc Rec, S	3,75	75	7%	
			Resine epossidiche caricate con minerali (Carbonati di calcio)	5	Resine epossidiche	Epoxy resin, liquid {GLO} market for   Alloc Def, S	1,25	25	2%		
					Carbonati di calcio	Natural stone plate, grounded {GLO} market for   Alloc Rec, S	3,75	75	7%		
			Resine epossidiche caricate con minerali (Allumina)	5	Resine epossidiche	Epoxy resin, liquid {GLO} market for   Alloc Def, S	1,25	25	2%		
					Allumina	Aluminium oxide {GLO} market for   Alloc Def, S	3,75	75	7%		
			Polioli	36%	20		Polyol {GLO} market for   Alloc Def, S				
Poli-ammine	14%	8		Ethylenediamine {GLO} market for   Alloc Def, S							
Isocianati	14%	8		Methylene diphenyl diisocyanate {GLO} market for   Alloc Def, S							

Tabella 5.3 Mix di liquidi



RIFIUTI	QUANTITÀ [ton/anno]	QUANTITÀ [%]	MATERIALE	QUANTITÀ [%]	QUANTITÀ [ton/anno]	MATERIALI SOTTO-COMPONENTI	MATERIALE SIMAPRO	QUANTITÀ SOTTO-COMPONENTI [ton/anno]	QUANTITÀ COMPOSIZIONE SOTTO-COMPONENTI [%]	QUANTITÀ COMPOSIZIONE SOTTO-COMPONENTI sul totale [%]
MIX DI POLVERI	30	35%	Quarzo	33%	10		Natural stone plate, grounded {GLO}   market for   Alloc Rec, S			
			Carbonati di calcio	33%	10		Natural stone plate, grounded {GLO}   market for   Alloc Rec, S			
			Allumina	33%	10		Aluminium oxide {GLO}   market for   Alloc Def, S			
			Microfibre	\	\		Polypropylene, granulate {GLO}   market for   Alloc Def, S			

Tabella 5.4 Mix di polveri

RIFIUTI	ATTUALE PROCESSO DI SMALTIMENTO	CODICE CER	COSTI DI SMALTIMENTO [€/kg]	FREQUENZA DI SMALTIMENTO all'anno	TRASPORTO SMALTIMENTO GERMANIA [tkm]	TRASPORTO SMALTIMENTO OLANDA [tkm]
MIX DI LIQUIDI di varie nature chimiche	Termovalorizzatore	07.02.08	0,38-1,22	36	61,06	67,51
MIX DI POLVERI		16.03.04	0,42			

Tabella 5.5 Smaltimento

### 5.4.3 ANALISI LCI – ETA BLADES

L'analisi degli scarti annui di Eta Blades fa riferimento alla generazione di scarti e sfridi relativi alla produzione di una pala eolica da 24 m; ogni anno vengono smaltiti in discarica circa 106 pezzi che, mediamente, coincidono a 38000 kg l'anno. Si distinguono tre categorie di scarti:

- gli scarti in fibra di vetro, pari a circa il 38% dei rifiuti totali;
- i rifiuti plastici, pari al 66% dei rifiuti totali;
- le polveri di scarti di rivestimenti, pari al 2% dei rifiuti totali.

Gli scarti in fibra di vetro (fig. 5.6) provengono dal taglio e dalla rifilatura del tessuto vergine durante la fase di lavorazione delle pale eoliche in vetroresina; questi processi servono a preparare, in lunghezza e larghezza, il tessuto necessario al successivo trattamento di impregnazione con la resina. Il rifiuto risulta, dal punto di vista della sua composizione chimica e della sua pulizia, uguale alla materia prima originale.



Figura 5.6 Scarti in fibra di vetro

La grammatura degli scarti in fibra di vetro può variare a seconda della produzione in corso (es. unidirezionale 1200 g/m<sup>2</sup>, biassiale 400/600/800 g/m<sup>2</sup>, triassiale 900 g/m<sup>2</sup>). Per l'analisi degli impatti associati agli scarti in fibra di vetro, nel database Ecoinvent del software SimaPro la fibra di vetro è stata caratterizzata con il materiale "Glass fibre". La classificazione del rifiuto avviene mediante attribuzione del codice CER [31] 10.11.03 – SCARTI DI MATERIALI IN FIBRA A BASE DI VETRO: la classe 10 identifica i rifiuti da processi termici, la sottoclasse 10.11 identifica i rifiuti della fabbricazione del vetro e di prodotti di vetro. I costi di smaltimento sono di 0,28 €/kg. Di seguito, nella tabella 5.6 sono riassunte le informazioni appena esplicate.

RIFIUTI	QUANTITÀ [kg/pala]	QUANTITÀ [%]	TIPOLOGIA DI RIFIUTO	MATERIALE	COMPOSIZIONE	MATERIALE SIMAPRO	ATTUALE PROCESSO DI SMALTIMENTO	COSTI DI SMALTIMENTO [€/kg]	CODICE CER
SCARTI IN FIBRA DI VETRO	116	32%	Scarto fibra di vetro	Fibra di vetro	Fibra di vetro	Glass fibre {GLO}   market for   Alloc Def, S	Discarica	0,28	10.11.03

Tabella 5.6 Scarti in fibra di vetro

I rifiuti plastici rappresentano la parte più sostanziosa degli scarti; essi sono classificati con il codice CER [31] 07.02.13 – RIFIUTI PLASTICI- tipo 1: la classe 07 identifica i rifiuti dei processi chimici organici, mentre la sottoclasse 07.02 identifica i rifiuti della produzione ed uso di plastiche; i costi di smaltimento sono di 0,28 €/kg.

Di seguito si riportano i rifiuti che appartengono a questa categoria e i relativi dataset nel software SimaPro:

- Scarti di PVC pulito (fig. 5.7): il PVC è utilizzato per la realizzazione della struttura interna della pala prima della fase di resinatura. Per la formazione di tale struttura in PVC, si procede al corretto dimensionamento dei pezzi mediante taglio da fogli in PVC originando ritagli di scarto che non possono trovare utilizzo in azienda e che, costituendo rifiuto, devono essere avviati allo smaltimento. Per il PVC è stato scelto come materiale presente nel database "*Polyvinylchloride, bulk polymerised*".



Figura 5.7 Sarti di PVC pulito

- I consumabili resinati (fig. 5.8): sono costituiti da tutti quei materiali impiegati nel processo di infusione che a fine di ogni singolo processo vengono rimossi dal manufatto stampato; risultano in ogni caso inutilizzabili per altri processi di infusione e sporchi di resina catalizzata. I principali componenti di questa categoria sono:
  - i sacchi per il vuoto in nylon modellati con "*Nylon 6-6*";
  - il sigillante per il sacco del vuoto in gomma butilica modellato con "*Synthetic rubber*" e "*Butyl acrylate*";
  - il peel pay in nylon: un tessuto impregnato con la resina epossidica per evitare la formazione di bolle d'aria omogeneizzando il quantitativo di resina sulla superficie modellato con "*Nylon 6-6*";

- le torrette composte da Polietilene a bassa densità LDPE modellate con “*Polyethylene, low density, granulate*”;
- tessuti aeratori o reti di areazione in polietilene HDPE modellati con “*Polyethylene, high density, granulate*”.



Figura 5.8 Consumabili resinati

- I tubi in PET (fig. 5.9) per l'impianto infusione con resina catalizzata di scarto: il rifiuto si origina dal processo produttivo di resinatura sottovuoto (infusione) che prevede un'aspirazione della resina all'interno dello stampo; per evitare il procedimento di resinatura manuale si utilizzano dei supporti in fibra di vetro o carbonio precedentemente posizionati e sigillati con un sacco da vuoto. La resina viene aspirata e portata nello stampo attraverso i tubi in polietilene che a fine processo risultano pieni di resina ormai polimerizzata, compatta e solida. Il tutto costituisce un insieme di natura plastica che non trova utilizzo e quindi l'azienda è costretta al suo smaltimento. Per la modellazione, i tubi in PET e la resina catalizzata di scarto sono stati presi separatamente, i primi sono stati caratterizzati con il materiale “*Polyethylene, linear low density, granulate*”, la seconda con “*Epoxy resin, liquid*”.



Figura 5.9 Tubi in PET

- Rifiuti derivanti dal taglio della radice della pala (fig. 5.10) e dalla rifilatura della pala: la finitura della radice è una delle fasi finali di lavorazione della pala che prevede il suo taglio e la sua foratura secondo specifiche tecniche attraverso un robot a controllo numerico. In questa fase si origina uno scarto di lavorazione costituito da un disco in materiale composito. Tale composito risulta essere vetro-carbonio (assimilabile a Vetoresina -VTR) per gli scarti derivanti dal taglio della radice della pala; essi sono composti da circa un 30% di resina epossidica, il cui materiale di riferimento nel software è “*Epoxy resin, liquid*” e da un 60% di rinforzo, a sua volta formato da circa un 70% di fibra di vetro (“*Glass fibre*”) e un 30% di fibra di carbonio (“*Carbon fibre (CF)*”). I rifiuti dovuti alla rifilatura della pala allo stesso modo sono costituiti da materiale composito che risulta essere una combinazione di circa il 50% di adesivo epossidico e 20% di resina epossidica, caratterizzati entrambi con “*Epoxy resin, liquid*”, 30% di fibra di vetro, caratterizzato con “*Glass Fibre*”.



Figura 5.10 Scarto dal taglio della radice della pala

Di seguito la tabella 5.7 riassume i concetti appena esplicitati con le quantità relative ai componenti e sottocomponenti di questa categoria.

RIFIUTI	QUANTITÀ [kg/pala]	QUANTITÀ [%]	TIPOLOGIA DI RIFIUTO	QUANTITÀ [kg/anno]	QUANTITÀ [%]	MATERIALE	COMPOSIZIONE	MATERIALE SIMAPRO	QUANTITÀ SOTTO COMPONENTI [kg/anno]	QUANTITÀ SOTTO COMPONENTI [%]	ATTUALE PROCESSO DI SMALTIMENTO	COSTO DI SMALTIMENTO	CODICE CER	
R I F I U T I  P L A S T I C I	25440	66%	Scarti PVC pulito	1590	4%	PVC	Polivinilcloruro	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO}  market for   Alloc Def, S			D I S C A R I C A	0,28	07. 02. 13	
			Sacco del vuoto	1802	5%	Sacco in Nylon	Poliammide	Nylon 6-6 {GLO}  market for   Alloc Def, S						
			Sigillante per sacco vuoto	1060	3%	Gomma butilica (IIR )	Gomma sintetica	Synthetic rubber {GLO}  market for   Alloc Def, S	742	70%				
							Butilacrilato	Butyl acrylate {GLO}  market for   Alloc Def, S	318	30%				
			Rete di areazione	1166	3%	Polietilene HDPE	Polietilene	Polyethylene, high density, granulate {GLO}  market for   Alloc Def, S						
			Peel play	742	2%	Nylon	Poliammide	Nylon 6-6 {GLO}  market for   Alloc Def, S						
			Tubi impianto infusione	2332	6%	Tubi in polietilene	Polietilene	Polyethylene, linear low density, granulate {GLO}  market for   Alloc Def, S						
			Resina catalizzata di scarto	12932	34%	Resina Epossidica catalizzata	Resina epossidica	Epoxy resin, liquid {GLO}  market for   Alloc Def, S						
			Torrette	106	0%	Polietilene a bassa densità LDPE	Polietilene	Polyethylene, low density, granulate {GLO}  market for   Alloc Def, S						
			Taglio radice pala	3180	8%	Materiale composito Vetro-carbonio (assimilabile a VTR)	Resina epossidica	Epoxy resin, liquid {GLO}  market for   Alloc Def, S	1272	40%				
							60% Rinforzo	70% Fibra di vetro	Glass fibre {GLO}  market for   Alloc Def, S	1336				42%
								30% Fibra di carbonio	Carbon fibre (CF)	572				18%
			Rifilatura pala	530	1%	Materiale composito	Adesivo epossidico	Epoxy resin, liquid {GLO}  market for   Alloc Def, S	265	50%				
Fibra di vetro	Glass fibre {GLO}  market for   Alloc Def, S	159					30%							
Resina epossidica	Epoxy resin, liquid {GLO}  market for   Alloc Def, S	106					20%							

Tabella 5.7 Rifiuti plastici

Infine, l'ultima tipologia di scarto riguarda le polveri di scarti di rivestimenti, derivanti dalla carteggiatura della pala, prevalentemente costituite da polvere di stucco epossidico. Nella valutazione delle polveri associate agli scarti di rivestimenti, la composizione è stata stimata come combinazione di resina epossidica all' 80%, caratterizzato con "Epoxy resin, liquid" nel database e isolante di resina epossidica e silice al 20%, caratterizzato con "Epoxy resin insulator, SiO2"; la presenza della silice risulta necessaria per addensare le resine e ottenere stucchi/adesivi. Il codice CER [31] ad esse associato è 08.02.01- POLVERI DI SCARTO DI RIVESTIMENTI: la classe 08 identifica rifiuti della produzione, formulazione, fornitura ed uso di rivestimenti (pitture, vernici e smalti vetrati), adesivi, sigillanti e inchiostri per stampa, la sottoclasse 08.02 identifica rifiuti della produzione, formulazione, fornitura ed uso di altri rivestimenti (inclusi materiali ceramici); i costi di smaltimento sono di 0,6 €/kg. Di seguito si riassumono i concetti appena esplicitati mediante la tabella 5.8.

RIFIUTI	QUANTITÀ [kg/pala]	QUANTITÀ [%]	TIPOLOGIA DI RIFIUTO	MATERIALE	COMPOSIZIONE	MATERIALE SIMAPRO	QUANTITÀ COMPONENTI [kg/anno]	QUANTITÀ COMPONENTI [%]	ATTUALE PROCESSO DI SMALTIMENTO	COSTI DI SMALTIMENTO [€/kg]	CODICE CER
POLVERI DI SCARTI DI RIVESTIMENTI	636	2%	Polveri di carteggiatura pala	Polvere di stucco epossidico	Resina epossidica	Epoxy resin, liquid [GLO]   market for   Alloc Def, S	509	80%	Discarica	0,6	08.02.01
					Isolante di resina epossidica e silice	Epoxy resin insulator, SiO2 [GLO]   market for   Alloc Def, S	127	20%			

Tabella 5.8 Polveri di scarti di rivestimenti

#### 5.4.4 ANALISI LCI – SIMEG

I principali rifiuti prodotti da Simeg sono i pezzami, che rappresentano il quantitativo più importante, i fanghi, gli abrasivi di scarto e le polveri. Attualmente sono smaltiti grazie a un'autorizzazione regionale trentennale in un'attività di risanamento ambientale di una cava di breccia dismessa distante circa 2 km dalla sede aziendale; l'operazione consiste nel mettere del materiale inerte sul vuoto lasciato dall'escavazione della breccia negli anni '60/'70; è stato già recuperato un fronte di cava, si sta lavorando sul secondo fronte. Dato che Simeg vorrebbe valutare altre destinazioni d'uso associate al fine vita, nel frattempo, in collaborazione con l'Università degli studi di

Camerino, sta portando avanti un'azione di mappatura dei pezzami per valutare la corretta composizione.

Il codice CER [31] ad essi associato è lo stesso per pezzami, fanghi e abrasivi di scarto, ovvero 01.04.13 - RIFIUTI PRODOTTI DAL TAGLIO E DALLA SEGAGIONE DELLA PIETRA, mentre per le polveri il codice CER [31] è 01.04.10 - POLVERI E RESIDUI AFFINI; la classe 01 rappresenta rifiuti derivanti da prospezione, estrazione da miniera o cava, nonché dal trattamento fisico o chimico di minerali, mentre la sottoclasse 01.04 identifica i rifiuti prodotti da trattamenti chimici e fisici di minerali non metalliferi. Nella tabella sottostante (tab. 5.9) vengono riassunti i principali materiali con il relativo peso e codice CER.

MATERIALI	CODICE CER	QUANTITÀ [Kg/anno]	QUANTITÀ [%]
Pezzami	01.04.13	410400	82,3
Fanghi	01.04.13	86400	17,3
Abrasivi di scarto	01.04.13	1085	0,2
Polveri	01.04.10	840	0,2

Tabella 5.9 Scarti di Simeg

I pezzami sono i cascami delle lastre che si lavorano nella produzione di manufatti per l'edilizia (scale, pavimenti, rivestimenti,...) o per il settore dell'arredamento (piani cucina, piani tavolo, piani di bagno,...). Essi derivano dalle lavorazioni di taglio, in quanto, quando da una lastra grande si realizzano i pezzi destinati ad un'ulteriore lavorazione, si generano degli scarti di processo che vengono accumulati in cassoni posti vicino alle macchine da taglio. Periodicamente, circa cinque volte al mese, tali cassoni vengono scaricati su dei camion e portati al sito per il risanamento ambientale (quasi il 100% dei pezzami viene utilizzato per risanare la cava salvo piccole quantità trascurabili che potrebbero essere



riutilizzate per altri lavori). La loro composizione è costituita prevalentemente da gres porcellanato (40%), poi in ordine decrescente in termini di peso da scarti di pietra naturale (marmo), scarti di pietra naturale (granito), agglomerati di quarzo e marmo.

Per la realizzazione del gres porcellanato, il vetro superficiale viene trattato con una sorta di serigrafia e la superficie presenta delle grafiche che danno un'estetica di vario genere (riproduzioni simili a pietre naturali, legno, cemento, metallo); la pasta del materiale interna non ha le venature della superficie come nella pietra naturale. Esso è utilizzato nella lavorazione di lastre di grande formato fino a 320 x 160 cm e il trattamento è simile a quello della pietra naturale, infatti il circuito della lavorazione del marmo si è adattato alla lavorazione delle lastre di gres porcellanato di grande formato. I minerali principali che costituiscono questo materiale ceramico inerte [32] sono:

- Argille (circa il 40-50%);
- Feldspati e feldspatoidi (circa il 45-48%);
- Sabbie silicee (circa il 6-7%).

Nell'analisi è stato preso un valore medio delle percentuali trovate; i materiali presi dal database e poi modellati per l'analisi degli impatti sono "Clay" per l'argilla, "Feldspar" per i feldspati e "Silica sand" per le sabbie silicee. Gli scarti di pietra naturale in marmo e granito sono stati caratterizzati con "*Natural stone plate, cut*"; è stata scelta la forma "cut" per differenziarli dagli agglomerati in cui questi materiali si presentano sotto forma di polvere. Gli agglomerati di marmo e quarzo, infatti, sono composti all'incirca per il 93% da pietra naturale (nel primo caso scaglie di marmo, nel secondo, polvere o granulato di quarzo) caratterizzate con "*Naturale stone plate, grounded*" e per il restante 7% di resina poliestere ("*Polyester resin, unsaturated*").

Le dimensioni dei pezzami dipendono sia dal materiale che li compongono, sia dal motivo per cui sono stati scartati; nel caso in cui ci siano difetti di tipo strutturale e non possono essere utilizzati risultano grandi, se invece sono pezzi residuali che derivano dalle operazioni di taglio, hanno grandezze minori

che possono diminuire, rompendosi ulteriormente, quando vengono gettati nei cassoni. Gli spessori variano invece a seconda del materiale:

- Materiali naturali: spessore delle lastre di 20 e 30 mm;
- Quarzo agglomerato: spessore delle lastre di 20 e 30 mm;
- Ceramiche: spessori delle lastre di 3, 5, 7, 9, 12, 20 mm.

Di seguito una tabella riassuntiva associata ai pezzami (tab. 5.10).

RIFIUTI	QUANTITÀ [kg/anno]	MATERIALE	QUANTITÀ MATERIALE [%]	COMPOSIZIONE	MATERIALE SIMAPRO	QUANTITÀ COMPOSIZIONE [kg/anno]	QUANTITÀ COMPOSIZIONE [%]
PEZZAMI	410400	Gres porcellanato	40%	Argilla	Clay {GLO}  market for   Alloc Def, S	78797	48%
				Feldspati	Feldspar {GLO}  market for   Alloc Def, S	75514	46%
				Sabbia silicee	Silica sand {GLO}  market for   Alloc Def, S	9850	6%
		Scarti di pietra naturale (marmo)	35%	Marmo	Natural stone plate, cut {GLO}  market for   Alloc Def, S	143640	
		Scarti di pietra naturale (granito)	15%	Granito	Natural stone plate, cut {GLO}  market for   Alloc Def, S	61560	
		Agglomerati di quarzo	9%	Polvere o granulato di quarzo	Natural stone plate, grounded {GLO}  market for   Alloc Rec, S	34350	93%
				Resina poliestere	Polyester resin, unsaturated {GLO}  market for   Alloc Def, S	2586	7%
		Agglomerati di marmo	1%	Scaglie di marmo	Natural stone plate, grounded {GLO}  market for   Alloc Rec, S	3817	93%
				Resina poliestere	Polyester resin, unsaturated {GLO}  market for   Alloc Def, S	287	7%

Tabella 5.10 Pezzami

I fanghi, prevalentemente composti da polveri di marmo, sono prodotti da un processo che deriva dal ricircolo di acqua di lavorazione. Le macchine da taglio (fresatrici con dei dischi caratterizzati da placche diamantate) lavorano con una certa quantità di acqua utilizzata per il raffreddamento dei dischi stessi e per portar via la quantità di materiale che viene abraso dalla lavorazione.

L'acqua in uscita dal processo, appesantita dalla presenza di polveri di marmo, prima viene raccolta sul pavimento, dopo su canalizzazioni poste in prossimità di ogni macchina e infine convogliata in un pozzo di raccolta fuori dallo stabilimento dove è presente un impianto di depurazione.

Successivamente viene portata in un decantatore in cui nella parte alta l'acqua rimane depurata in modo da essere riutilizzabile per il ciclo successivo di lavorazione e rimessa in circolo, mentre nella parte bassa, in prossimità di un cono, precipitano tutte le polveri sospese. Con un processo di filtraggio, mediante una filtro pressa, si ricavano dei fanghi disidratati, palabili; ogni volta che si fa una pressata si producono dei panetti, che vengono rilasciati quando la filtropressa si apre e accumulati nell'area sottostante la macchina posta ad un'altezza di circa 4 m. Approssimativamente una volta al mese vengono portati nella cava dove si mescolano insieme ai pezzami.

Nello studio, i fanghi (tab. 5.11) sono stati modellati unicamente come composti da polveri di marmo nella formula "Natural stone plate, grounded" e non con la stessa composizione dei pezzami.

RIFIUTI	QUANTITÀ [kg/anno]	MATERIALE	COMPOSIZIONE	MATERIALE SIMAPRO	ATTUALE PROCESSO DI SMALTIMENTO	CODICE CER
FANGHI	86400	Polveri di marmo	Marmo	Natural stone plate, grounded {GLO}  market for   Alloc Rec, S	Processo di decantazione e uso della filtropressa + Risanamento ambientale cava di breccia dismessa	01.04.13

Tabella 5.11 Fanghi

Le polveri vengono catturate durante le fasi di lavorazioni a secco nelle attività di rifinitura fatte manualmente con dei flessibili manovrati da un operatore che lavora su un piano aspirato. Queste e gli abrasivi di scarto vengono consegnati a smaltitori autorizzati che li ritirano una o due volte l'anno in cassoni o in big bags e poi provvedono allo smaltimento. Nell'analisi degli impatti associati agli scarti, le polveri e gli abrasivi di scarto sono stati trascurati in quanto è

stata assunta come ipotesi di cut-off l'eliminazione di componenti aventi peso minore o uguale dell'1% della massa totale di scarto.

L'ultima indicazione importante riguarda la valutazione dell'impatto relativo al trasporto per lo smaltimento. In funzione della quantità di rifiuti e della frequenza di smaltimento è stato prima valutato il carico del mezzo d'opera per ogni viaggio, successivamente è stato scelto un mezzo opportuno e infine, considerando la distanza tra il sito di prelievo e la discarica, è stato calcolato il valore necessario da immettere nel software in tkm (tab. 5.12).

VALUTAZIONE TRASPORTO PER SMALTIMENTO							
RIFIUTI	QUANTITÀ [kg]	FREQUENZA SMALTIMENTO [mese]	FREQUENZA DI SMALTIMENTO [anno]	CARICO DEL MEZZO D'OPERA [kg]	MEZZO UTILIZZATO	DISTANZA DISCARICA [km]	TRASPORTO PER LO SMALTIMENTO [tkm]
PEZZAMI	410400	5	60	6840	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 {GLO}  market for   Alloc Def, S	2	820,8
FANGHI	86400	1	12	7200			172,8

Tabella 5.12 Valutazione del trasporto per lo smaltimento

## 5.5 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI

L'analisi degli impatti segue la fase di LCI; si andranno quindi a inserire i valori nel Software Simapro utilizzando il metodo di calcolo ReCiPe Midpoint (H) per la valutazione a livello medio delle 18 categorie di impatto mediante l'uso di opportuni fattori di caratterizzazione. Nell'ambito della ricerca di questo studio verranno estratti solo i dati relativi alle 10 categorie di impatto precedentemente descritte. In riferimento alla normalizzazione si utilizzerà il metodo ReCiPe Endpoint (H) per la valutazione a livello finale delle 3 categorie di danno a partire dalle 18 categorie di Midpoint.

## 5.5.1 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI – DELTA

### VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DI MIDPOINT

Nella valutazione degli impatti di midpoint vengono analizzate due fasi di processo: Delta, detta anche material, inerente allo stato di pre-produzione e Delta fine vita, la parte dell'end of life; questo contributo è associato al fatto che il 100% degli scarti è inviato in discarica. La seguente tabella (tab. 5.13) descrive la quantificazione del contributo di ogni categoria di impatto.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Delta	Delta fine vita
Climate change	kg CO2 eq	353313,05	351999,84	1313,21
Fossil depletion	kg oil eq	125437,93	124714,12	723,81
Ionising radiation	kBq U235 eq	13766,60	13601,74	164,85
Agricultural land occupation	m2a	2386,31	2280,08	106,23
Metal depletion	kg Fe eq	1631,68	1567,76	63,91
Urban land occupation	m2a	838,97	651,74	187,23
Marine eutrophication	kg N eq	154,62	153,75	0,87
Freshwater eutrophication	kg P eq	40,33	40,20	0,13
Natural land transformation	m2	5,56	11,49	-5,93
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,01	0,01	0,00

Tabella 5.13 Categorie di impatto del ciclo vita (MIDPOINT) - Delta

Andando a graficare i risultati ottenuti (fig. 5.11) è possibile verificare come la parte pre-produttiva ha un peso maggiore sull'impatto globale dello scarto, mentre solo una piccola parte dell'impatto è associata al fine vita.

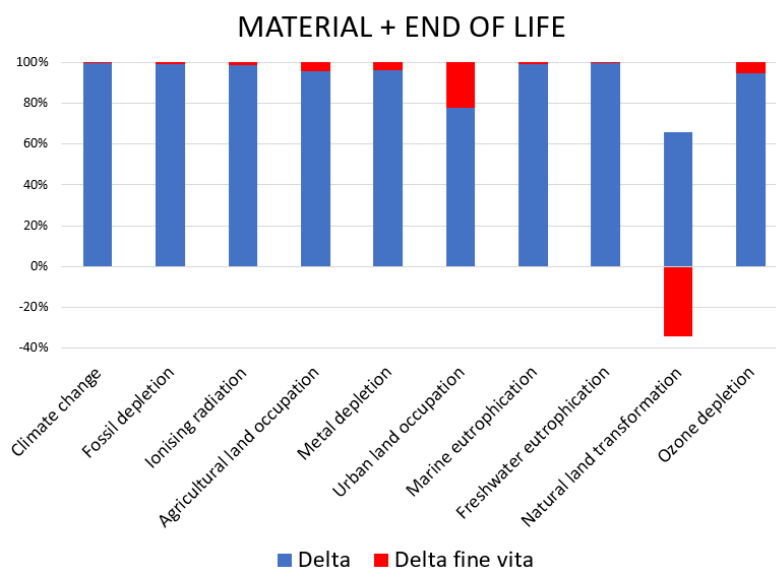


Figura 5.11 Valutazione degli impatti del ciclo vita (MIDPOINT) - Delta

Per avere un quadro generale è possibile anche normalizzare i risultati ottenuti, in questo modo si confronta il peso dei due processi analizzati per ogni categoria di impatto; i risultati sono visibili nella tabella 5.14 e nel grafico in figura 5.12.

Categoria d'impatto	Totale	Delta	Delta fine vita
Freshwater eutrophication	139,15	138,69	0,46
Fossil depletion	97,34	96,78	0,56
Climate change	51,23	51,04	0,19
Marine eutrophication	21,03	20,91	0,12
Ionising radiation	10,45	10,32	0,13
Metal depletion	3,67	3,53	0,14
Urban land occupation	1,08	0,84	0,24
Natural land transformation	0,46	0,95	-0,49
Agricultural land occupation	0,44	0,42	0,02
Ozone depletion	0,18	0,17	0,01

Tabella 5.14 Categorie di impatto del ciclo vita (MIDPOINT) normalizzate - Delta

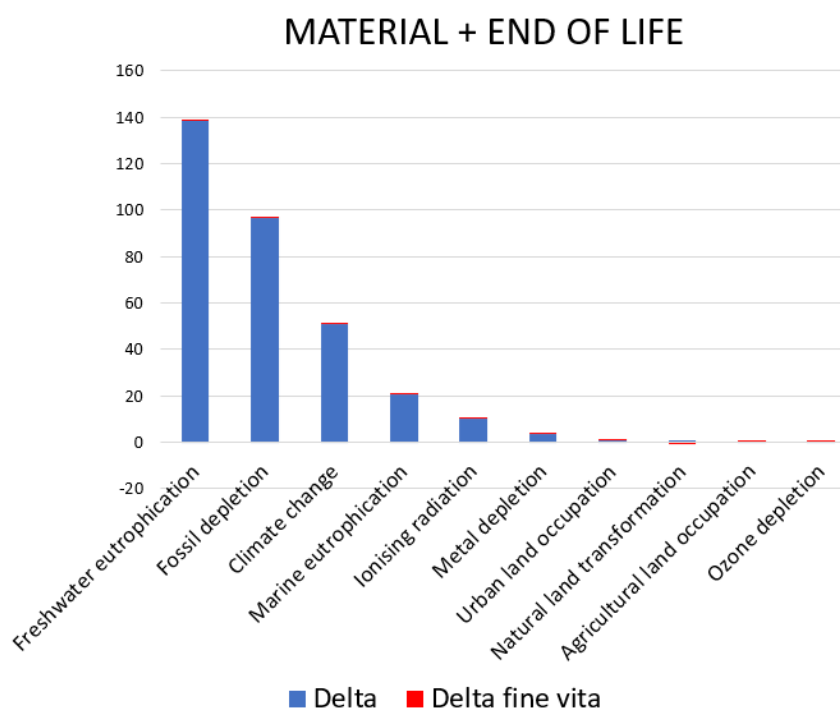


Figura 5.12 Valutazione degli impatti del ciclo vita (MIDPOINT) normalizzati – Delta

In conclusione, si può affermare che le categorie più impattanti (fig. 5.13) sono:

- *Freshwater eutrophication*;
- *Fossil depletion*;
- *Climate change*;
- *Marine eutrophication*;
- *Ionising radiation*.

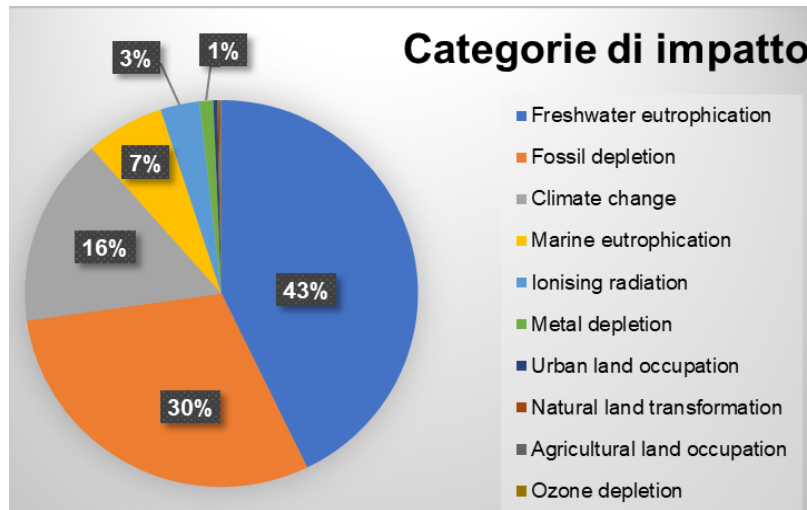


Figura 5.13 Categorie di impatto

Per quanto riguarda la valutazione degli impatti in fase material, ricordando che le due tipologie di scarto hanno stessa composizione, si evidenzia che la distribuzione degli impatti tra i componenti degli scarti è proporzionale alle loro quantità presenti nello scarto complessivo (tab 5.15 e fig. 5.14) ; mediamente gli scarti e gli sfridi dei lavelli costituiscono circa l' 87,5% dei rifiuti totali, mentre le polveri il 12,5%.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Scarti e sfridi lavelli	Polveri
Agricultural land occupation	m2a	2280,08	1882,40	397,68
Climate change	kg CO2 eq	351999,84	304730,08	47269,76
Fossil depletion	kg oil eq	124714,12	108218,12	16496,01
Freshwater eutrophication	kg P eq	40,20	34,09	6,11
Ionising radiation	kBq U235 eq	13601,74	11214,58	2387,17
Marine eutrophication	kg N eq	153,75	129,68	24,07
Metal depletion	kg Fe eq	1567,76	1308,12	259,64
Natural land transformation	m2	11,49	9,53	1,96
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,01	0,01	0,00
Urban land occupation	m2a	651,74	544,59	107,15

Tabella 5.15 Categorie di impatto (MIDPOINT) fase material - Delta

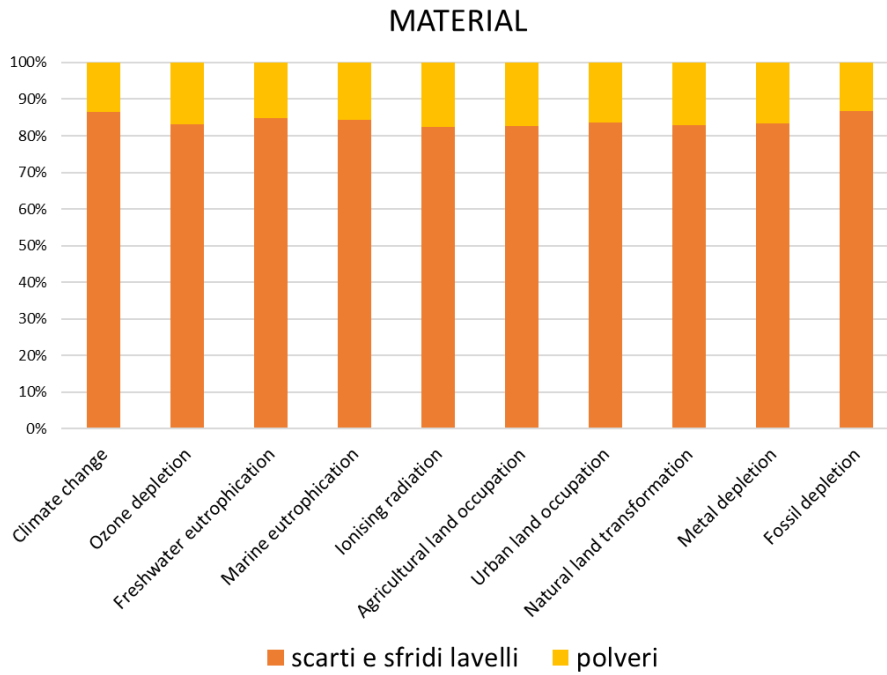


Figura 5.14 Valutazione degli impatti (MIDPOINT) fase material – Delta

Analizzando poi gli scarti e sfridi si può osservare la distribuzione degli impatti in funzione della natura del materiale e della loro quantità; nonostante il polimero metacrilico abbia un peso minore rispetto alla carica minerale, nella categoria relativa al *Climate change* e a *Fossil depletion*, ha un impatto maggiore (fig. 5.15).

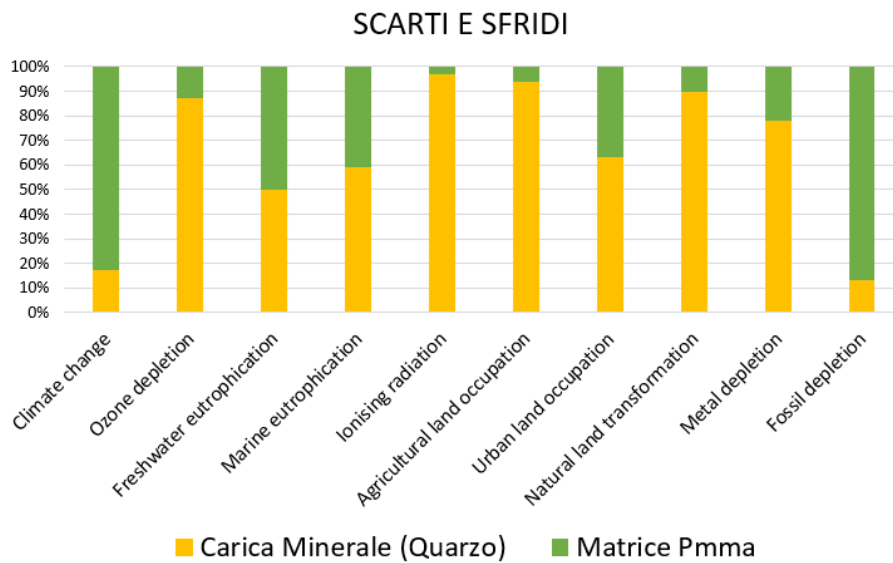


Figura 5.15 Valutazione degli impatti (MIDPOINT) scarti e sfridi – Delta



## VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DI ENDPOINT

Come descritto precedentemente, il confronto a livello endpoint permette di eseguire la valutazione dei danni raggruppando le 18 categorie d'impatto di midpoint in 3 categorie di danno (tab. 5.16).

Categoria di danno	Unità	Totale	Delta	Delta fine vita
Resources	\$	20852,27	20728,01	124,26
Human Health	DALY	1,13	1,12	0,00
Ecosystems	species.yr	0,00	0,00	0,00

Tabella 5.16 Categorie di danno del ciclo vita (ENDPOINT) - Delta

Si conferma che l'impatto dello scarto è assegnato per la maggior parte alla parte di pre-produzione dei materiali (fig. 5.16).

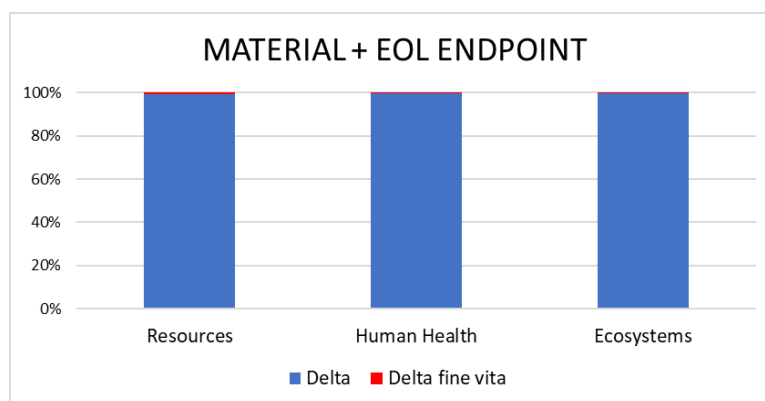


Figura 5.16 Valutazione degli impatti del ciclo vita ( ENDPOINT) – Delta

Se si va a normalizzare (fig. 5.17), si evince che le categorie di danno predominanti sono quasi in egual misura *Resources* e *Human Health*, mentre solo una piccola percentuale è riservata a *Ecosystem*.

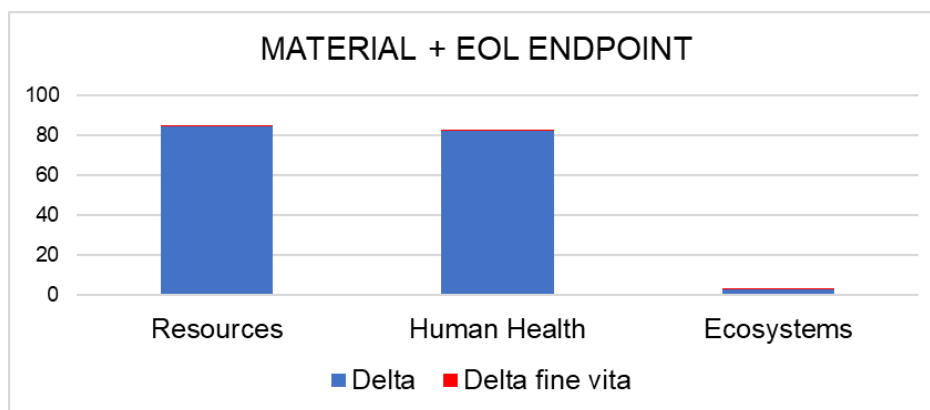


Figura 5.17 Valutazione degli impatti del ciclo vita (ENDPOINT) normalizzati – Delta

## INTERPRETAZIONE RISULTATI

L'impatto legato alla produzione e al trattamento in discarica degli scarti aziendali si concentra principalmente nella fase di pre-produzione degli scarti stessi (99,58%), mentre solo lo 0,42% riguarda la fase di fine vita (fig. 5.18). Il risultato può derivare in parte dal fatto che la modellazione nello strumento risulta essere più "precisa" nella fase di valutazione degli impatti per le materie prime rispetto alla valutazione del fine vita.

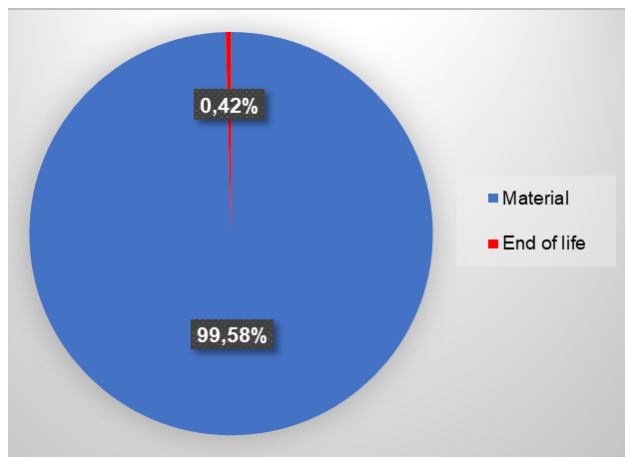


Figura 5.18 Confronto peso degli impatti fase material ed end of life - Delta

Nell'ottica del *Demanufacturing*, si possono considerare due differenti scenari di vita dello scarto prodotto e di conseguenza i benefici ambientali che se ne possono trarre:

1. Riutilizzo tal quale dello scarto, in modo da riadoperare il materiale in una nuova vita di un prodotto o componente; a questo è associato un beneficio ambientale legato al riutilizzo del materiale (pari all'impatto per la sua pre-produzione) e un beneficio legato al fatto di non conferirlo in discarica (pari all'impatto dell'end of life) o di conferirlo in quantità inferiore;
2. Trattamento alternativo e riutilizzo, nel primo caso il beneficio ambientale sarà pari alla differenza tra l'impatto attuale dell'end of life e quello futuro dell'end of life, nel secondo caso, il materiale andrà in sostituzione ad altra materia prima, pertanto il beneficio sarà pari alla fase di pre-produzione del materiale che si sostituisce.

## 5.5.2 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI – ELANTAS

### VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DI MIDPOINT

Nella valutazione degli impatti di midpoint vengono analizzate due fasi di processo: Elantas, detta anche material, inerente allo stato di pre-produzione e Elantas fine vita, la parte dell'end of life; questo contributo è associato al fatto che il 100% degli scarti è inviato nel termovalorizzatore. La seguente tabella (tab. 5.17) descrive la quantificazione del contributo di ogni categoria di impatto.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Elantas	Elantas fine vita
Climate change	kg CO2 eq	313865,1	267729,2	46135,9
Fossil depletion	kg oil eq	107478,0	105937,9	1540,1
Ionising radiation	kBq U235 eq	15525,6	15138,3	387,3
Metal depletion	kg Fe eq	6419,4	6273,5	145,9
Agricultural land occupation	m2a	3353,8	3251,9	101,9
Urban land occupation	m2a	1604,4	1231,9	372,6
Marine eutrophication	kg N eq	553,7	319,7	234,0
Freshwater eutrophication	kg P eq	49,5	48,2	1,3
Natural land transformation	m2	14,4	16,6	-2,2
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,0	0,0	0,0

Tabella 5.17 Categorie di impatto del ciclo vita (MIDPOINT) – Elantas

Andando a graficare ( fig. 5.19) i risultati ottenuti è possibile verificare come la parte pre-produttiva ha un peso prevalente sull'impatto globale dello scarto, mentre solo una piccola parte dell'impatto è associata al fine vita.

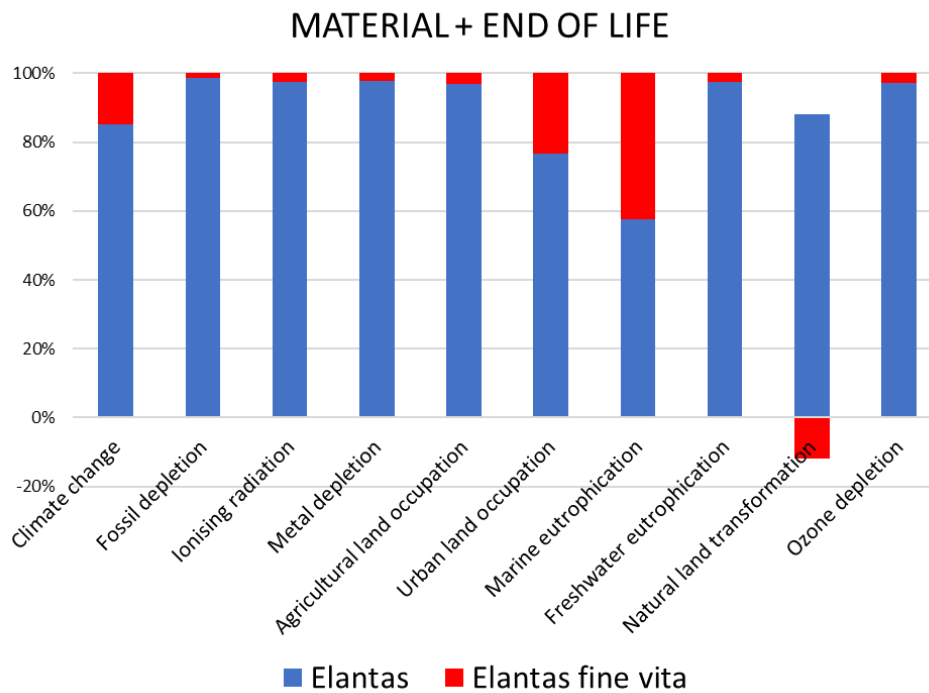


Figura 5.19 Valutazione degli impatti del ciclo vita (MIDPOINT) – Elantas

Per avere un quadro generale è possibile anche normalizzare i risultati ottenuti, in questo modo si confronta il peso dei due processi analizzati per ogni categoria di impatto; i risultati sono visibili nella tabella 5.18 e nel grafico in figura 5.20.

Categoria d'impatto	Totale	Elantas	Elantas fine vita
Freshwater eutrophication	119,3	116,1	3,1
Natural land transformation	89,1	102,8	-13,8
Fossil depletion	69,1	68,1	1,0
Marine eutrophication	54,7	31,6	23,1
Climate change	28,0	23,9	4,1
Metal depletion	9,0	8,8	0,2
Urban land occupation	3,9	3,0	0,9
Ionising radiation	2,5	2,4	0,1
Ozone depletion	1,3	1,3	0,0
Agricultural land occupation	0,7	0,7	0,0

Tabella 5.18 Categorie di impatto del ciclo vita (MIDPOINT) normalizzate – Elantas

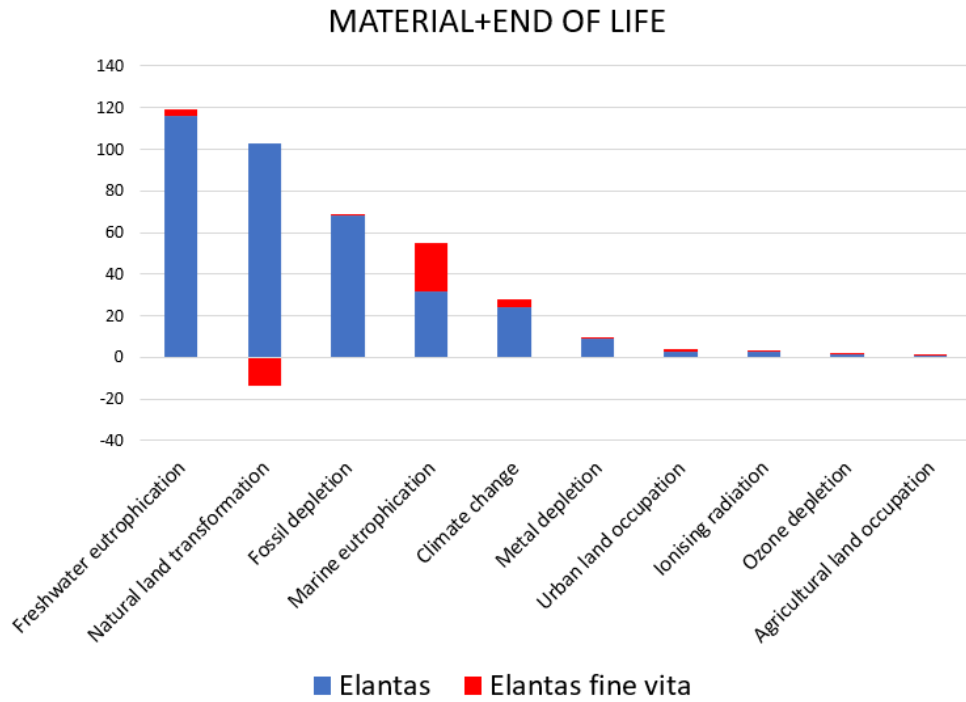


Figura 5.20 Valutazione degli impatti del ciclo vita (MIDPOINT) normalizzati – Elantas

In conclusione, si può affermare che le categorie più impattanti ( fig. 5.21) sono:

- *Freshwater eutrophication;*
- *Natural land transformation;*
- *Fossil depletion;*
- *Marine eutrophication;*
- *Climate change.*

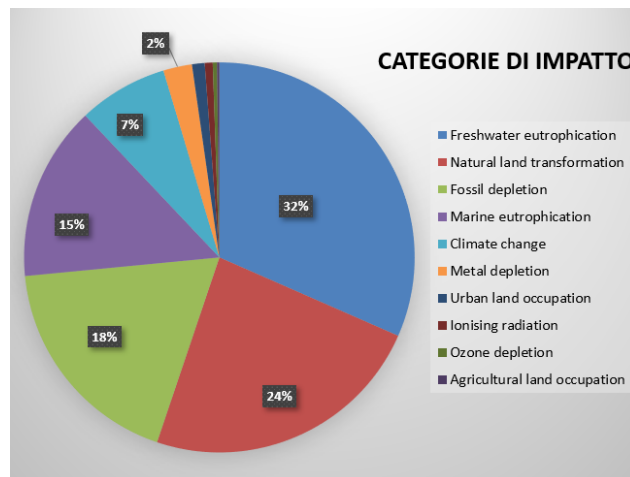


Figura 5.21 Categorie di impatto

Per quanto riguarda la valutazione degli impatti in fase material è interessante conoscere anche la distribuzione degli impatti tra i componenti degli scarti; si rappresentano prima i valori delle categorie di impatto (tab. 5.19) e l'andamento relativo alla caratterizzazione (fig. 5.22), poi quelli relativi alla normalizzazione. In entrambi i casi si evince che i mix di liquidi avendo un peso maggiore nello scarto complessivo sono i responsabili dei maggiori impatti.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Mix liquidi	Mix polveri
Climate change	kg CO2 eq	267729,2	231572,7	36156,5
Fossil depletion	kg oil eq	105937,9	95970,5	9967,4
Ionising radiation	kBq U235 eq	15138,3	10440,9	4697,4
Metal depletion	kg Fe eq	6273,5	4650,2	1623,2
Agricultural land occupation	m2a	3251,9	2395,6	856,3
Urban land occupation	m2a	1231,9	813,7	418,2
Marine eutrophication	kg N eq	319,7	283,3	36,3
Freshwater eutrophication	kg P eq	48,2	35,3	12,9
Natural land transformation	m2	16,6	11,4	5,3
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,0	0,0	0,0

Tabella 5.19 Categorie di impatto (MIDPOINT) fase material – Elantas

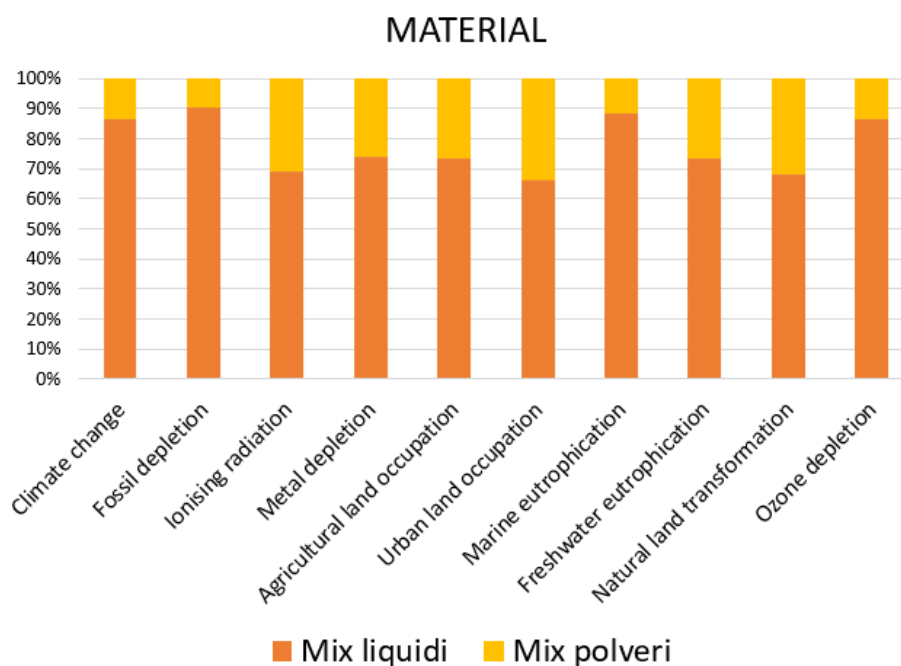


Figura 5.22 Valutazione degli impatti (MIDPOINT) fase material - Elantas

Effettuando infatti la normalizzazione attraverso opportuni fattori di conversione si ottengono i risultati visibili nella tabella 5.20 e poi graficati in figura 5.23.

Categoria d'impatto	Totale	Mix liquidi	Mix polveri
Freshwater eutrophication	116,1	85,2	31,0
Natural land transformation	102,8	70,3	32,6
Fossil depletion	68,1	61,7	6,4
Marine eutrophication	31,6	28,0	3,6
Climate change	23,9	20,7	3,2
Metal depletion	8,8	6,5	2,3
Urban land occupation	3,0	2,0	1,0
Ionising radiation	2,4	1,7	0,8
Ozone depletion	1,3	1,1	0,2
Agricultural land occupation	0,7	0,5	0,2

Tabella 5.20 Categorie di impatto fase material (MIDPOINT) normalizzate – Elantas

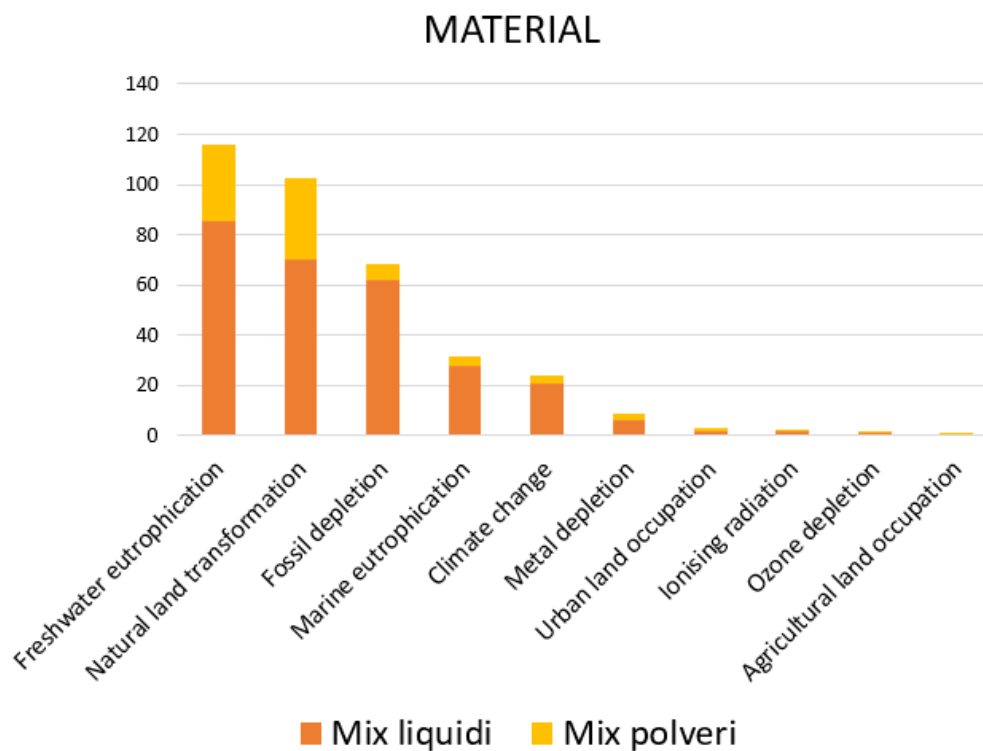


Figura 5.23 Valutazione degli impatti fase material (MIDPOINT) normalizzati – Elantas

Per concludere la modellazione a livello midpoint è interessante anche analizzare la distribuzione degli impatti in funzione della natura del materiale e della loro quantità dei mix di liquidi; prima di rappresentare la tabella è bene quantificare il peso percentuale dei singoli materiali sul totale dei mix di liquidi:

- polioli al 36%;
- poli-ammine al 14%;
- isocianati al 14%;
- resine epossidiche al 9%;
- resine epossidiche caricate con quarzo al 9%;
- resine epossidiche caricate con carbonati di calcio al 9%;
- resine epossidiche caricate con allumina al 9%.

Dal grafico in figura 5.24, prendendo come riferimento le categorie più impattanti elencate precedentemente, si può notare come nel caso di “*Climate Change*” e “*Fossil depletion*” gli impatti principali ricadono sui polioli e sulle poliammine, presenti in quantità maggiore, ma anche sulle resine epossidiche, che, nonostante abbiano un peso minore rispetto agli isocianati, appaiono più impattanti. Per le categorie “*Marine eutrophication*”, “*Freshwater eutrophication*” e “*Natural land transformation*” si evince come le poliammine presenti al 14% abbiano un’influenza maggiore rispetto ai polioli che sono i componenti principali di questa categoria; inoltre, sebbene gli isocianati siano in ordine di peso più consistenti delle resine epossidiche e delle resine epossidiche caricate con i minerali, si rileva che il loro impatto sia minore rispetto a queste ultime.



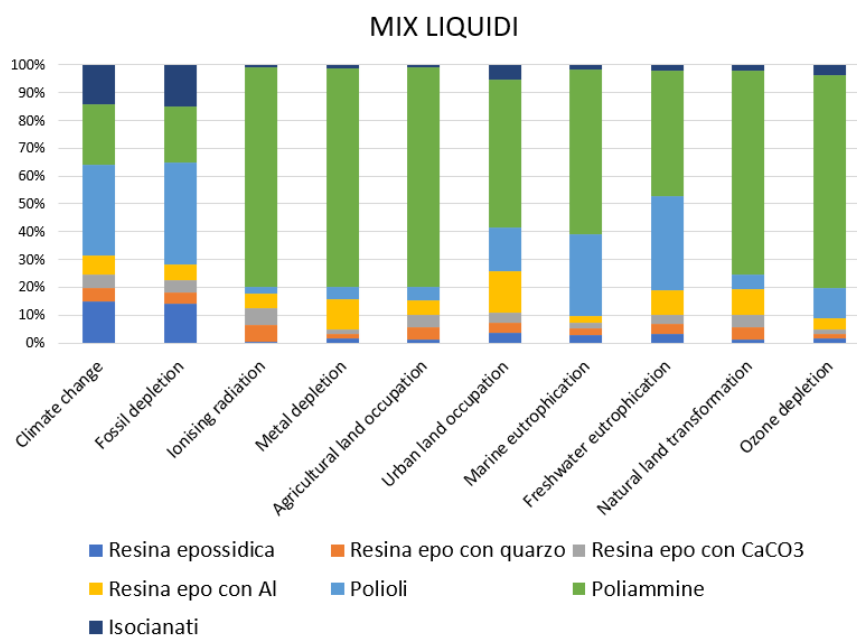


Figura 5.24 Valutazione degli impatti mix di liquidi (MIDPOINT) - Elantas

### VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DI ENDDPOINT

Come descritto precedentemente, il confronto a livello endpoint permette di eseguire la valutazione dei danni raggruppando le 18 categorie d'impatto di midpoint in 3 categorie di danno (tab. 5.21).

Categoria di danno	Unità	Totale	Elantas	Elantas fine vita
Resources	\$	18225,1	17960,0	265,1
Human Health	DALY	0,8	0,7	0,1
Ecosystems	species.yr	0,0	0,0	0,0

Tabella 5.21 Categorie di danno del ciclo vita ( ENDPOINT) – Elantas

Si conferma che l'impatto dello scarto è assegnato per la maggior parte alla parte di pre-produzione dei materiali, solo una piccola percentuale è dovuta al sistema di trattamento di fine vita (fig. 5.25).

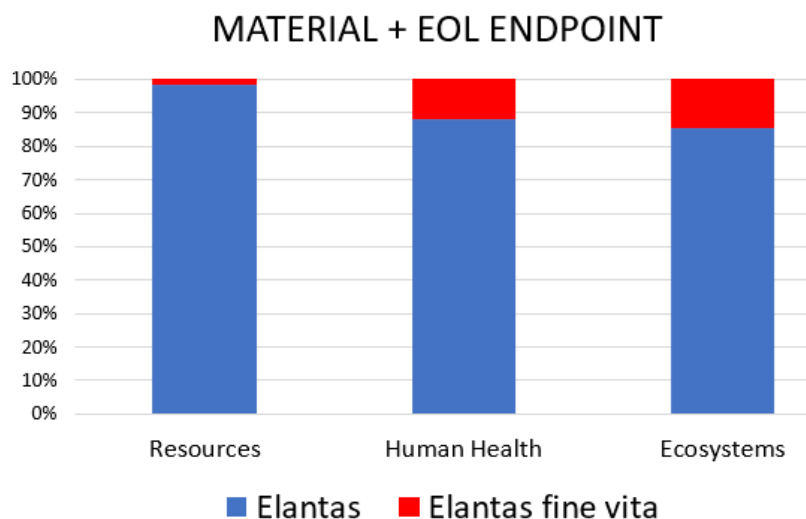


Figura 5.25 Valutazione degli impatti del ciclo vita (ENDPOINT) – Elantas

Se si va a normalizzare, si evince che la categoria di danno predominante è *Resources*, seguita da *Human Health*, mentre solo una piccola percentuale è riservata a *Ecosystem* (fig. 5.26).

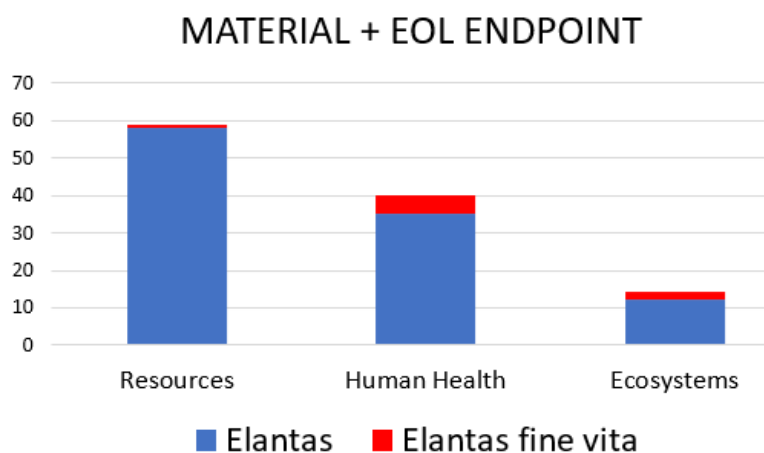


Figura 5.26 Valutazione degli impatti del ciclo vita ( ENDPOINT) normalizzati – Elantas

### INTERPRETAZIONE RISULTATI

Gli scarti generati dall'azienda Elantas sono caratterizzati da impatti ambientali legati alla produzione e al trattamento nel termovalorizzatore che si concentrano prevalentemente nella fase pre-produttiva (95%), piuttosto che nella fase di smaltimento (5%). La percentuale di circa il 5% nel fine vita potrebbe essere dovuta anche alla valutazione dei trasporti in fase di smaltimento. Questo risultato potrebbe essere in parte determinato dalla

modellazione stessa nello strumento, che in linea generale è più “preciso” nella fase di valutazione impatti per materie prime, rispetto alla valutazione impatti del fine vita (fig. 5.27).

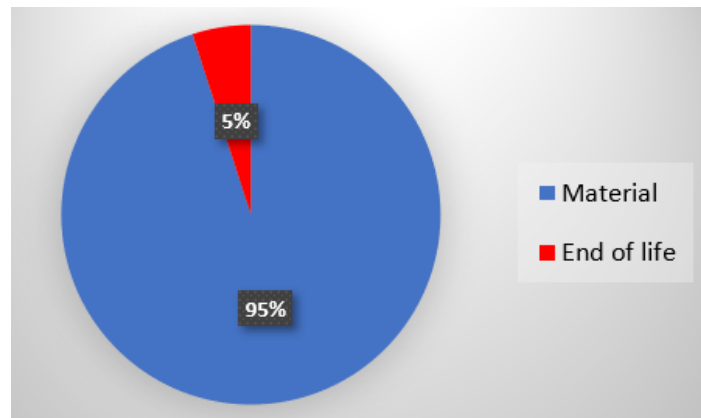


Figura 5.27 Confronto peso degli impatti fase material ed end of life – Elantas

Nell’ottica del *Demanufacturing*, si possono considerare due differenti scenari di vita dello scarto prodotto e di conseguenza i benefici ambientali che se ne possono trarre:

1. Riutilizzo tal quale dello scarto, in modo da riutilizzare il materiale in una nuova vita di un prodotto o componente, a questo è associato un beneficio ambientale legato al riutilizzo del materiale (pari all’impatto per la sua pre-produzione) e un beneficio legato al fatto di non conferirlo nel termovalorizzatore (pari all’impatto dell’end of life) o di conferirlo in quantità inferiore;
2. Trattamento alternativo e riutilizzo, nel primo caso il beneficio ambientale sarà pari alla differenza tra l’impatto attuale dell’end of life e quello futuro dell’end of life, nel secondo caso, il materiale andrà in sostituzione ad altra materia prima, pertanto il beneficio sarà pari alla fase di pre-produzione del materiale che si sostituisce.

Vista la differente natura delle materie prime di cui gli scarti sono costituiti, un maggior guadagno ambientale potrebbe risiedere nell’ottenere materia prima seconda attraverso tecnologie innovative di riciclo/recupero, più che nel riutilizzo tal quale degli scarti.

### 5.5.3 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI – ETA BLADES

#### VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DI MIDPOINT

Nella valutazione degli impatti di midpoint vengono analizzate due fasi di processo: Eta\_Blades, detta anche material, inerente allo stato di pre-produzione ed Eta fine vita, la parte dell'end of life; questo contributo è associato al fatto che il 100% degli scarti è inviato in discarica. La seguente tabella (tab. 5.22) descrive la quantificazione del contributo di ogni categoria di impatto.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Eta_blades	Eta fine vita
Climate change	kg CO2 eq	195115,89	194784,37	331,52
Fossil depletion	kg oil eq	74930,38	74747,66	182,72
Ionising radiation	kBq U235 eq	8367,01	8325,39	41,62
Metal depletion	kg Fe eq	3481,05	3464,92	16,13
Agricultural land occupation	m2a	2433,48	2406,66	26,82
Urban land occupation	m2a	615,38	568,11	47,27
Marine eutrophication	kg N eq	142,81	142,59	0,22
Freshwater eutrophication	kg P eq	19,92	19,88	0,03
Natural land transformation	m2	8,93	10,43	-1,50
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,01	0,01	0,00

Tabella 5.22 Categorie di impatto del ciclo vita ( MIDPOINT) - Eta

Andando a graficare i risultati ottenuti è possibile verificare come la parte pre-produttiva ha un peso prevalente sull'impatto globale dello scarto, mentre solo una piccola parte dell'impatto è associata al fine vita (fig. 5.28).

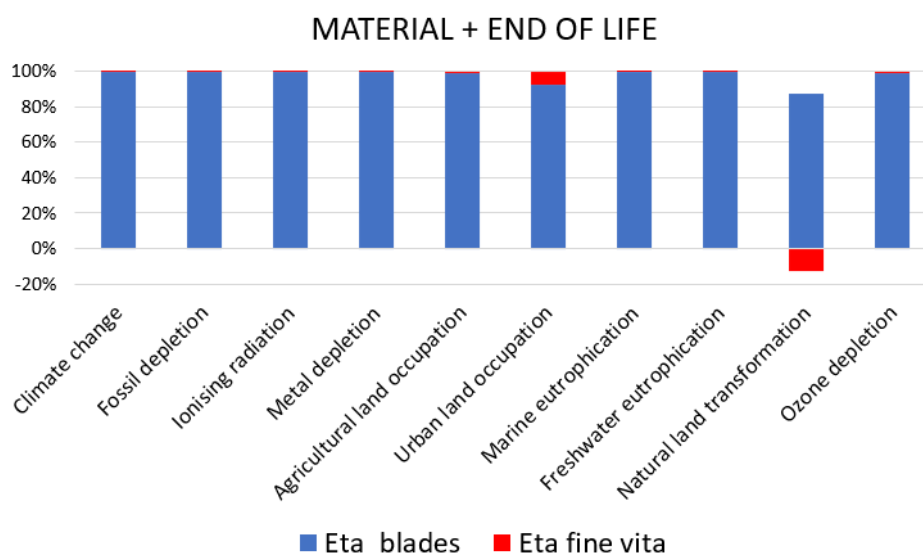


Figura 5.28 Valutazione degli impatti del ciclo vita (MIDPOINT) – Eta

Per avere un quadro generale è possibile anche normalizzare i risultati ottenuti, in questo modo si confronta il peso dei due processi analizzati per ogni categoria di impatto attraverso la tabella 5.23 in cui si quantificano i valori degli impatti e attraverso il grafico in figura 5.29.

Categoria d'impatto	Totale	Eta_blades	Eta fine vita
Freshwater eutrophication	68,71	68,60	0,12
Fossil depletion	58,15	58,00	0,14
Climate change	28,29	28,24	0,05
Marine eutrophication	19,42	19,39	0,03
Metal depletion	7,83	7,80	0,04
Ionising radiation	6,35	6,32	0,03
Urban land occupation	0,79	0,73	0,06
Natural land transformation	0,74	0,87	-0,12
Agricultural land occupation	0,45	0,44	0,00
Ozone depletion	0,21	0,20	0,00

Tabella 5.23 Categorie di impatto del ciclo vita (MIDPOINT) normalizzate – Eta

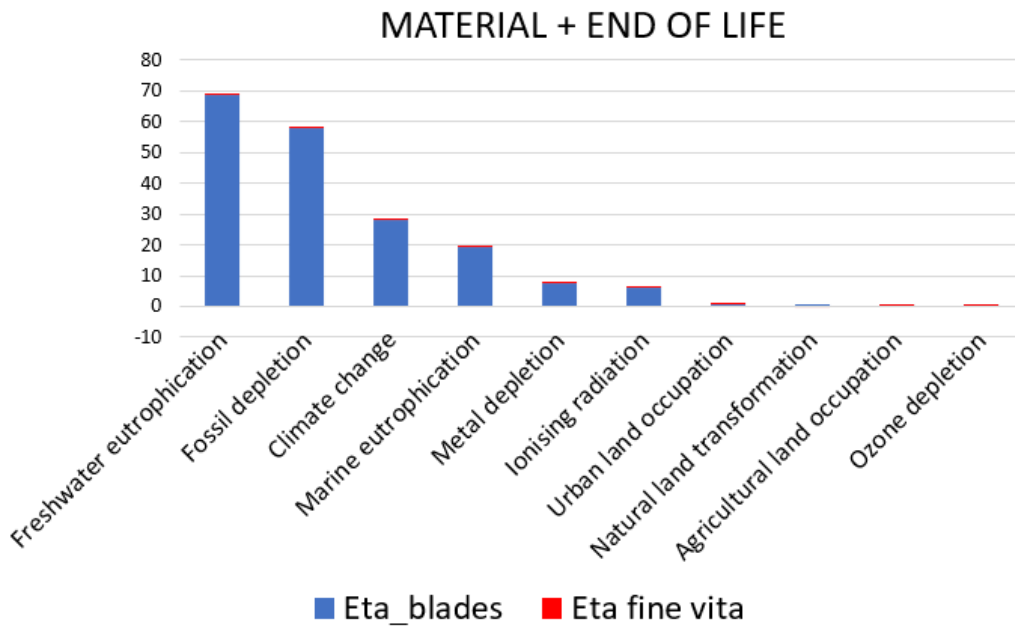


Figura 5.29 Valutazione degli impatti del ciclo vita (MIDPOINT) normalizzati – Eta

In conclusione, si può affermare che le categorie più impattanti (fig. 5.30) sono:

- *Freshwater eutrophication;*
- *Fossil depletion;*
- *Climate change;*
- *Marine eutrophication;*
- *Metal Depletion.*

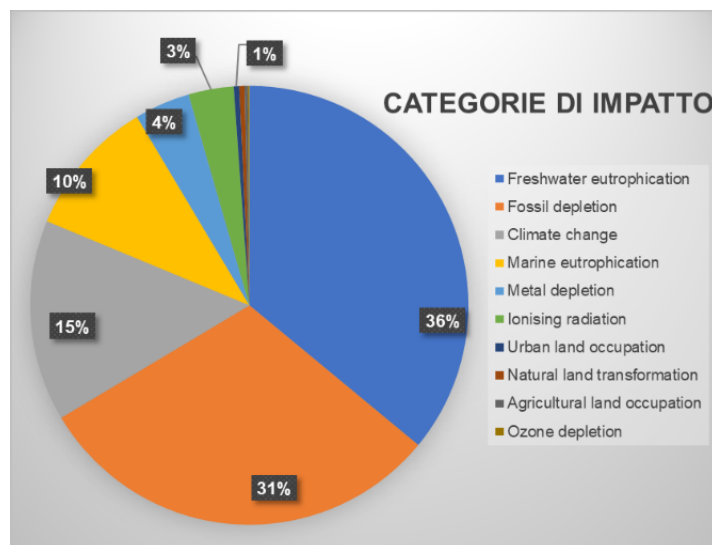


Figura 5.30 Categorie di impatto

Per quanto riguarda la valutazione degli impatti in fase material, gli scarti si differenziano in tre categorie che ricadono in tre diversi codici CER; per questo motivo è interessante conoscere anche il loro peso in relazione alle categorie di impatto analizzate. Si rappresenta prima l'andamento relativo alla caratterizzazione, poi quello relativo alla normalizzazione. I valori relativi alla caratterizzazione degli impatti sono visibili nella tabella 5.24. Dal grafico in figura 5.31 si evince che i rifiuti plastici e gli scarti in fibra di vetro sono i responsabili dei maggiori impatti; le polveri di scarti dei rivestimenti hanno un ruolo marginale anche perché costituiscono circa il 2% dei rifiuti totali. È importante inoltre notare come gli impatti siano diversificati a seconda delle categorie: nel caso di *Climate change* e *Fossil depletion*, i rifiuti plastici hanno un peso maggiore, mentre nel caso di *Ionising radiation* e *Metal depletion* l'impatto è determinato in maniera significativa dagli scarti in fibra di vetro.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Rifiuti plastici	Scarti in fibra di vetro	Polveri scarti rivestimenti
Climate change	kg CO2 eq	194784,37	159096,29	31860,01	3828,07
Fossil depletion	kg oil eq	74747,66	63999,03	9244,93	1503,70
Ionising radiation	kBq U235 eq	8325,39	3524,16	4794,87	6,35
Metal depletion	kg Fe eq	3464,92	1077,13	2379,75	8,04
Agricultural land occupation	m2a	2406,66	1514,13	889,06	3,47
Urban land occupation	m2a	568,11	294,38	269,60	4,13
Marine eutrophication	kg N eq	142,59	94,05	47,64	0,90
Freshwater eutrophication	kg P eq	19,88	11,40	8,36	0,12
Natural land transformation	m2	10,43	5,35	5,06	0,02
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,01	0,00	0,00	0,00

Tabella 5.24 Categorie di impatto fase material ( MIDPOINT) – Eta

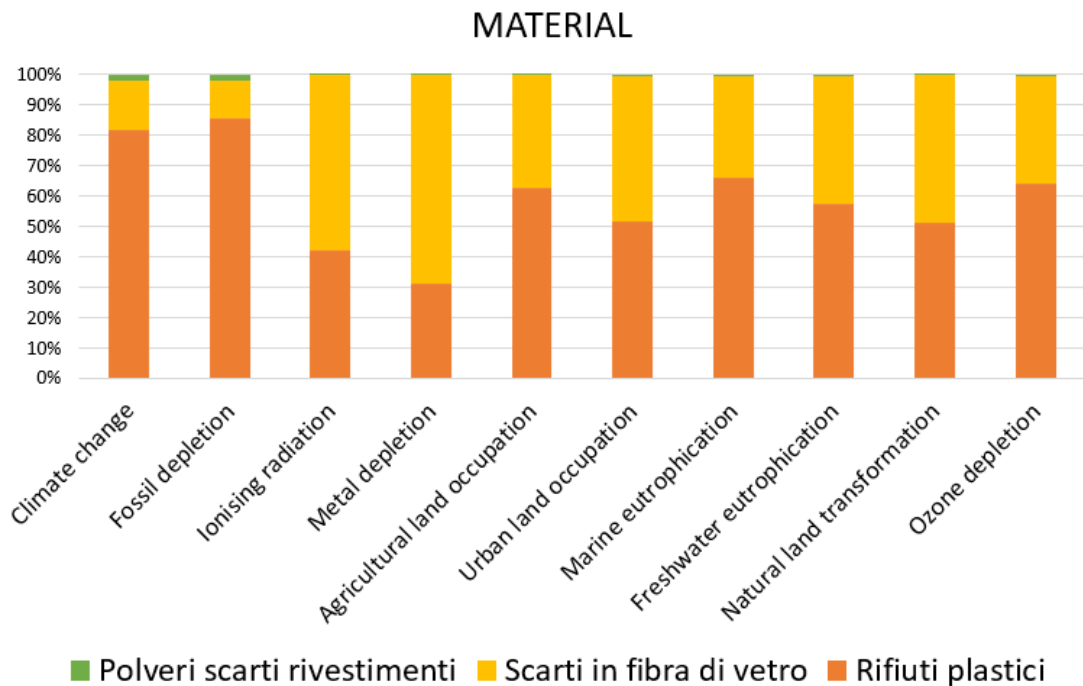


Figura 5.31 Valutazione degli impatti fase material ( MIDPOINT) - Eta

Operando la normalizzazione a livello di midpoint, si convertono i risultati della caratterizzazione attraverso determinati fattori di normalizzazione (tab. 5.25); i rifiuti plastici sono i responsabili degli impatti rispetto alle altre due tipologie di rifiuti (fig. 5.32).

Categoria d'impatto	Totale	Rifiuti plastici	Scarti in fibra di vetro	Polveri scarti rivestimenti
Freshwater eutrophication	68,60	39,31	28,85	0,43
Fossil depletion	58,00	49,66	7,17	1,17
Climate change	28,24	23,07	4,62	0,56
Marine eutrophication	19,39	12,79	6,48	0,12
Metal depletion	7,80	2,42	5,35	0,02
Ionising radiation	6,32	2,67	3,64	0,00
Natural land transformation	0,87	0,44	0,42	0,00
Urban land occupation	0,73	0,38	0,35	0,01
Agricultural land occupation	0,44	0,28	0,16	0,00
Ozone depletion	0,20	0,13	0,07	0,00

Tabella 5.25 Categorie di impatto fase material (MIDPOINT) normalizzate - Eta



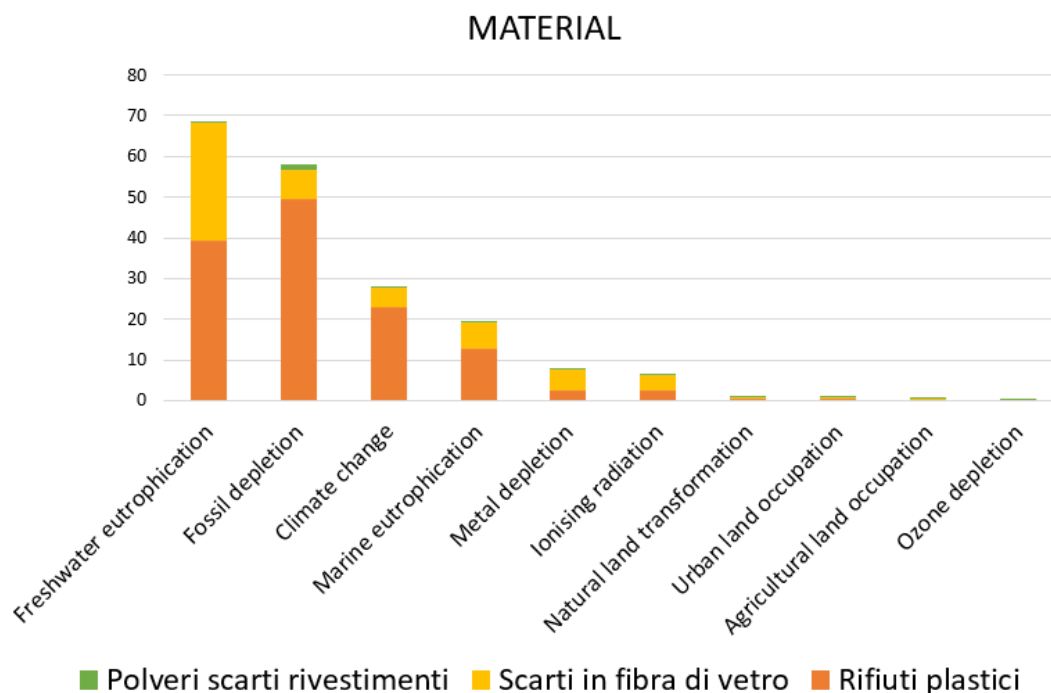


Figura 5.32 Valutazione degli impatti fase material (MIDPOINT) normalizzati – Eta

Dato che i rifiuti plastici sono caratterizzati da diversi componenti, di seguito si raffigura il grafico con la distribuzione degli impatti in funzione della natura del materiale e della loro quantità (fig. 5.33), ricordando che i rifiuti plastici sono costituiti da:

- 38% di resina catalizzata di scarto;
- 8% di materiali derivanti dal taglio della radice della pala;
- 6% di tubi dell'impianto di fusione;
- 5% di scarti del sacco del vuoto;
- 4% di scarti di pvc pulito;
- 3% di rete di areazione;
- 3% di sigillante per il sacco del vuoto;
- 2% di peel play di nylon;
- 1% di scarti della rifilatura della pala;
- 0,3% di scarti delle torrette.

Nello scarto complessivo, è predominante l'impatto dovuto alla resina catalizzata, a seguire il taglio della radice della pala; osservando invece le categorie di *Freshwater eutrophication*, *Marine eutrophication* e *Metal*

*depletion* risulta evidente come l'impatto sia assegnato soprattutto al taglio della radice della pala, nonostante sia presente in quantità minore rispetto alla resina catalizzata, che comunque rappresenta il secondo materiale più impattante.

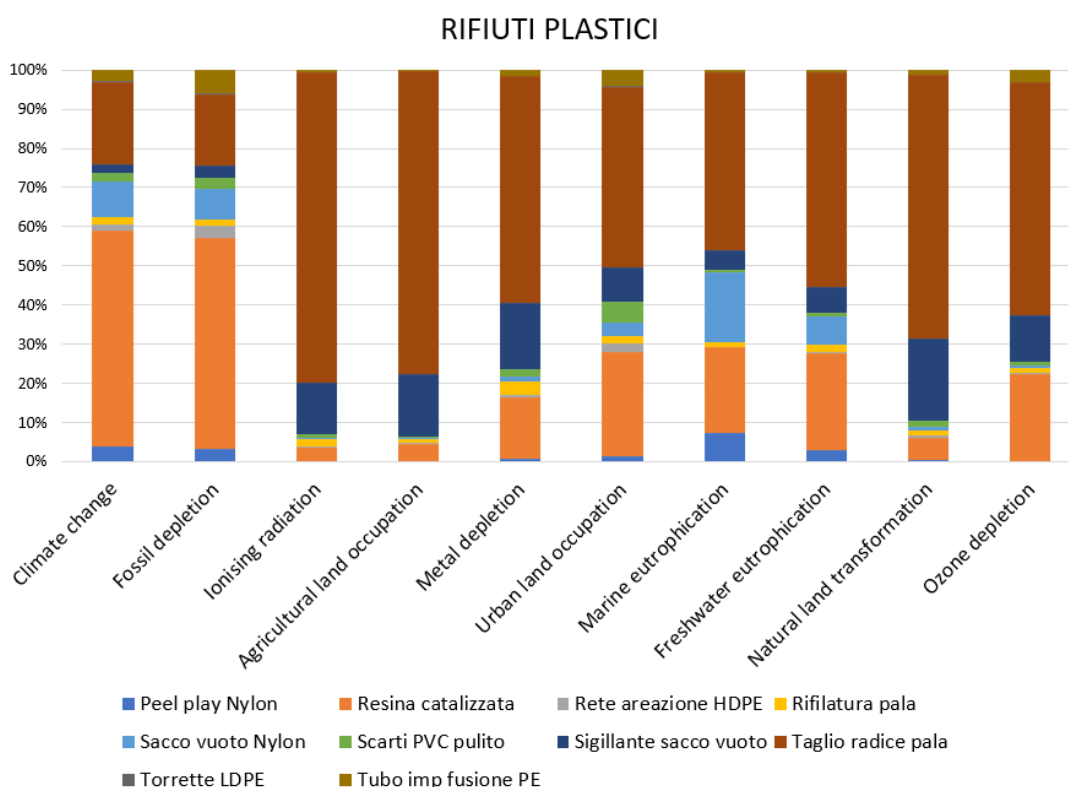


Figura 5.33 Valutazione degli impatti rifiuti plastici ( MIDPOINT) – Eta

### VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DI ENDDPOINT

Come descritto precedentemente, il confronto a livello endpoint permette di eseguire la valutazione dei danni raggruppando le 18 categorie d'impatto di midpoint in 3 categorie di danno (tab. 5.26).

Categoria di danno	Unità	Totale	Eta_blades	Eta fine vita
Resources	\$	12634,17	12602,80	31,37
Human Health	DALY	0,451	0,450	0,001
Ecosystems	species.yr	0,002	0,002	0,000

Tabella 5.26 Categorie di danno del ciclo vita (ENDPOINT) – Eta

Si conferma che l'impatto dello scarto è assegnato per la maggior parte alla parte di pre-produzione dei materiali (fig.5.34).

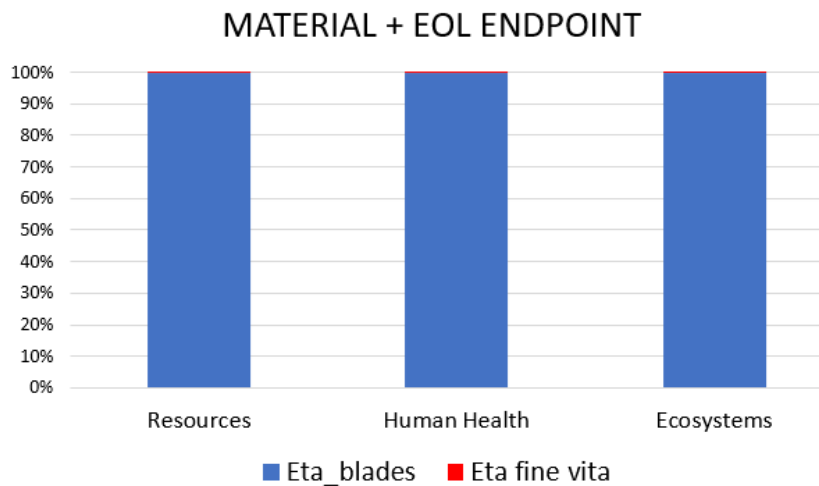


Figura 5.34 Valutazione degli impatti del ciclo vita (ENDPOINT) - Eta

Se si va a normalizzare, si evince che la categoria di danno predominante è *Resources*, seguita da *Human Health*, mentre solo una piccola percentuale è riservata a *Ecosystem* (fig. 5.35).

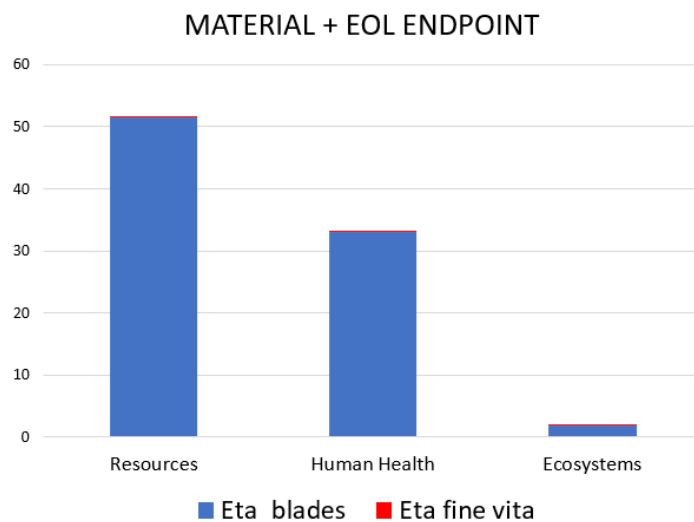


Figura 5.35 Valutazione degli impatti del ciclo vita (ENDPOINT) normalizzati – Eta

### INTERPRETAZIONE RISULTATI-ETA BLADES

Gli scarti generati dall'azienda Eta Blades sono caratterizzati da impatti ambientali legati alla produzione e al trattamento in discarica che si concentrano prevalentemente nella fase pre-produttiva (99,82%), piuttosto

che nella fase di smaltimento (0,18 %). Questo risultato potrebbe essere in parte determinato dalla modellazione stessa nello strumento, che in linea generale è più “preciso” nella fase di valutazione impatti per materie prime, rispetto alla valutazione impatti del fine vita (fig.5.36).

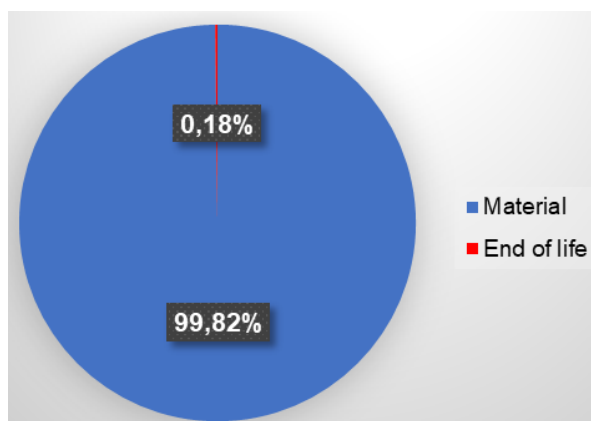


Figura 5.36 Confronto peso degli impatti fase material ed end of life – Eta

Nell’ottica del *Demanufacturing*, si possono considerare due differenti scenari di vita dello scarto prodotto e di conseguenza i benefici ambientali che se ne possono trarre:

1. Riutilizzo tal quale dello scarto, in modo da riutilizzare il materiale in una nuova vita di un prodotto o componente, a questo è associato un beneficio ambientale legato al riutilizzo del materiale (pari all’impatto per la sua pre-produzione) e un beneficio legato al fatto di non conferirlo in discarica (pari all’impatto dell’end of life) o di conferirlo in quantità inferiore;
2. Trattamento alternativo e riutilizzo, nel primo caso il beneficio ambientale sarà pari alla differenza tra l’impatto attuale dell’end of life e quello futuro dell’end of life, nel secondo caso, il materiale andrà in sostituzione ad altra materia prima, pertanto il beneficio sarà pari alla fase di pre-produzione del materiale che si sostituisce.

Vista la differente natura delle materie prime di cui gli scarti sono costituiti, un maggior guadagno ambientale potrebbe risiedere nell’ottenere materia prima seconda attraverso tecnologie innovative di riciclo/recupero, più che nel riutilizzo tal quale degli scarti.

#### 5.5.4 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI – SIMEG

##### VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DI MIDPOINT

Nella valutazione degli impatti di midpoint vengono analizzate due fasi di processo: Simeg, detta anche material, inerente allo stato di pre-produzione e Simeg fine vita, la parte dell'end of life; questo contributo è associato al fatto che il 100% degli scarti è inviato nella cava di breccia che nella modellazione viene considerata come discarica. La seguente tabella (tab. 5.27) descrive la quantificazione del contributo di ogni categoria di impatto.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Simeg	Simeg fine vita
Climate change	kg CO2 eq	234969,7	230594,0	4375,7
Fossil depletion	kg oil eq	67774,3	65377,3	2396,9
Ionising radiation	kBq U235 eq	45720,3	45174,1	546,2
Agricultural land occupation	m2a	10024,2	9675,6	348,7
Metal depletion	kg Fe eq	5152,1	4940,3	211,8
Urban land occupation	m2a	2306,9	1686,0	620,9
Marine eutrophication	kg N eq	333,9	331,1	2,9
Freshwater eutrophication	kg P eq	72,6	72,2	0,4
Natural land transformation	m2	19,7	39,1	-19,4
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,0	0,0	0,0

Tabella 5.27 Categorie di impatto del ciclo vita (MIDPOINT) – Simeg

Andando a graficare i risultati ottenuti (fig. 5.37) è possibile verificare come la parte pre-produttiva abbia un peso maggiore sull'impatto globale dello scarto, mentre solo una piccola parte dell'impatto è associata al fine vita in cui si tiene conto anche del trasporto.

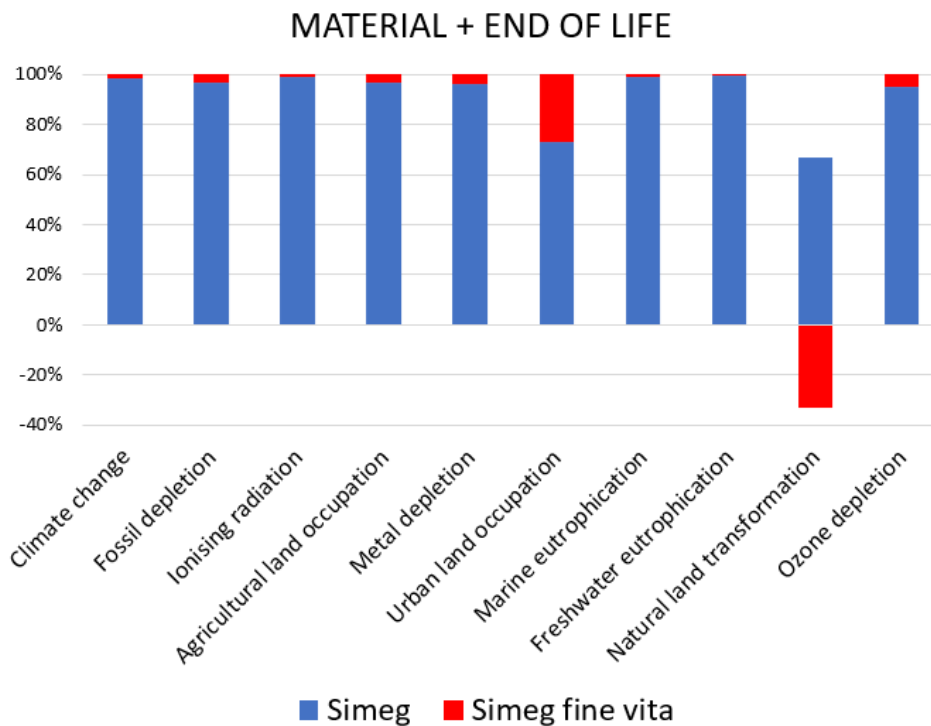


Figura 5.37 Valutazione degli impatti del ciclo vita (MIDPOINT) – Simeg

Per avere un quadro generale è possibile anche normalizzare i risultati ottenuti (tab. 5.28), in questo modo si confronta il peso dei due processi analizzati per ogni categoria di impatto (fig. 5.38).

Categoria d'impatto	Totale	Simeg	Simeg fine vita
Freshwater eutrophication	250,6	249,0	1,5
Fossil depletion	52,6	50,7	1,9
Marine eutrophication	45,4	45,0	0,4
Ionising radiation	34,7	34,3	0,4
Climate change	34,1	33,4	0,6
Metal depletion	11,6	11,1	0,5
Urban land occupation	3,0	2,2	0,8
Agricultural land occupation	1,8	1,8	0,1
Natural land transformation	1,6	3,2	-1,6
Ozone depletion	0,6	0,6	0,0

Tabella 5.28 Categorie di impatto del ciclo vita (MIDPOINT) normalizzate – Simeg

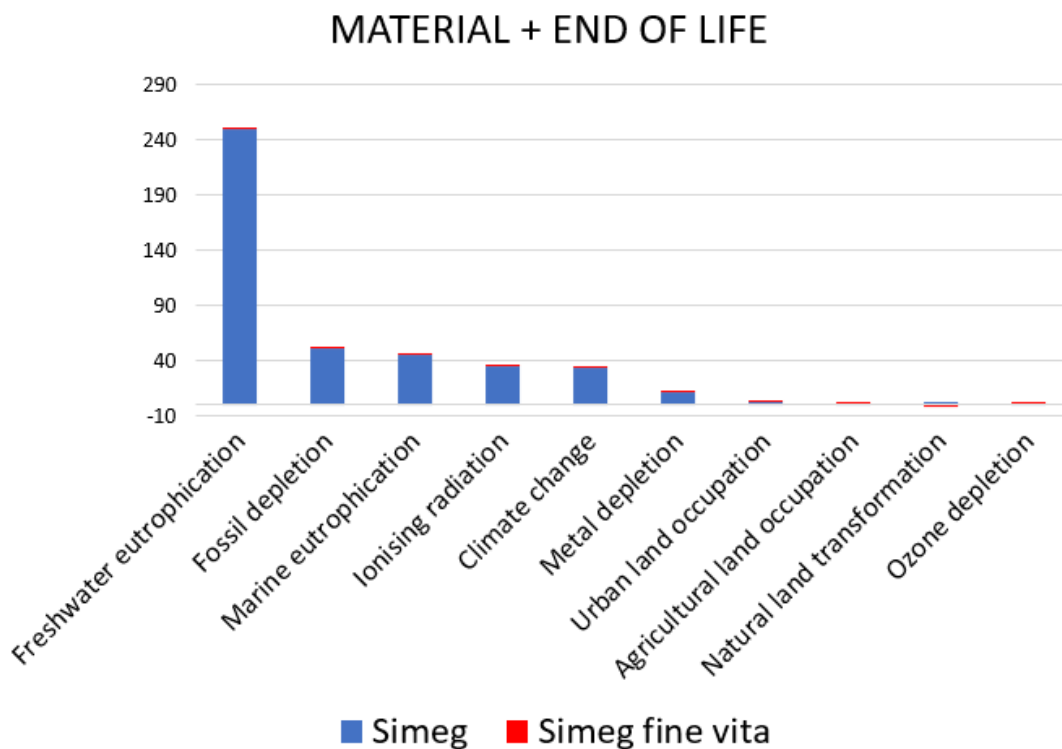


Figura 5.38 Valutazione degli impatti del ciclo vita (MIDPOINT) normalizzati - Simeg

In conclusione, si può affermare che le categorie più impattanti (fig. 5.39) sono:

- *Freshwater eutrophication;*
- *Fossil depletion;*
- *Marine eutrophication;*
- *Ionising radiation;*
- *Climate change.*

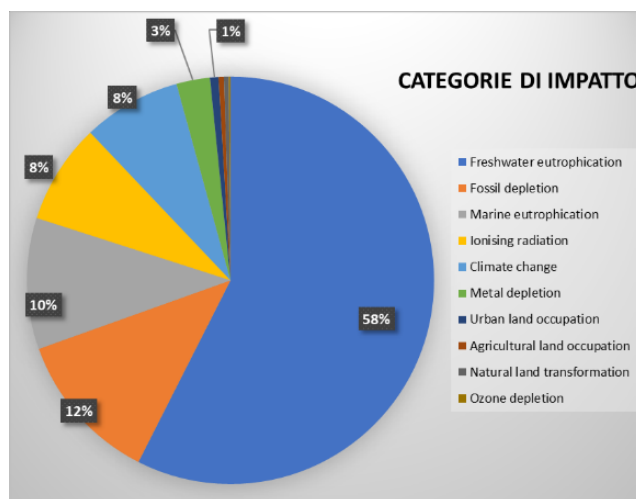


Figura 5.39 Categorie di impatto

Per quanto riguarda la valutazione degli impatti in fase material è interessante conoscere anche la distribuzione degli impatti tra i componenti degli scarti; si rappresenta prima l'andamento relativo alla caratterizzazione, poi quello relativo alla normalizzazione. In entrambi i casi si evince che i responsabili dei maggiori impatti sono i pezzami; tale assegnazione risulta essere proporzionale alla loro quantità presente nello scarto complessivo. Di seguito si rappresentano prima la tabella 5.29 e il grafico in figura 5.40 della caratterizzazione, successivamente la tabella 5.3. e il grafico in figura 5.41 della normalizzazione.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Pezzami	Fanghi
Climate change	kg CO2 eq	230594,0	161415,9	69178,1
Fossil depletion	kg oil eq	65377,3	46153,7	19223,6
Ionising radiation	kBq U235 eq	45174,1	30760,7	14413,4
Agricultural land occupation	m2a	9675,6	7326,0	2349,5
Metal depletion	kg Fe eq	4940,3	3590,2	1350,0
Urban land occupation	m2a	1686,0	1202,4	483,6
Marine eutrophication	kg N eq	331,1	229,1	102,0
Freshwater eutrophication	kg P eq	72,2	49,5	22,7
Natural land transformation	m2	39,1	27,8	11,2
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,0	0,0	0,0

Tabella 5.29 Categorie di impatto fase material (MIDPOINT) – Simeg

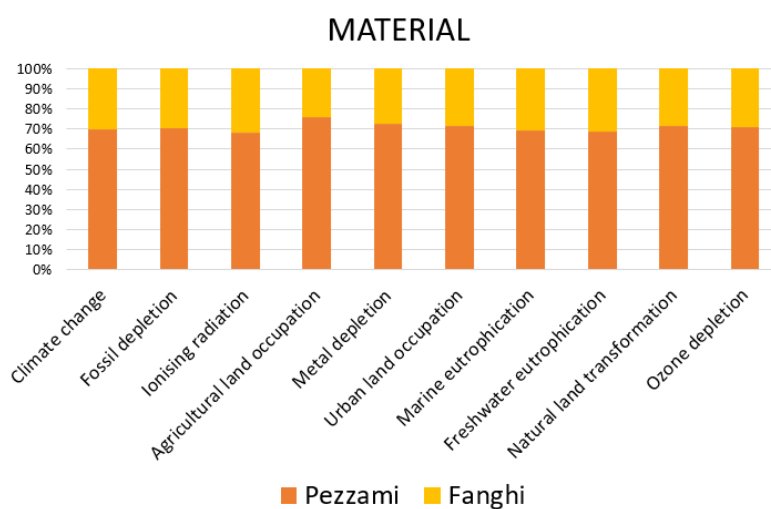


Figura 5.40 Valutazione degli impatti fase material (MIDPOINT) - Simeg



Categoria d'impatto	Totale	Pezzami	Fanghi
Freshwater eutrophication	249,0	170,8	78,2
Fossil depletion	50,7	35,8	14,9
Marine eutrophication	45,0	31,2	13,9
Ionising radiation	34,3	23,3	10,9
Climate change	33,4	23,4	10,0
Metal depletion	11,1	8,1	3,0
Natural land transformation	3,2	2,3	0,9
Urban land occupation	2,2	1,6	0,6
Agricultural land occupation	1,8	1,3	0,4
Ozone depletion	0,6	0,4	0,2

Tabella 5.30 Categorie di impatto fase material (MIDPOINT) normalizzate – Simeg

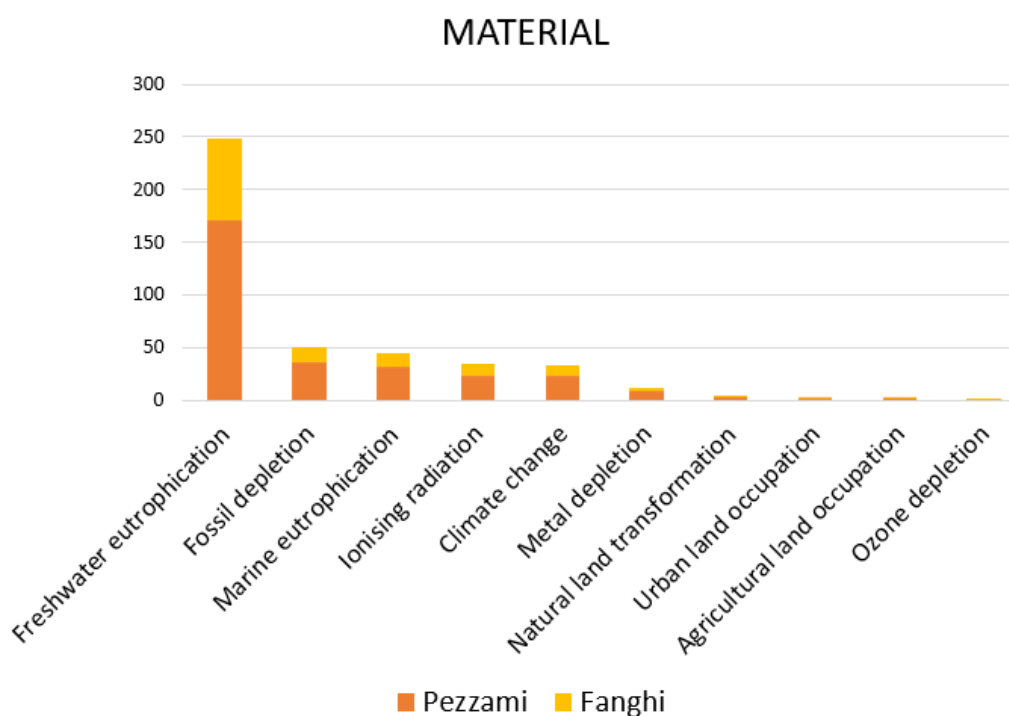


Figura 5.41 Valutazione degli impatti fase material (MIDPOINT) normalizzati - Simeg

Dato che i pezzami sono caratterizzati da diversi componenti, di seguito si raffigura il grafico con la distribuzione degli impatti in funzione della natura del materiale e della loro quantità (fig. 5.42); si può notare come, soprattutto nelle

categorie più impattanti, gli scarti in marmo hanno un peso maggiore rispetto al resto dei costituenti.

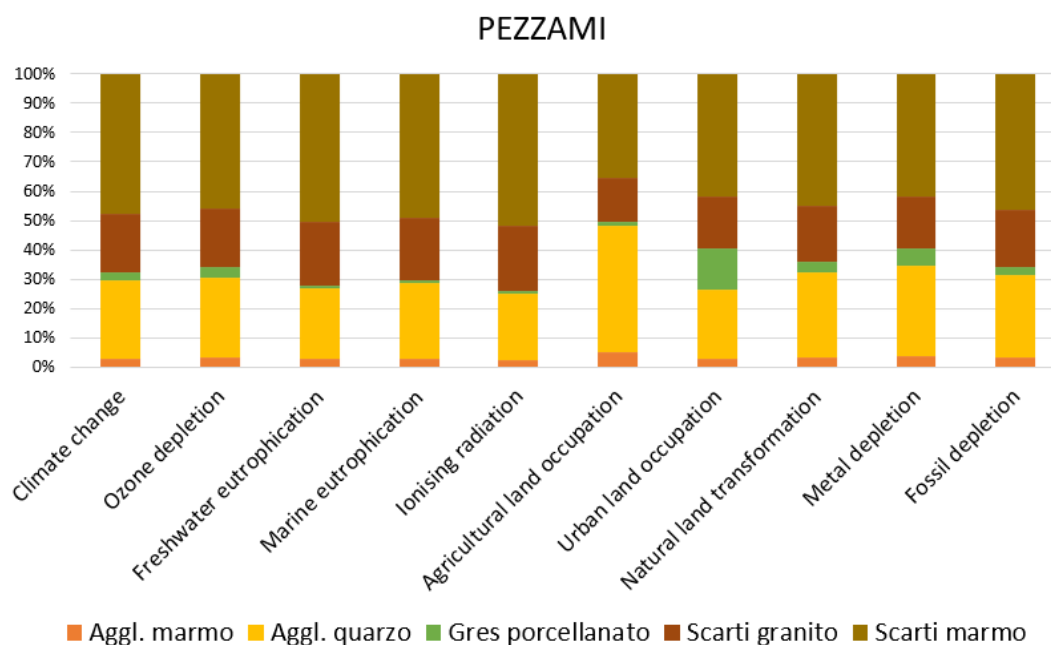


Figura 5.42 Valutazione degli impatti dei pezzami (MIDPOINT) – Simeg

### VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DI ENDDPOINT

Raggruppando le 18 categorie d’impatto di Midpoint in 3 categorie di danno, il confronto a livello Endpoint permette di eseguire la valutazione dei danni (tab. 5.31).

Categoria di danno	Unità	Totale	Simeg	Simeg fine vita
Resources	\$	11570,7	11159,1	411,5
Human Health	DALY	1,9	1,9	0,0
Ecosystems	species.yr	0,0	0,0	0,0

Tabella 5.31 Categorie di danno del ciclo vita (ENDPOINT) – Simeg

Anche in questo caso si nota la grande disparità tra l'impatto dello scarto associato al fine vita e quello di pre-produzione; quest'ultimo si conferma il più gravoso (fig. 5.43).

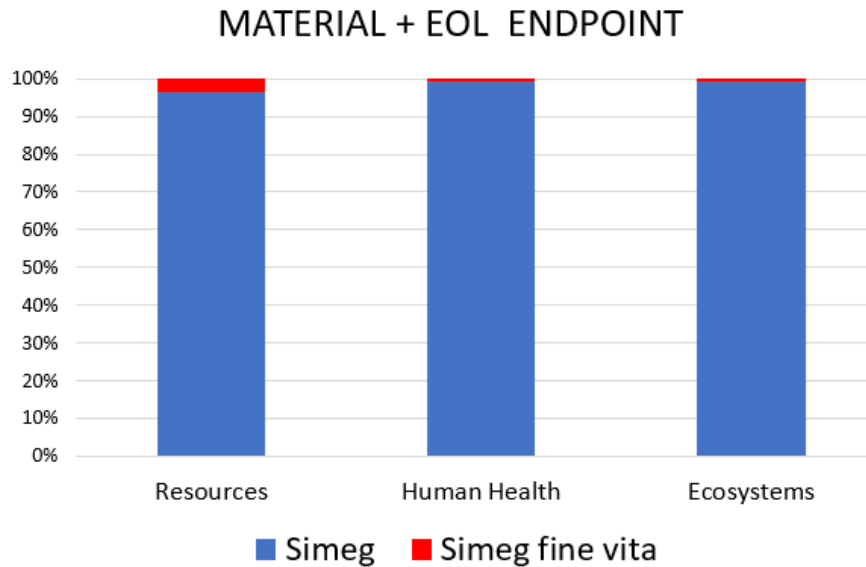


Figura 5.43 Valutazione degli impatti del ciclo vita (ENDPOINT) – Simeg

Se si va a normalizzare, si evince che la categoria di danno predominante è *Human Health*, seguita da *Resources* e in piccola parte da *Ecosystem* (fig. 5.44).

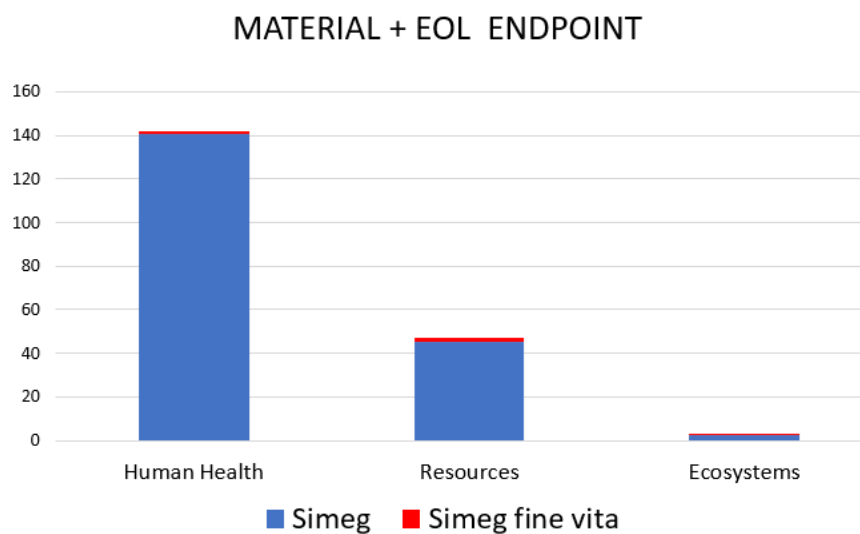


Figura 5.44 Valutazione degli impatti del ciclo vita (ENDPOINT) normalizzati – Simeg

## INTERPRETAZIONE RISULTATI

Gli scarti generati da Simeg sono caratterizzati da impatti ambientali che si concentrano prevalentemente nella fase pre-produttiva (98,95%), piuttosto che nella fase di smaltimento (1,05 %); se si fa un confronto con le altre aziende, eccetto Elantas, si può notare che l'impatto associato al fine vita superi l'1% (fig. 5.42). Ciò probabilmente è dovuto anche al fatto che, in questo caso, sono stati considerati i trasporti per lo smaltimento. Tale risultato potrebbe essere in parte determinato dalla modellazione stessa nello strumento, che in linea generale è più "preciso" nella fase di valutazione impatti per materie prime, rispetto alla valutazione impatti del fine vita.

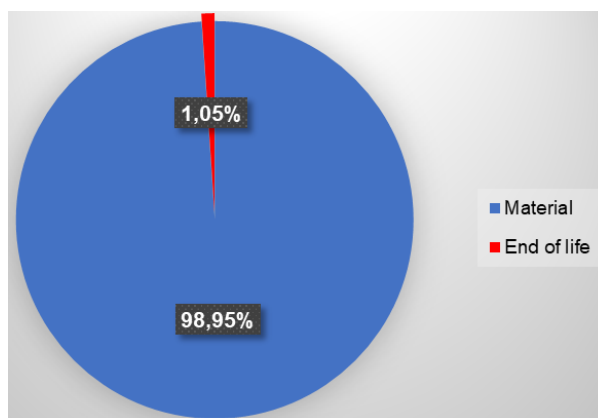


Figura 5.45 Confronto peso degli impatti fase material ed end of life - Simeg

Nell'ottica del *Demanufacturing*, si possono considerare due differenti scenari di vita dello scarto prodotto e di conseguenza i benefici ambientali che se ne possono trarre:

1. Riuso tal quale dello scarto, in modo da riutilizzare il materiale in una nuova vita di un prodotto o componente; a questo è associato un beneficio ambientale legato al riuso del materiale (pari all'impatto per la sua pre-produzione) e un beneficio legato al fatto di non conferirlo in discarica (pari all'impatto dell'end of life) o di conferirlo in quantità inferiore;
2. Trattamento alternativo e riutilizzo, nel primo caso il beneficio ambientale sarà pari alla differenza tra l'impatto attuale dell'end of life e quello futuro dell'end of life, nel secondo caso, il materiale

andrà in sostituzione ad altra materia prima, pertanto il beneficio sarà pari alla fase di pre-produzione del materiale che si sostituisce.

# CAPITOLO 6

## ANALISI LCA “AS-IS” MACINACAFFÈ

Il seguente capitolo mira a valutare l'impatto ambientale associato al ciclo vita di un macinacaffè Nuova Simonelli, nello specifico il modello Mythos VA75 GRAVIMETRICO. L'obiettivo è quello di determinare quali dei componenti del macinino siano i più impattanti in modo da valutare degli eventuali interventi migliorativi in ottica di eco-design e riuso; l'unità funzionale è “produrre e smaltire un macinacaffè”.

Si presenta inizialmente l'azienda Nuova Simonelli attraverso una breve descrizione, successivamente si propone l'analisi LCI ed infine vengono mostrati i risultati ottenuti da tale analisi mediante la valutazione degli impatti.

### 6.1 NUOVA SIMONELLI

Nuova Simonelli è un'azienda leader nel territorio marchigiano per la produzione di macchine da caffè. Tra gli obiettivi nell'attività di ricerca della società Simonelli Group vi è la sostenibilità ambientale, economica e sociale. A livello energetico la sede produttiva è caratterizzata dalla presenza di un impianto fotovoltaico che sfrutta l'energia solare per la produzione di energia elettrica. Lato consumi, tutte le macchine sono progettate in modo da garantire il risparmio energetico, un efficiente ciclo vita e una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Inoltre, le macchine di ultima generazione sono progettate con una percentuale maggiore di componenti realizzati con materiali riciclabili [33].

Nuova Simonelli è promotrice dello sviluppo del territorio marchigiano e per questo motivo partecipa al progetto Marlic con lo scopo di rendere ancora più sostenibile la sua produzione ed essere partecipe dello sviluppo dell'economia circolare in ambito regionale. Nell'ambito della progettazione attraverso l'applicazione di metodologie e strumenti di DFD e DFR di prototipi di prodotti industriali Nuova Simonelli propone il macinacaffè modello Mythos VA75 GRAVIMETRICO per cui si vuole ottimizzare l'impatto ambientale. Per

raggiungere questo scopo, prima si valuta l'impatto tramite l'analisi LCA del prodotto e successivamente si individuano i componenti maggiormente impattanti. Infine si stima un eventuale scenario di riprogettazione utilizzando le materie prime seconde delle aziende del partenariato per componenti la cui produzione è compatibile con gli scarti a disposizione. Da ciò si possono apprezzare i benefici che ne conseguono.

## **6.2 ANALISI LCI MACINACAFFÈ**

Per valutare gli impatti associati alla produzione si realizza una distinta base (BOM) in modo da costituire l'analisi di inventario. Dal CAD, inoltrato dall'azienda Nuova Simonelli, si estraggono le informazioni sulle dimensioni (area e volume) di tutti i componenti, successivamente, attraverso l'implementazione dei valori della densità e del coefficiente di asportazione del materiale durante la lavorazione, associati ad ogni componente, si ottengono tutti i dati necessari per poter effettuare l'analisi.

La BOM è composta dalle seguenti voci per ogni componente del macinino:

- Livello, ricavato dal CAD;
- Codice identificativo;
- Descrizione, in cui si definisce il nome del componente;
- Unità Materiale, ovvero l'unità di misura specifica (in questo caso il numero);
- Quantità;
- Materiale di cui è composto il componente: può essere uno solo o più di uno (ad esempio, nel caso della resistenza si indica il rame e l'acciaio);
- Lavorazioni principali;
- Lavorazioni secondarie, se presenti;
- Materiale di riferimento utilizzato per la modellazione in SimaPro;
- Lavorazioni di riferimento utilizzate per la modellazione in SimaPro;
- Dimensioni, ricavate dal CAD (area e volume);
- Densità, ricavata dal materiale;

- Peso specifico, ottenuto dal prodotto tra il volume e la densità;
- Materiale asportato, ovvero un coefficiente generalmente variabile da 1 a 1,3 (per le lavorazioni che danno sfridi si considera una percentuale di asportazione in relazione alle lavorazioni del pezzo);
- Peso del materiale grezzo di partenza, ovvero il peso specifico maggiorato in relazione al materiale asportato di un componente;
- Peso totale del materiale grezzo di partenza, ricavato dal prodotto del peso del materiale grezzo di partenza con il numero di pezzi presenti;
- Peso del materiale grezzo asportato, che quantifica il materiale effettivamente asportato, determinato dalla differenza tra il peso del materiale grezzo di partenza e il peso specifico.

All'interno della BOM inoltre si evidenzia una suddivisione tra assiemi e sotto assiemi che caratterizzano il prodotto; di seguito si elencano gli assiemi principali:

1. ASSIEME PORTA MACINE SUPERIORE (fig. 6.1) contenente la macina piana superiore (nel caso del Mythos VA 75 GR. il diametro è di 75 mm);

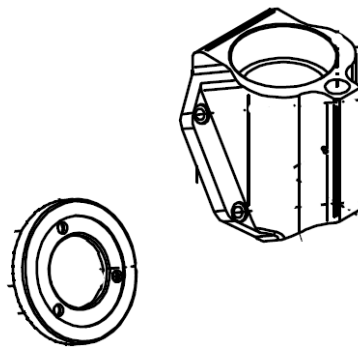


Figura 6.1 Porta macine superiore e macina piana 75mm

2. GRUPPO MOTORE in cui è presente la camera di macinatura e la macina piana inferiore collegata al motore che è regolabile, al contrario di quella superiore che è fissa (fig. 6.2);



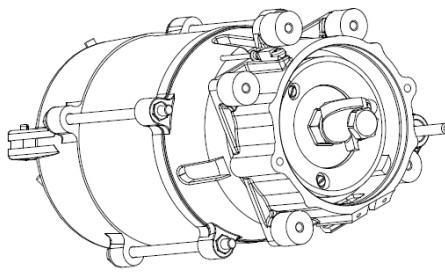


Figura 6.2 Motore

3. KIT LETTURA MACINE (trascurato);
4. KIT SUPPORTO MOTORE POSTERIORE contenente la staffa per il supporto motore;
5. ASSIEME POMELLO DI REGOLAZIONE in cui è presente la ghiera di regolazione per la macinatura (fig. 6.3);

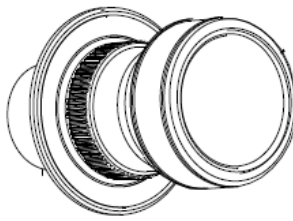


Figura 6.3 Assieme Pomello

6. BOCCHETTONE DI USCITA;
7. GRUPPO SENSORI DI PRESENZA DEL CAFFÈ;
8. GRUPPO CENTRALINA, in cui è presente la scheda di potenza e il condensatore;
9. GRUPPO FORCELLA in cui è presente la forcilla (fig. 6.4);

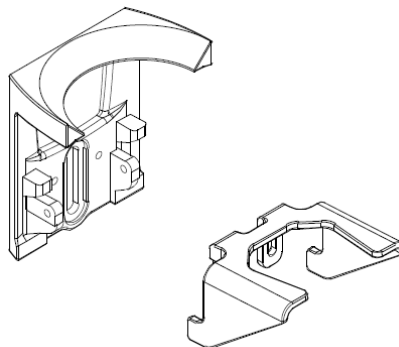


Figura 6.4 Forcella e staffa

10. TELAIO, in cui è presente anche il modulo LED (fig. 6.5);

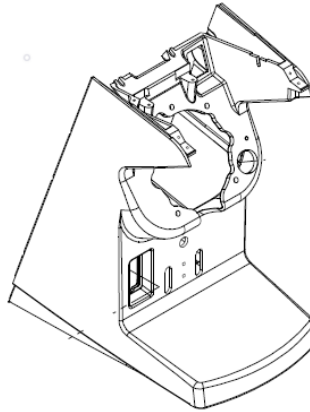


Figura 6.5 Telaio

11. ASSIEME DISPLAY;

12. GRUPPO POSTERIORE, in cui è presente il corpo posteriore con le ventole;

13. CAMPANA COMPLETA, ovvero la parte superiore del macinino con la parte per disporre i chicchi del caffè e il coperchio (fig. 6.6);

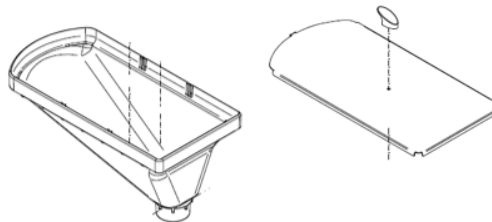


Figura 6.6 Campana con coperchio

14. IMBALLO COMPLETO (trascurato).

Le viti, i dadi e le rondelle sono raggruppati in un unico assieme chiamato ASSIEME MINUTERIA e sono modellati a parte.

Per quanto riguarda i materiali, i macinini sono principalmente costituiti da parti in acciaio (acciaio inox e acciaio a basso contenuto di carbonio), alluminio, rame (presente soprattutto nelle resistenze) e materie plastiche. In questa ultima categoria si trovano in maniera ricorrente il PVC, presente in alcuni pezzi completamente o in quantità percentuale con altri materiali (ad esempio nelle prese), la gomma, come nel caso degli antivibranti costituiti da gomma e acciaio o dei piedini di appoggio, il nylon specie nelle fascette, l'ABS presente

nelle ventole e il policarbonato che ricopre una grande parte della campana superiore. Di seguito si presenta una tabella con i materiali più utilizzati e i corrispettivi materiali impiegati in SimaPro per la modellazione, ricavati dal database Ecoinvent (tab. 6.1).

MATERIALI	MATERIALI SIMAPRO
Alluminio	Aluminium, primary, ingot {GLO}  market for   Alloc Rec, S
Acciaio al carbonio o Acciaio	Steel, low-alloyed {GLO}  market for   Alloc Def, S
Acciaio INOX	Steel, chromium steel 18/8 {GLO}  market for   Alloc Rec, S
Ottone	Brass {GLO}  market for   Alloc Rec, S
Rame	Copper {GLO}  market for   Alloc Rec, S
Pvc	Polyvinylidenechloride, granulate {GLO}  market for   Alloc Rec, S
Gomma	Synthetic rubber {GLO}  market for   Alloc Rec, S
ABS	Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer {GLO}  market for   Alloc Rec, S
Nylon	Nylon 6-6 {GLO}  market for   Alloc Rec, S
Mylar	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous {GLO}  market for   Alloc Rec, S
Policarbonato	Polycarbonate {GLO}  market for   Alloc Rec, S
Silicone	Silicone product {GLO}  market for   Alloc Rec, S
Teflon	Tetrafluoroethylene {GLO}  market for   Alloc Rec, S

Tabella 6.1 Materiali

Allo stesso modo i componenti elettronici e i cablaggi sono modellati con dei materiali opportuni presenti nel database (tab. 6.2).

MATERIALI	MATERIALI SIMAPRO
Scheda a circuito stampato	Printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb containing {GLO}  market for   Alloc Rec, S
Cablaggio	Cable, unspecified {GLO}  market for   Alloc Rec, S

Tabella 6.2 Materiali componenti elettronici e cablaggio

La maggior parte dei pezzi formati da materiali metallici sono realizzati attraverso l'uso di macchine utensili; nel caso in cui si lavori con il metallo viene

scelto il processo “*Steel removed by turning, primarily dressing, computer numerical controlled {GLO}| market for | Alloc Rec, S*”, mentre per l’alluminio “*Aluminium removed by milling, average {RER}| aluminium milling, average | Alloc Rec, S*”. I componenti che necessitano invece di lavorazioni di piegatura o trafilatura sono modellati con il processo “*Deep drawing, steel, 650 kN press, single stroke {GLO}| market for | Alloc Rec, S*”. I pezzi plastici generalmente provengono da lavorazioni di stampaggio a iniezione, modellati nel software con “*Injection moulding {GLO}| market for | Alloc Def, S*”.

Nella valutazione dell’impatto è considerato uno scenario di smaltimento che prevede un riciclo dei materiali del macchinario pari al:

- 50 % di alluminio;
- 70% di rame;
- 70% di acciaio;
- 25% di ottone;

il resto è trattato come materiale di scarto di materiali elettrici ed elettronici con il processo “*Waste electric and electronic equipment {GLO}| market for | Alloc Rec, S*”. Infine l’assorbimento di energia associato al consumo del macchinario viene tralasciato nella modellazione.

### **6.3 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI**

La valutazione degli impatti viene fatta con riferimento al metodo di calcolo ReCiPe Midpoint (H), considerando le stesse 10 categorie di impatto utilizzate per la caratterizzazione degli scarti del capitolo precedente.

La prima fase analizzata è il ciclo vita, che comprende sia la parte di material e manufacturing, quindi l’assemblaggio, che lo scenario di smaltimento (end of life); da ciò si ricava la tabella con la quantificazione degli impatti (tab. 6.3).

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Material + Manufacturing	End of life
Climate change	kg CO2 eq	122,18	211,88	-89,70
Metal depletion	kg Fe eq	68,36	121,59	-53,22
Fossil depletion	kg oil eq	28,01	47,60	-19,58
Ionising radiation	kBq U235 eq	7,09	10,32	-3,23
Agricultural land occupation	m2a	3,08	4,56	-1,48
Urban land occupation	m2a	1,51	2,53	-1,02
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,11	0,21	-0,09
Marine eutrophication	kg N eq	0,04	0,08	-0,03
Natural land transformation	m2	0,02	0,03	-0,01
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	0,00

Tabella 6.3 Categorie di impatto del ciclo vita

Andando a graficare i risultati ottenuti (fig. 6.7) è possibile osservare come la parte associata all'end of life sia negativa; ciò significa che nel fine vita si generano dei flussi che danno origine a crediti ambientali, i quali riducono l'impatto totale del ciclo vita.

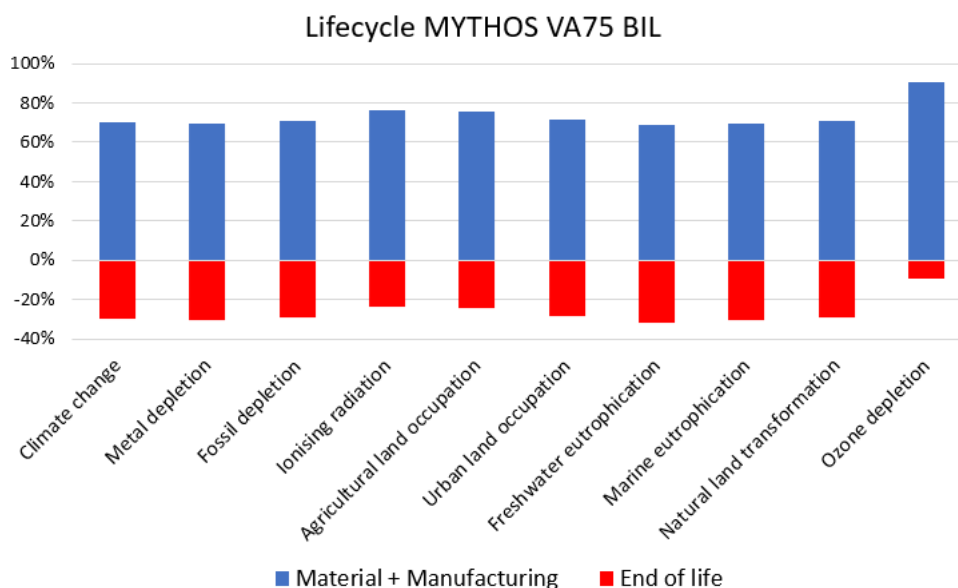


Figura 6.7 Valutazione degli impatti del ciclo vita

A questo punto si procede con un focus della fase di material e manufacturing per osservare quali dei principali assiemi abbiano un impatto maggiore; di seguito si rappresenta la tabella con i valori ottenuti (tab. 6.4).

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Gruppo posteriore	Gruppo sensori presenza caffè	Gruppo centralina	Gruppo macina superiore	Gruppo motore	Assieme minuteria
Climate change	kg CO2 eq	211,88	58,37	1,73	1,70	24,06	66,25	0,69
Metal depletion	kg Fe eq	121,59	7,73	3,38	6,69	9,86	69,04	1,65
Fossil depletion	kg oil eq	47,60	13,02	0,45	0,45	5,20	14,73	0,17
Ionising radiation	kBq U235 eq	10,32	2,62	0,29	0,17	1,02	3,26	0,07
Agricultural land occupation	m2a	4,56	1,07	0,09	0,14	0,42	1,53	0,05
Urban land occupation	m2a	2,53	0,59	0,06	0,05	0,27	0,91	0,01
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,21	0,02	0,01	0,00	0,02	0,10	0,00
Marine eutrophication	kg N eq	0,08	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00
Natural land transformation	m2	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Kit supporto motore	Assieme pomello reg. macina	Gruppo telaio	Bocchettone di uscita	Campana completa	Assieme display	Gruppo Forcella
Climate change	kg CO2 eq	211,88	1,11	3,14	45,41	0,05	6,43	0,17	2,76
Metal depletion	kg Fe eq	121,59	3,09	0,61	18,43	0,12	0,78	0,00	0,19
Fossil depletion	kg oil eq	47,60	0,28	0,48	10,30	0,01	1,82	0,07	0,59
Ionising radiation	kBq U235 eq	10,32	0,11	0,10	2,31	0,00	0,25	0,02	0,11
Agricultural land occupation	m2a	4,56	0,09	0,04	0,91	0,00	0,16	0,01	0,04
Urban land occupation	m2a	2,53	0,03	0,02	0,55	0,00	0,02	0,00	0,03
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,21	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Marine eutrophication	kg N eq	0,08	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Natural land transformation	m2	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabella 6.4 Categorie di impatto fase material + manufacturing

Dal grafico in figura 6.8 risulta evidente come il gruppo motore, il gruppo posteriore e il gruppo telaio abbiano un impatto prevalente sull'intero gruppo dei componenti.

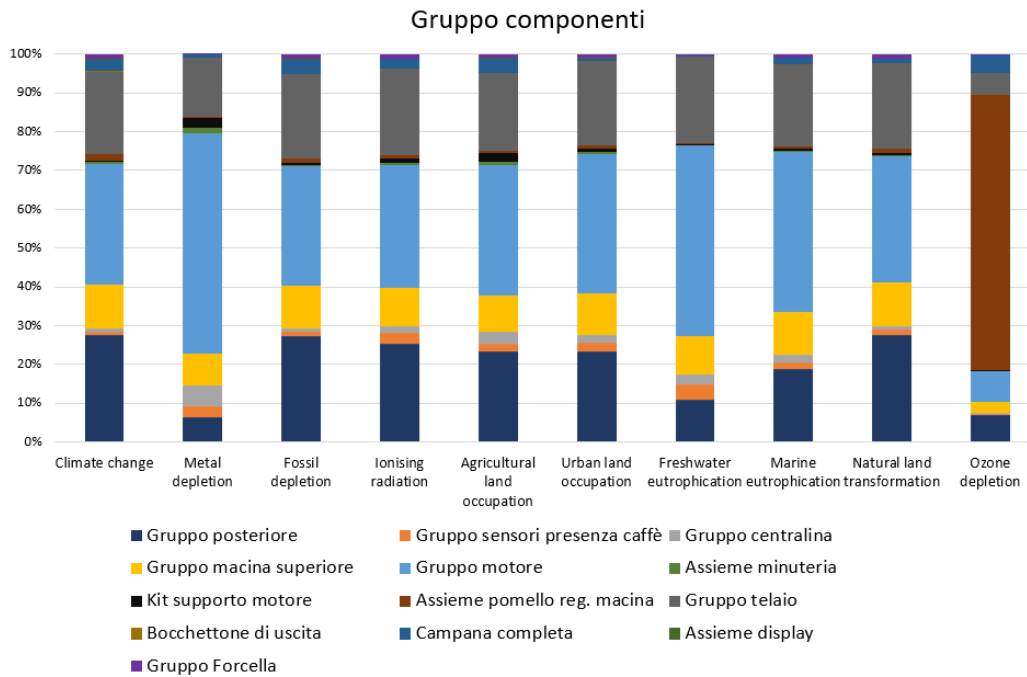


Figura 6.8 Valutazione degli impatti fase material + manufacturing

## GRUPPO MOTORE

Dall'analisi dei risultati (tab. 6.5) e osservando il grafico ad essi associato (fig. 6.9) si deduce come il pezzo del motore sia la principale causa di impatto di questa categoria; per completezza, anche se in quantità minore, si analizza anche la camera di macinatura.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Motore	Camera di macinatura	Antivibrante	Porta macine inferiore	Macina plana mm75	Sonda temperatura	Asta registro	Forcella registro	Tirante registro	Cav occhio	Spina 5x12	Spina 5x20
Metal depletion	kg Fe eq	69,04	66,53	0,28	0,46	0,08	0,69	0,42	0,19	0,07	0,14	0,16	0,00	0,01
Climate change	kg CO2 eq	66,25	48,01	13,37	0,30	3,76	0,46	0,05	0,13	0,05	0,10	0,01	0,00	0,01
Fossil depletion	kg oil eq	14,73	10,78	2,87	0,08	0,80	0,12	0,01	0,03	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
Ionising radiation	kBq U235 eq	3,26	2,46	0,56	0,02	0,15	0,04	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Agricultural land occupation	m2a	1,53	1,24	0,19	0,01	0,05	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Urban land occupation	m2a	0,91	0,73	0,12	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,10	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Marine eutrophication	kg N eq	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Natural land transformation	m2	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabella 6.5 Categorie di impatto gruppo motore

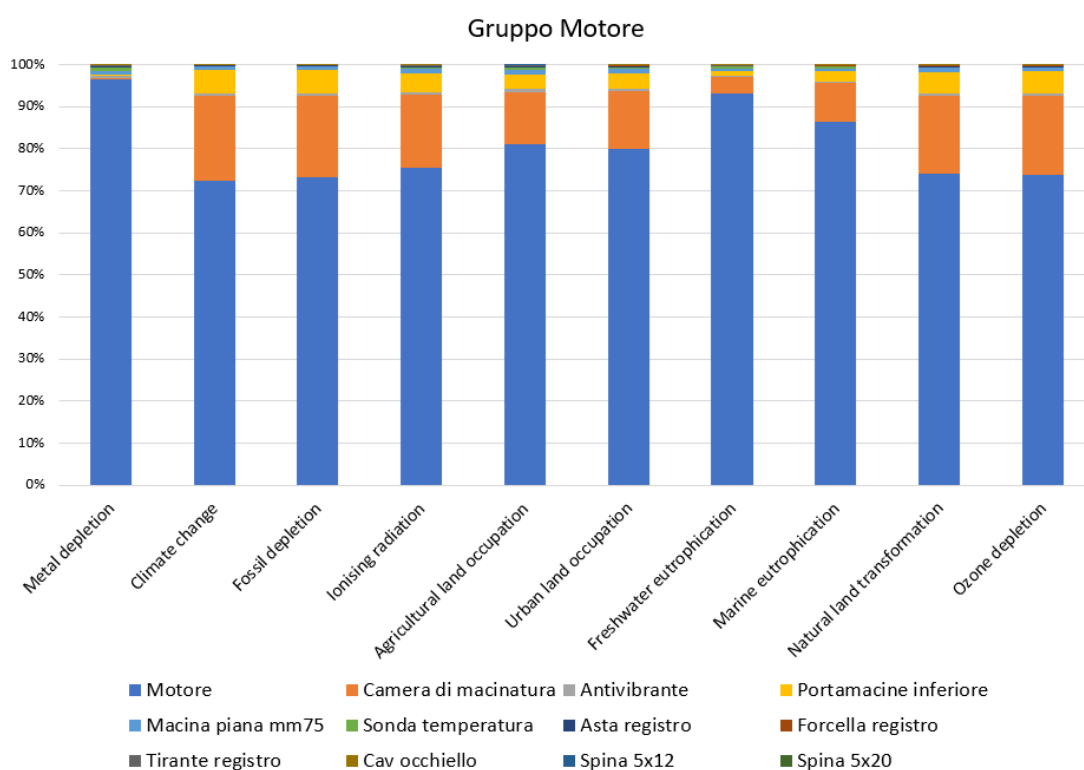


Figura 6.9 Valutazione degli impatti gruppo motore

I componenti modellati all'interno del motore sono il rotore, lo statore, la calotta e i filamenti di rame; l'esito dell'analisi è visibile dalla tabella (tab. 6.6) e dal grafico (fig. 6.10).

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Calotta	Filamenti rame	Rotore	Statore
Metal depletion	kg Fe eq	66,53	0,34	49,24	5,66	11,29
Climate change	kg CO2 eq	48,01	17,75	4,22	19,59	6,45
Fossil depletion	kg oil eq	10,78	3,79	1,05	4,31	1,63
Ionising radiation	kBq U235 eq	2,46	0,60	0,64	0,77	0,45
Agricultural land occupation	m2a	1,24	0,22	0,50	0,31	0,21
Urban land occupation	m2a	0,73	0,15	0,28	0,19	0,11
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,09	0,01	0,08	0,01	0,01
Marine eutrophication	kg N eq	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00
Natural land transformation	m2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabella 6.6 Categorie di impatto motore



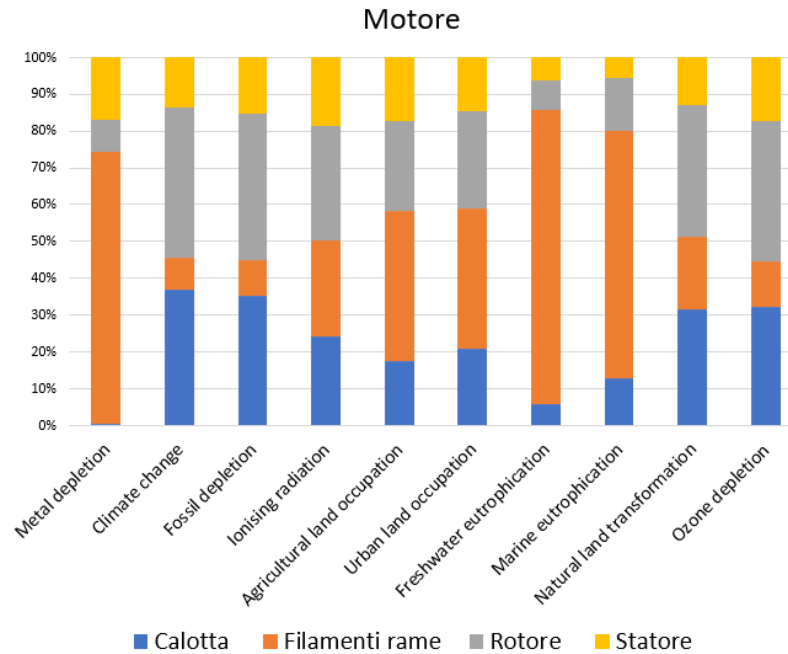


Figura 6.10 Valutazione degli impatti motore

I filamenti di rame risultano essere i componenti più impattanti, per cui si è ritenuto opportuno analizzare l’impatto associato alla fase material e alla lavorazione ad essi associati (manufacturing). Dalla tabella (tab. 6.7) e dal grafico (fig. 6.11) si desume come la fase material abbia un impatto prevalente rispetto al processo di trafilatura modellato in Simapro con il processo “*Wire drawing, copper {GLO} market for | Alloc Rec, S*”.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Rame	Trafilatura
Metal depletion	kg Fe eq	49,24	47,35	1,89
Climate change	kg CO2 eq	4,22	3,65	0,58
Fossil depletion	kg oil eq	1,05	0,89	0,15
Ionising radiation	kBq U235 eq	0,64	0,52	0,11
Agricultural land occupation	m2a	0,50	0,46	0,05
Urban land occupation	m2a	0,28	0,27	0,01
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,08	0,07	0,00
Marine eutrophication	kg N eq	0,02	0,02	0,00
Natural land transformation	m2	0,00	0,00	0,00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	0,00

Tabella 6.7 Categorie di impatto filamenti di rame

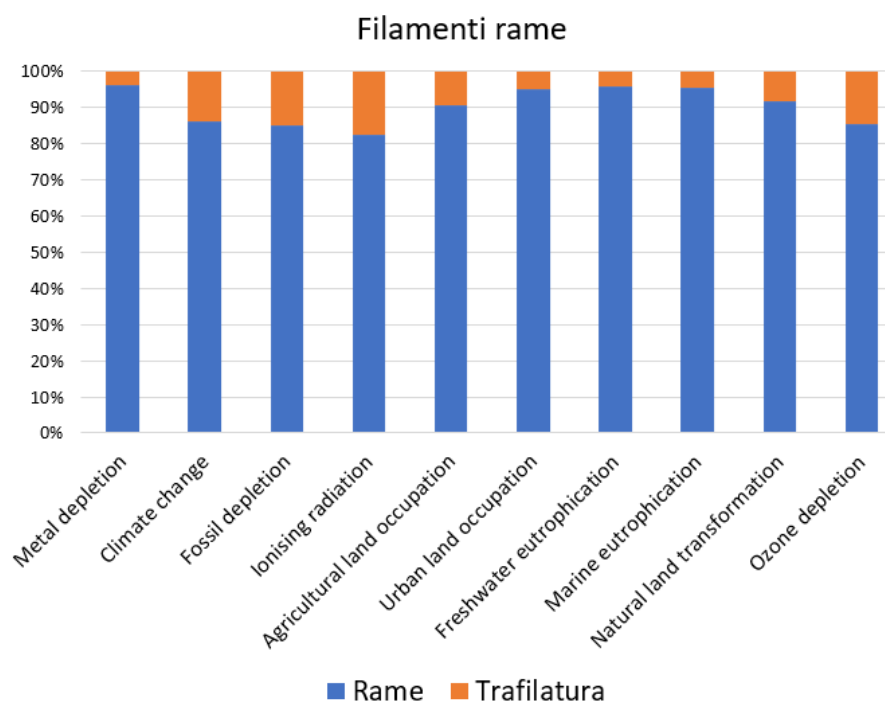


Figura 6.11 Valutazione degli impatti filamenti di rame

La camera di macinatura in alluminio è modellata con il processo relativo alla tecnologia di realizzazione con l'ausilio di macchine a controllo numerico "CNC". Anche in questo caso l'impatto è associato prevalentemente alla fase material, solo una piccola percentuale è connessa alla produzione (tab.6.8), (fig. 6.12).

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Alluminio	Lavorazioni cnc
Climate change	kg CO2 eq	13,37	11,88	1,49
Fossil depletion	kg oil eq	2,87	2,54	0,33
Ionising radiation	kBq U235 eq	0,56	0,40	0,16
Metal depletion	kg Fe eq	0,28	0,23	0,05
Agricultural land occupation	m2a	0,19	0,15	0,04
Urban land occupation	m2a	0,12	0,10	0,02
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,00	0,00	0,00
Marine eutrophication	kg N eq	0,00	0,00	0,00
Natural land transformation	m2	0,00	0,00	0,00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	0,00

Tabella 6.8 Categorie di impatto cam. di macinatura

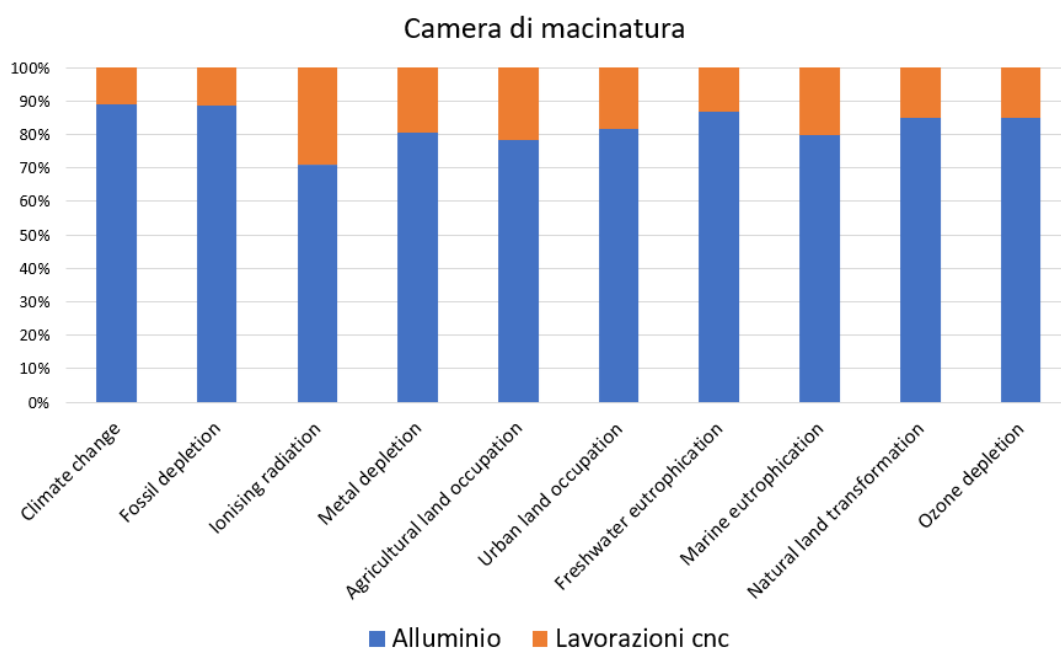


Figura 6.12 Valutazione degli impatti cam. di macinatura

## GRUPPO POSTERIORE

Il gruppo posteriore è costituito dal corpo posteriore sul quale è posto il logo posteriore “Victoria Arduino”, dalle ventole e il rispettivo collettore e da elementi plastici quali le fascette e la guarnizione (tab. 6.9).

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Corpo posteriore	Gruppo ventola superiore	Gruppo ventola inferiore	Guarnizione	Cavo coll ventole	Logo posteriore	Fascetta plastica nera
Climate change	kg CO2 eq	58,37	55,08	1,49	1,57	0,14	0,07	0,01	0,01
Fossil depletion	kg oil eq	13,02	11,98	0,46	0,48	0,07	0,02	0,00	0,00
Metal depletion	kg Fe eq	7,73	1,32	2,69	2,89	0,01	0,82	0,00	0,00
Ionising radiation	kBq U235 eq	2,62	2,13	0,22	0,23	0,03	0,01	0,00	0,00
Agricultural land occupation	m2a	1,07	0,83	0,11	0,11	0,01	0,01	0,00	0,00
Urban land occupation	m2a	0,59	0,52	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Marine eutrophication	kg N eq	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Natural land transformation	m2	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabella 6.9 Categoria di impatto gruppo posteriore

Andando a graficare i risultati ottenuti dalla quantificazione degli impatti associati ad ogni categoria (fig. 6.13) è chiaro che il maggior responsabile dell'impatto ambientale sia il corpo posteriore. Inoltre, dato che nelle considerazioni finali si terrà conto anche dell'esaurimento delle risorse non rinnovabili relativamente ai metalli, rappresentato dalla categoria *Metal Depletion*, si analizza anche il gruppo ventola inferiore. Nell'assieme i gruppi relativi alle ventole sono due e differiscono solo per la presenza in quello inferiore di una staffa di supporto in acciaio di 0,015 kg assente nella parte superiore; per questo motivo si rappresenta la modellazione fatta per il primo caso considerando che i risultati ottenuti saranno validi anche per il gruppo superiore, a meno dell'impatto associato alla staffa di supporto.

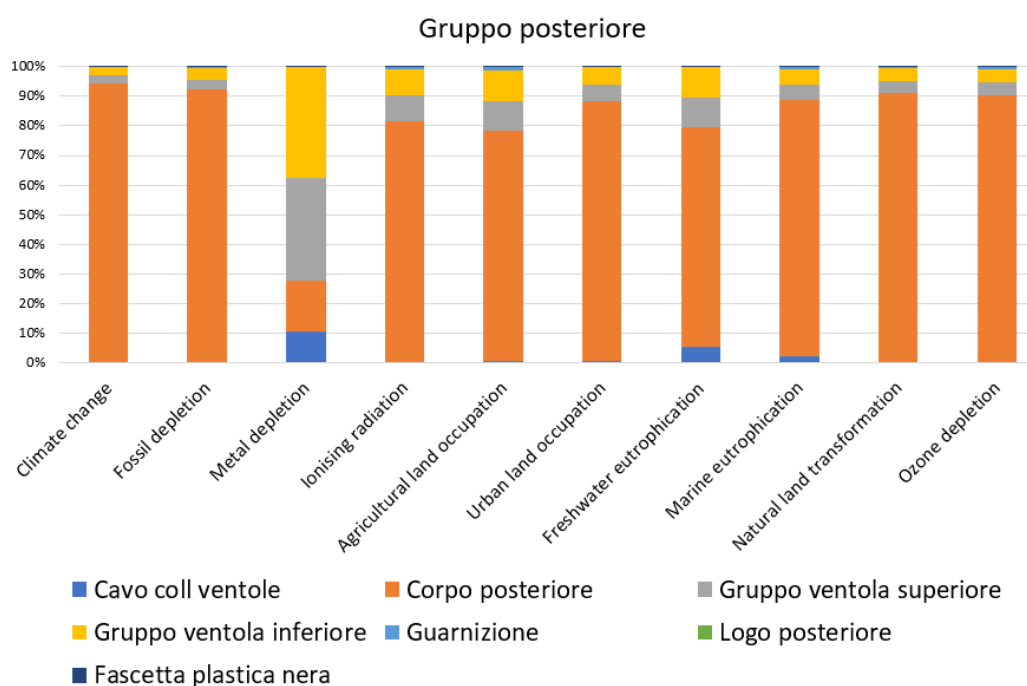


Figura 6.13 Valutazione degli impatti gruppo posteriore

Il corpo posteriore è realizzato in alluminio mediante un processo di fresatura e verniciatura; i valori di ogni categoria di impatto sono riassunti nella tabella sottostante (tab. 6.10). La fase material ricopre circa il 75% degli impatti, solo una piccola parte è associata alla fase manufacturing; ciò è ben visibile dal grafico in figura 6.14.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Alluminio	Fresatura	Verniciatura
Climate change	kg CO2 eq	55,08	45,61	7,09	2,38
Fossil depletion	kg oil eq	11,98	9,75	1,53	0,71
Ionising radiation	kBq U235 eq	2,13	1,54	0,36	0,24
Metal depletion	kg Fe eq	1,32	0,87	0,26	0,18
Agricultural land occupation	m2a	0,83	0,56	0,18	0,08
Urban land occupation	m2a	0,52	0,39	0,12	0,01
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,02	0,01	0,00	0,00
Marine eutrophication	kg N eq	0,01	0,01	0,00	0,00
Natural land transformation	m2	0,01	0,01	0,00	0,00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabella 6.10 Categorie di impatto corpo posteriore

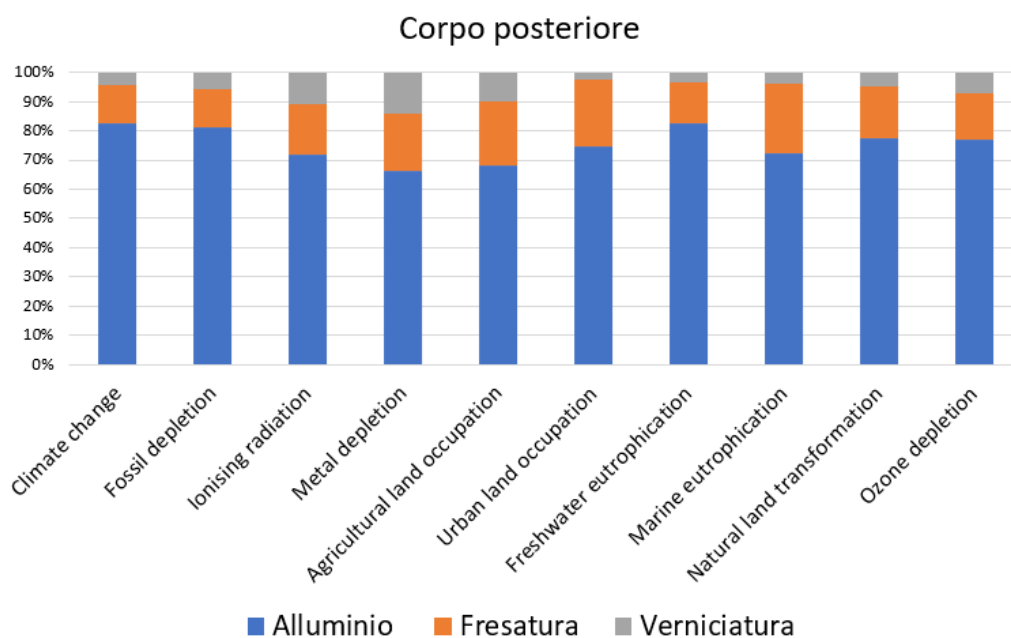


Figura 6.14 Valutazione degli impatti corpo posteriore

Si ripete lo stesso procedimento per il corpo in cui è presente la ventola inferiore; i risultati sono rappresentati nella tabella (tab. 6.11) e nel grafico (fig. 6.15) sottostanti.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Supporto ventola inferiore	Ventola 230V INF
Metal depletion	kg Fe eq	2,89	1,24	1,65
Climate change	kg CO2 eq	1,57	0,44	1,12
Fossil depletion	kg oil eq	0,48	0,11	0,37
Ionising radiation	kBq U235 eq	0,23	0,04	0,19
Agricultural land occupation	m2a	0,11	0,04	0,07
Urban land occupation	m2a	0,03	0,01	0,02
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,00	0,00	0,00
Marine eutrophication	kg N eq	0,00	0,00	0,00
Natural land transformation	m2	0,00	0,00	0,00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	0,00

Tabella 6.11 Categorie di impatto gruppo ventola inferiore

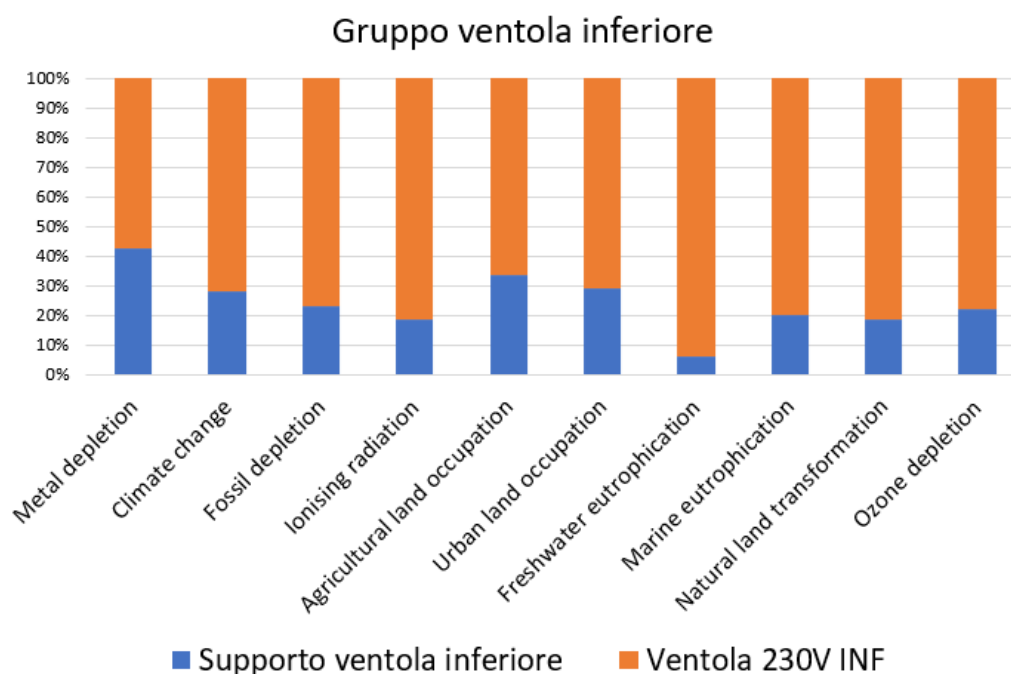


Figura 6.15 Valutazione degli impatti gruppo ventola inferiore

La ventola, che rispetto al supporto occupa una percentuale maggiore di impatto ambientale, viene analizzata per studiare l'impatto del materiale

plastico ABS modellato in questo caso in SimaPro con “*Fan, for power supply unit, desktop computer {GLO}| market for | Alloc Rec, S*” e dello stampaggio a iniezione necessario per la sua produzione. I valori riferiti alla lavorazione sono molto bassi, circa il 10% rispetto a quelli del materiale (tab. 6.12). Dato che la ventola è prevalentemente composta da materiale plastico, la categoria di Metal Depletion ha un valore quasi trascurabile (0,0024 kg Fe eq).

Categoria d'impatto	Unità	Totale	ABS	Stampaggio a iniezione
Metal depletion	kg Fe eq	1,65	1,65	2,40E-03
Climate change	kg CO2 eq	1,12	1,02	0,11
Fossil depletion	kg oil eq	0,37	0,33	0,03
Ionising radiation	kBq U235 eq	0,19	0,16	0,02
Agricultural land occupation	m2a	0,07	0,06	0,02
Urban land occupation	m2a	0,02	0,02	7,45E-04
Freshwater eutrophication	kg P eq	2,13E-03	2,09E-03	3,76E-05
Marine eutrophication	kg N eq	6,09E-04	5,09E-04	9,99E-05
Natural land transformation	m2	2,40E-04	2,22E-04	1,78E-05
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	9,23E-08	8,19E-08	1,04E-08

Tabella 6.12 Categorie di impatto ventola 230V

Andando a graficare si conferma quanto appena detto (fig. 6.16).

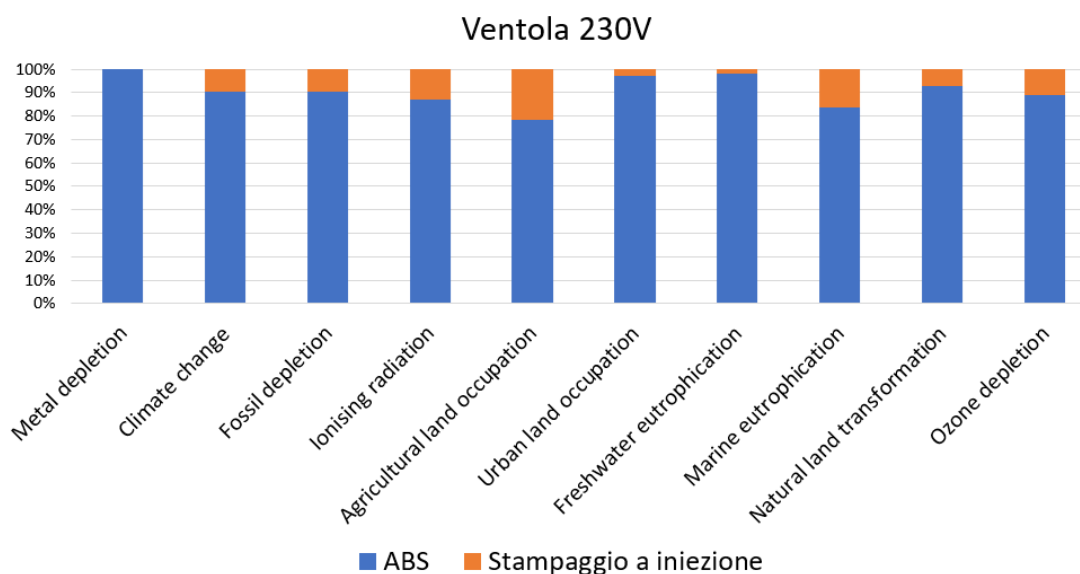


Figura 6.16 Valutazione degli impatti ventola 230V

## GRUPPO TELAIO

In questo assieme è presente oltre al telaio, struttura portante del macinino, anche il gruppo in cui sono posti i led, i piedini di basamento e gli accessori elettrici ed elettronici per il corretto funzionamento. In totale i pezzi analizzati sono 16, i risultati della valutazione degli impatti sono presentati nelle tabelle sottostanti (tab. 6.13).

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Cablaggio monofase shuko	Carter led	Cavo flat 20 vie	Fermacavo da pannello	Interruttore 220V	Microsw. Sicurezza	Modulo led	Piedino
Climate change	kg CO2 eq	45,41	0,80	0,26	0,25	0,06	0,36	0,17	2,46	0,16
Metal depletion	kg Fe eq	18,43	7,22	0,01	2,77	0,00	0,48	0,14	2,67	0,01
Fossil depletion	kg oil eq	10,30	0,28	0,06	0,06	0,02	0,11	0,05	0,64	0,08
Ionising radiation	kBq U235 eq	2,31	0,10	0,01	0,04	0,00	0,02	0,01	0,46	0,03
Agricultural land occupation	m2a	0,91	0,09	0,00	0,03	0,00	0,01	0,01	0,11	0,02
Urban land occupation	m2a	0,55	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Marine eutrophication	kg N eq	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Natural land transformation	m2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Pres a pann. EN60320	Telaio	Adesivo terra	Cavo coll. modulo led	Chiusura porta USB	Fascetta 200x2,6	Staffetta in plastica	Cablaggio generale
Climate change	kg CO2 eq	45,41	0,16	40,23	0,00	0,02	0,01	0,05	0,00	0,40
Metal depletion	kg Fe eq	18,43	0,19	1,12	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	3,61
Fossil depletion	kg oil eq	10,30	0,04	8,79	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,14
Ionising radiation	kBq U235 eq	2,31	0,01	1,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
Agricultural land occupation	m2a	0,91	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Urban land occupation	m2a	0,55	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,05	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Marine eutrophication	kg N eq	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Natural land transformation	m2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabella 6.13 Categorie degli impatti gruppo telaio



La parte del telaio vero e proprio ricopre un ruolo fondamentale in tale ambito; in quantità minore anche il cablaggio monofase, specialmente nella categoria *Metal Depletion* e il modulo led hanno una percentuale di impatto da tenere in considerazione (fig. 6.17). Per questo motivo si andrà ad approfondire l'analisi dei tre componenti appena descritti.

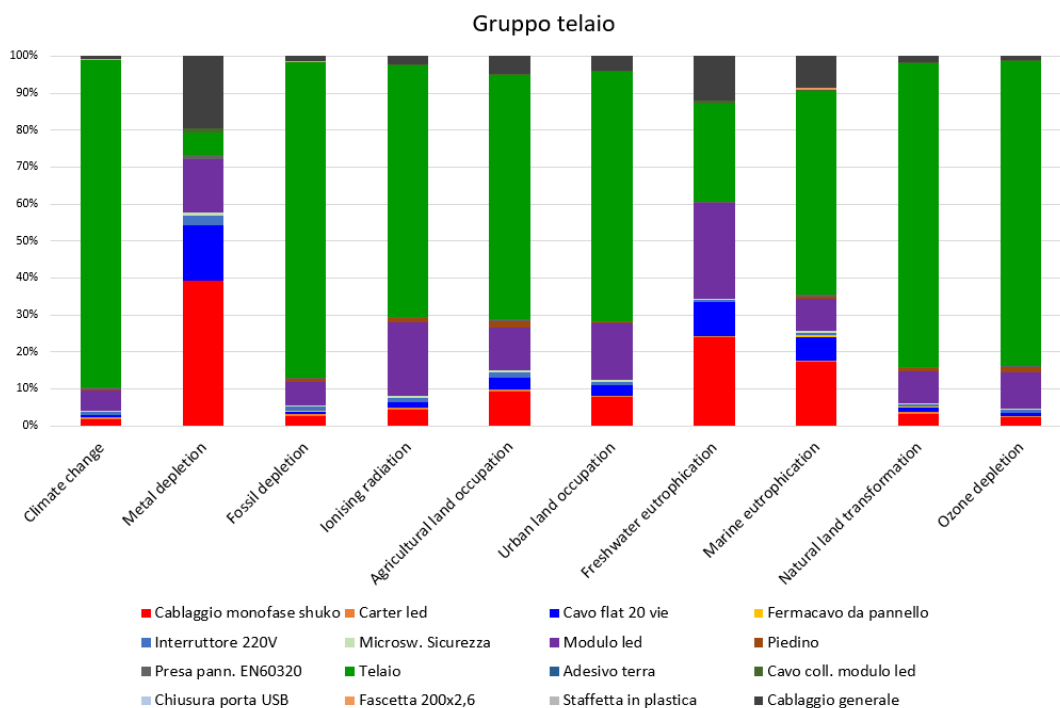


Figura 6.17 Valutazione degli impatti gruppo telaio

All'interno del telaio sono presenti più pezzi i cui valori degli impatti per ogni categoria sono riepilogati nella tabella sottostante (tab. 6.14).

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Staffa laterale	Base telaio	Parte frontale	Staffa superiore
Climate change	kg CO2 eq	40,23	0,04	21,48	18,65	0,07
Fossil depletion	kg oil eq	8,79	0,01	4,69	4,07	0,02
Ionising radiation	kBq U235 eq	1,57	3,08E-03	0,84	0,72	0,00
Metal depletion	kg Fe eq	1,12	0,05	0,52	0,44	0,09
Agricultural land occupation	m2a	0,60	1,36E-03	0,32	0,27	2,49E-03
Urban land occupation	m2a	0,37	7,07E-04	0,20	0,17	9,42E-04
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,01	2,97E-05	0,01	0,01	5,07E-05
Marine eutrophication	kg N eq	0,01	1,25E-05	4,68E-03	4,00E-03	1,53E-05
Natural land transformation	m2	4,76E-03	5,54E-06	2,55E-03	2,19E-03	1,16E-05
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1,80E-06	2,27E-09	9,66E-07	8,31E-07	4,14E-09

Tabella 6.14 Categorie di impatto telaio

La base e la parte frontale, entrambe in alluminio, rappresentano i pezzi principali di questo gruppo sia in termini di peso che di impatto (fig. 6.18).

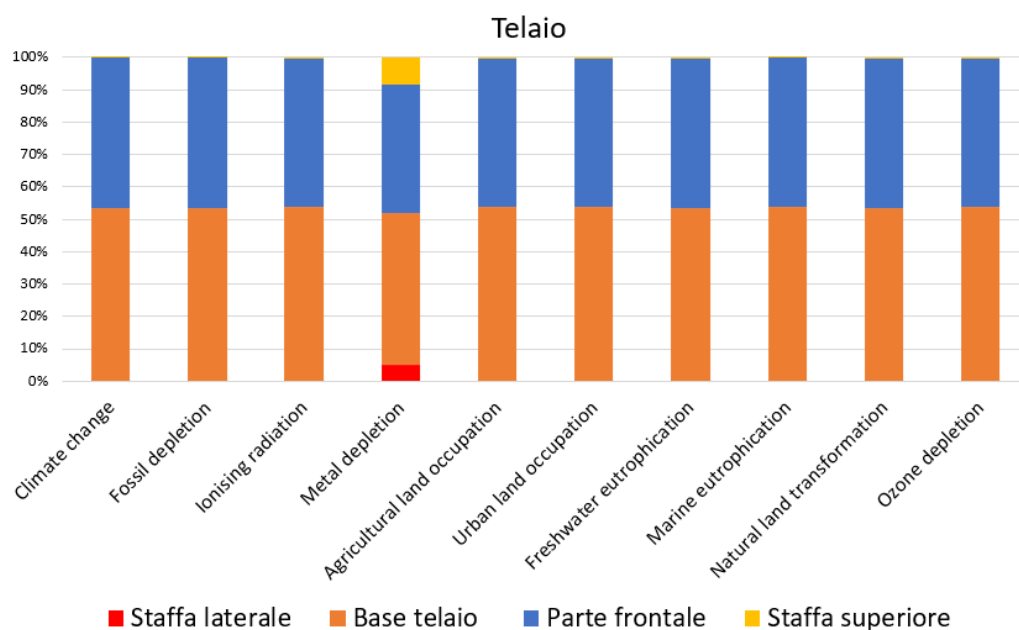


Figura 6.18 Valutazione degli impatti telaio

Risulta opportuno quindi approfondire la quantificazione degli impatti per entrambi i pezzi, considerando che la lavorazione cui vengono sottoposti è la stessa, ovvero fresatura e successiva verniciatura. Di seguito si rappresenta la tabella (tab 6.15) e il grafico (fig. 6.19) relativo alla base del telaio e la tabella (tab. 6.16) e il grafico (fig. 6.20) associato alla parte frontale.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Alluminio	Fresatura	Verniciatura
Climate change	kg CO2 eq	21,48	17,86	2,41	1,21
Fossil depletion	kg oil eq	4,69	3,82	0,52	0,36
Ionising radiation	kBq U235 eq	0,84	0,60	0,12	0,12
Metal depletion	kg Fe eq	0,52	0,34	0,09	0,09
Agricultural land occupation	m2a	0,32	0,22	0,06	0,04
Urban land occupation	m2a	0,20	0,15	0,04	0,01
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,01	0,01	0,00	0,00
Marine eutrophication	kg N eq	0,00	0,00	0,00	0,00
Natural land transformation	m2	0,00	0,00	0,00	0,00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabella 6.15 Categorie di impatto base telaio

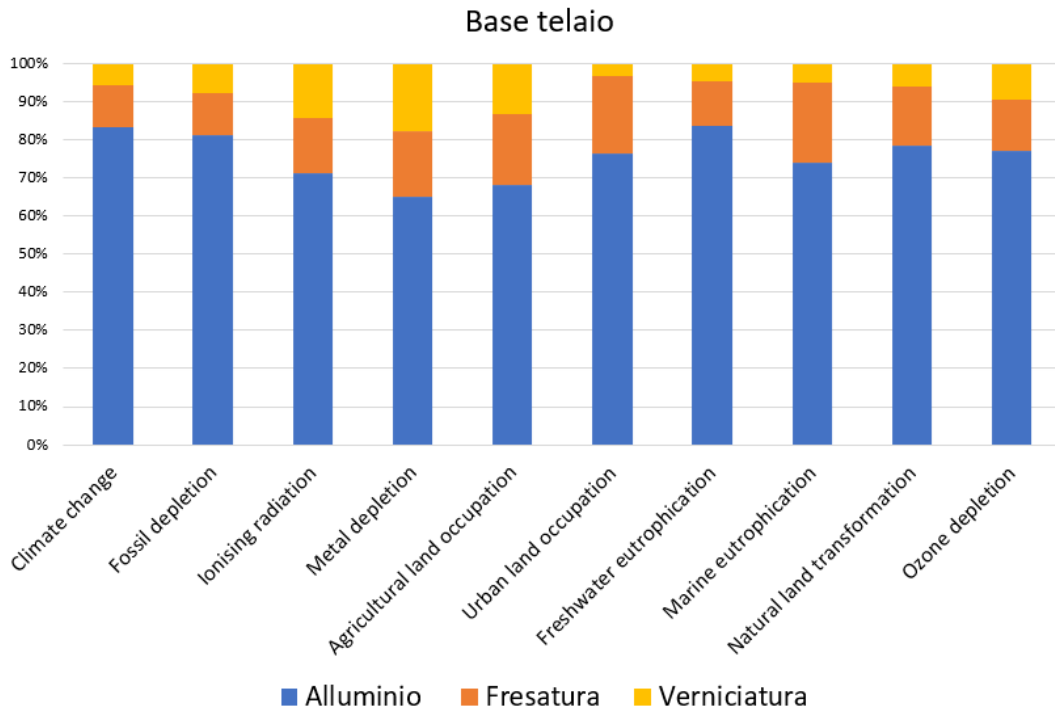


Figura 6.19 Valutazione degli impatti base telaio

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Alluminio	Fresatura	Verniciatura
Climate change	kg CO2 eq	18,65	15,95	1,79	0,92
Fossil depletion	kg oil eq	4,07	3,41	0,39	0,27
Ionising radiation	kBq U235 eq	0,72	0,54	0,09	0,09
Metal depletion	kg Fe eq	0,44	0,31	0,07	0,07
Agricultural land occupation	m2a	0,27	0,20	0,05	0,03
Urban land occupation	m2a	0,17	0,14	0,03	0,00
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,01	0,00	0,00	0,00
Marine eutrophication	kg N eq	0,00	0,00	0,00	0,00
Natural land transformation	m2	0,00	0,00	0,00	0,00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabella 6.16 Categorie di impatto parte frontale

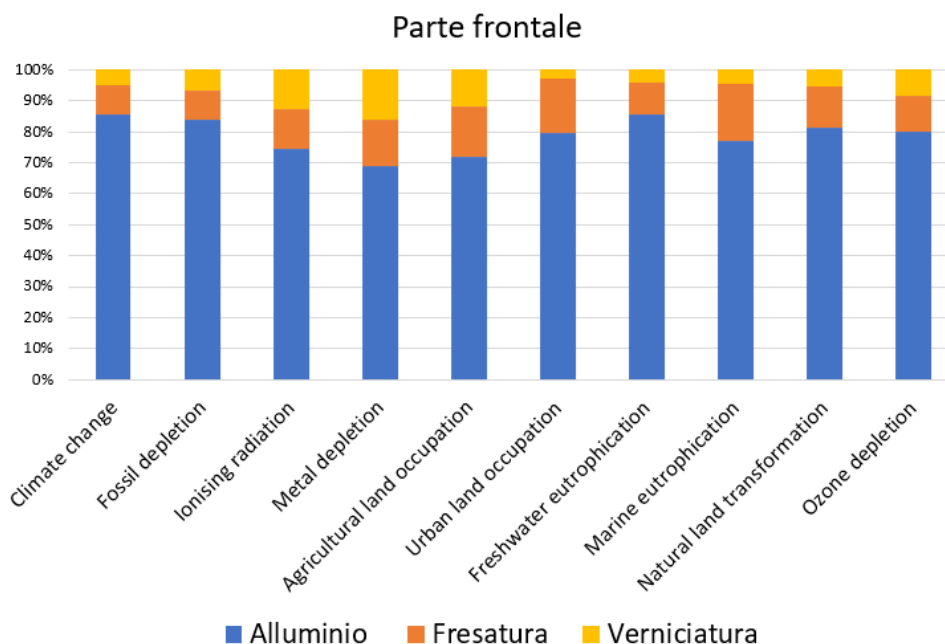


Figura 6.20 Valutazione degli impatti parte frontale

Come accennato in precedenza, nella categoria *Metal Depletion*, le principali cause di impatto sono da ricercare nel cablaggio monofase shuko, di cui si rappresenta solamente la tabella 6.17 con gli impatti associati alla fase material in quanto non sono modellati i processi di lavorazione, nel cavo flat 20 vie e nella basetta led.

Categoria d'impatto	Unità	Cablaggio
Metal depletion	kg Fe eq	7,22
Climate change	kg CO2 eq	0,80
Fossil depletion	kg oil eq	0,28
Ionising radiation	kBq U235 eq	0,10
Agricultural land occupation	m2a	0,09
Urban land occupation	m2a	0,04
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,01
Marine eutrophication	kg N eq	0,00
Natural land transformation	m2	0,00
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00

Tabella 6.17 Categorie di impatto cablaggio monofase shuko

Il cavo flat 20 vie è composto da conduttori in filo di rame paralleli tra loro trastrati di pellicola di PVC per formare un cavo a nastro piatto adatto per l'uso con connettori; nella modellazione è stata considerata una percentuale pari al 70% di rame e il restante 30% di PVC, con i processi di trafilatura per il primo e stampaggio a iniezione per il secondo. La tabella 6.18 riassume gli impatti associati alla fase material e di processo.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	PVC	Rame	Stampaggio a iniezione	Trafilatura
Metal depletion	kg Fe eq	2,77	4,26E-05	2,66	1,11E-04	0,11
Climate change	kg CO2 eq	0,25	0,01	0,21	4,90E-03	0,03
Fossil depletion	kg oil eq	0,06	3,79E-03	0,05	1,60E-03	0,01
Ionising radiation	kBq U235 eq	0,04	5,53E-05	0,03	1,11E-03	0,01
Agricultural land occupation	m2a	0,03	1,07E-05	0,03	7,37E-04	2,64E-03
Urban land occupation	m2a	0,02	3,51E-05	0,01	3,44E-05	7,34E-04
Freshwater eutrophication	kg P eq	4,23E-03	2,66E-07	4,06E-03	1,74E-06	1,70E-04
Marine eutrophication	kg N eq	1,02E-03	1,34E-06	9,68E-04	4,62E-06	4,56E-05
Natural land transformation	m2	7,02E-05	1,90E-07	6,35E-05	8,20E-07	5,69E-06
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1,70E-08	9,82E-11	1,41E-08	4,81E-10	2,37E-09

Tabella 6.18 Categorie di impatto cavo flat 20 vie

Andando a graficare è ben visibile come il rame e la lavorazione ad esso connesso abbiano un impatto maggiore sul PVC.

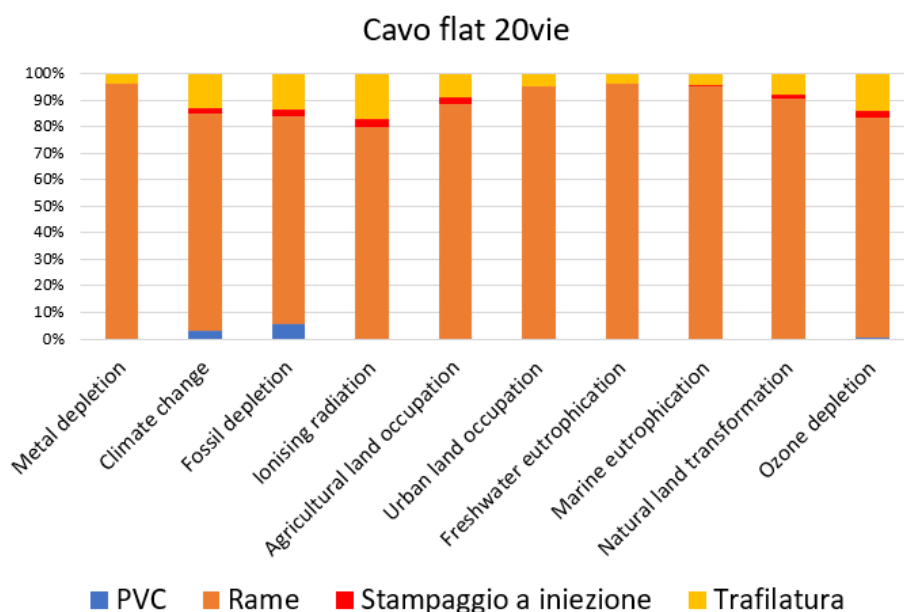


Figura 6.21 Valutazione degli impatti cavo flat 20 vie

Infine si rappresentano i valori degli impatti del modulo led; dalla tabella 6.19 si evince che l'influenza della basetta led interamente costituita da una scheda a circuito stampato è nettamente superiore ai connettori in nylon i cui valori sono dell'ordine di  $10^{-5}$  per la categoria *Metal Depletion* e di  $10^{-3}$  per *Climate Change*, quindi trascurabili.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Basetta led	Connettore F	Connettore M
Metal depletion	kg Fe eq	2,67	2,67	9,04E-06	1,25E-05
Climate change	kg CO2 eq	2,46	2,46	2,06E-03	2,86E-03
Fossil depletion	kg oil eq	0,64	0,64	6,87E-04	9,53E-04
Ionising radiation	kBq U235 eq	0,46	0,46	7,26E-05	1,01E-04
Agricultural land occupation	m2a	0,11	0,11	4,72E-05	6,55E-05
Urban land occupation	m2a	0,08	0,08	3,39E-06	4,70E-06
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,01	0,01	2,08E-07	2,88E-07
Marine eutrophication	kg N eq	1,34E-03	1,34E-03	2,27E-06	3,15E-06
Natural land transformation	m2	4,97E-04	4,97E-04	5,78E-08	8,02E-08
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	2,13E-07	2,13E-07	3,41E-11	4,73E-11

Tabella 6.19 Categorie di impatto modulo led

Il seguente grafico ( fig. 6.22) rappresenta quanto appena detto; inoltre per il modulo led non sono previsti processi di lavorazione, per cui l'impatto è attribuito interamente alla fase material.

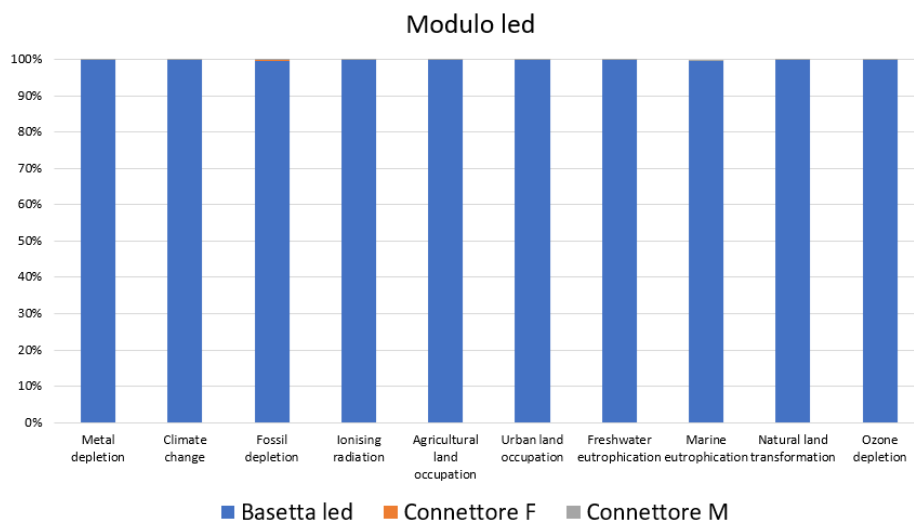


Figura 6.22 Valutazione degli impatti modulo led

L'analisi "AS-IS" del macinino ha evidenziato i gruppi e i componenti più impattanti, di seguito riassunti.

All'interno del gruppo motore gli impatti sono da assegnare maggiormente ai filamenti di rame del motore e in quantità inferiore alla camera di macinatura. Nel caso in cui si volessero fare degli interventi migliorativi è opportuno che i valori degli impatti in fase manufacturing per la categoria *Metal Depletion* non superino 1,89 kg Fe eq. per i primi e 0,05 kg Fe eq. per la seconda, mentre per la categoria *Climate Change* i valori limite sono rispettivamente 0,58 kg CO<sub>2</sub> eq. e 0,05 kg CO<sub>2</sub>.

Il secondo assieme valutato perché il suo impatto occupa una fetta interessante all'intero dell'insieme dei componenti del macinino è il gruppo posteriore; da questo poi si è sceso nel dettaglio per quantificare gli impatti limite delle eventuali future lavorazioni per garantirne l'efficienza in termini ambientali. Dall'analisi dei pezzi è possibile stabilire che i valori degli impatti limite per le lavorazioni associate al corpo posteriore per la categoria *Metal Depletion* sono di 0,45 kg Fe eq. e per la *Climate Change* 9,48 kg CO<sub>2</sub> eq.; considerando che la produzione di questo pezzo necessita di lavorazioni di fresatura e verniciatura, i valori degli impatti finali ad esse associate sono stati sommati. La ventola, essendo composta principalmente da ABS, ha un valore piuttosto ridotto in fase manufacturing per la *Metal Depletion* (0,002 kg Fe eq.) mentre per la *Climate Change* è di 0,11 kg CO<sub>2</sub> eq.; inoltre questo assieme è composto da due ventole identiche (l'altra è posta nel gruppo ventola superiore), per cui nel caso di miglioramenti e progettazioni funzionali alla riduzione dell'impatto, i benefici raddoppierebbero.

Infine nel gruppo telaio, avendo più elementi al suo interno, sono presentati più componenti. Per la categoria *Metal Depletion* l'impatto è assegnato maggiormente al cablaggio monofase shuko, il cui valore limite per le lavorazioni future è di 7,22 kg Fe eq. e in quantità minore anche alla basetta presente nel modulo led (valore limite delle lavorazioni di 2,67 kg Fe eq.). Per la categoria *Climate Change* l'impatto è causato principalmente dal telaio; all'interno di esso gli impatti sono suddivisi in quantità quasi uguali tra la base e la parte frontale del telaio. Nel caso di progettazioni finalizzate a limitare gli

impatti ambientali i valori di questa categoria per i futuri processi non dovranno superare in fase manufacturing 3,62 kg CO<sub>2</sub> eq per la base e 2,71 kg CO<sub>2</sub> eq per la parte frontale.

Infine in prospettiva di miglioramenti futuri, considerando che Nuova Simonelli propone uno scenario di smaltimento già incentrato sul riciclo dell'alluminio, del rame, dell'acciaio e dell'ottone, se si potenziasse questo processo aumentando del 10% la percentuale di riciclo dei primi tre materiali che compongono il macinino, si potrebbero avere dei benefici a livello ambientale. Per fare ciò sono stati confrontati lo scenario di smaltimento attuale (AS-IS) e quello ipotizzato (TO-BE); i valori ottenuti relativi alle 10 categorie di impatto analizzate sono riassunti nella tabella 6.20 e si possono visualizzare le percentuali dei benefici ottenibili. La rappresentazione grafica dei valori è visibile nella figura 6.23.

Categoria d'impatto	Unità	Scen. Fine vita proposto	Scen. Fine vita attuale	Benefici potenziamento riciclo
Climate change	kg CO <sub>2</sub> eq	-107,08	-89,70	16,2%
Metal depletion	kg Fe eq	-60,91	-53,22	12,6%
Fossil depletion	kg oil eq	-23,36	-19,58	16,2%
Ionising radiation	kBq U235 eq	-3,88	-3,23	16,6%
Agricultural land occupation	m <sup>2</sup> a	-1,76	-1,48	15,7%
Urban land occupation	m <sup>2</sup> a	-1,20	-1,02	15,4%
Freshwater eutrophication	kg P eq	-0,11	-0,09	13,6%
Marine eutrophication	kg N eq	-0,04	-0,03	14,5%
Natural land transformation	m <sup>2</sup>	-0,01	-0,01	16,1%
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	16,1%

Tabella 6.20 Confronto scenari di smaltimento



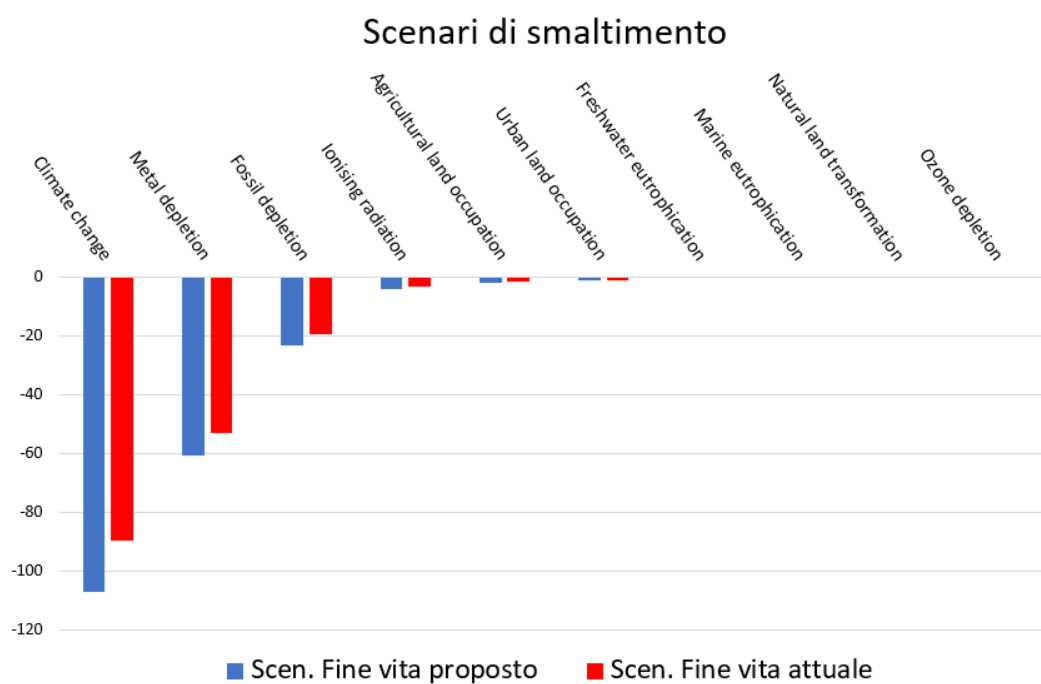


Figura 6.23 Confronto grafico scenari di smaltimento

# CAPITOLO 7

## CARATTERIZZAZIONE DEGLI SCARTI

La caratterizzazione degli scarti prodotti dalle quattro aziende consiste nella classificazione e determinazione di quelli aventi un potenziale riuso, con l'obiettivo di utilizzare tali rifiuti per la produzione di componenti del macinino Mythos VA75 GRAVIMETRICO. Questo approccio eviterebbe l'uso di risorse primarie e di conseguenza garantirebbe l'abbattimento degli impatti legati all'impiego di esse.

Per la classificazione in tale ambito le caratteristiche fisiche su cui si pone l'attenzione sono le dimensioni dei materiali di scarto e lo stato fisico in cui si trovano e per questo motivo sono scartate le polveri, in quanto necessiterebbero di processi di lavorazioni più importanti incentrati soprattutto nell'ottica del riciclo.

### 7.1 CARATTERIZZAZIONE DEGLI SCARTI – DELTA

Nel caso di Delta parte degli scarti dei lavelli deriva da una cattiva polimerizzazione delle dispersione acriliche e di conseguenza i prodotti non possono andare in commercio. In questo caso le dimensioni degli scarti sono pari a quelle dei lavelli, ovvero hanno una lunghezza che varia dai 50 cm a 1 m e una profondità di circa 50 cm in relazione al modello prodotto; si pensa quindi che il potenziale riuso di tali rifiuti possa essere elevato sia per componenti che ricoprono un ruolo estetico che funzionale.

Alcuni componenti beneficiari di questi scarti potrebbero essere il coperchio della campana, ma anche la protezione della scheda presente nell'assieme centralina e il supporto plastico "ADAMO" nell'assieme display. Inoltre il corpo posteriore dei macini è costituito da un unico pezzo realizzato in alluminio; in ottica di riuso si potrebbe verificare se il materiale messo a disposizione da Delta è compatibile con la resistenza meccanica e termica dell'alluminio e, se ciò è provato, si potrebbe realizzare questo componente con gli scarti dei

lavelli. Nel caso in cui tali dispersioni non possano essere piegate, si potrebbe pensare di dividere il pezzo in più parti e assemblarlo attraverso delle opportune giunzioni; ciò risulterebbe interessante anche in ottica di design for disassembly, valido solo se le parti siano collegate con collegamenti non permanenti. Gli sfridi provengono da residui di lavorazioni perciò le loro dimensioni sono minori rispetto agli scarti precedenti e variabili; essi potrebbero essere utilizzati per parti di tipo estetico come il logo posteriore “VICTORIA ARDUINO” o anche per l’etichetta del pomello avente diametro pari a circa 25 mm; in quest’ultimo caso si potrebbe pensare di utilizzare gli scarti circolari ottenuti per fare i buchi di scarico dei lavandini e utilizzarli così come sono senza ulteriori lavorazioni, eccetto il taglio per definire le corrette dimensioni dell’etichetta. La tabella 7.1 riassume tutte le informazioni appena citate.

RIFIUTI	MATERIALE / COMPOSIZIONE	TIPOLOGIA DI SCARTO	DIMENSIONI	STATO	NOTE	POTENZIALE RIUSO	MODALITÀ RIUSO	
							COMPONENTI	CARATTERIZZAZIONE
SCARTI DI LAVELLI	DISPERSIONI ACRILICHE (quarzo+matrice pmma)	scarti di produzione	L: da 50 cm a 1m P: 50 cm	solido	lavelli con difetto per cattiva polimerizzazione	ALTO	➤ COPERCHIO CAMPANA	estetica
➤ SUPPORTO PLASTICO ADAMO							funzionale	
➤ COPRPO POSTERIORE in Al							estetica	
➤ PROTEZIONE SCHEDA MYTHOS 2 in MYLAR							funzionale	
SFRIDI DI LAVELLI		scarti di processo	L: da 50 cm a 1m P: da 5 a 20 cm	solido	residui di lavorazione	MEDIO	➤ LOGO POSTERIORE	estetica
							➤ ETICHETTA POMELLO (Ø25mm)	estetica

Tabella 7.1 Caratterizzazione degli scarti – Delta

## 7.2 CARATTERIZZAZIONE DEGLI SCARTI – ELANTAS

La causa principale della produzione degli scarti di Elantas è la difformità tecnica tra la composizione dei prodotti e quella stabilita dagli accordi presi con i clienti. Dato che i materiali non presentano difetti e non hanno subito processi di lavorazione, potrebbero essere presi in considerazione per verificare se rispecchiano le caratteristiche di cui Nuova Simonelli necessita per la creazione di componenti. L’attenzione verso gli scarti di Elantas è rivolta in particolar modo a prodotti liquidi bicomponenti di resine epossidiche e

indurenti in grado di reagire a temperatura ambiente. Le destinazioni possono essere molteplici, sia per componenti funzionali come le ventole o il supporto plastico per il display, sia per componenti estetici: è il caso del coperchio della campana e dell'etichetta del pomello, ma anche della campana di raccolta dei chicchi di caffè, dei piedini di basamento, del bocchettone di uscita del caffè e della tastiera silconica (tab. 7.2).

RIFIUTI	MATERIALE / COMPOSIZIONE	TIPOLOGIA DI SCARTO	STATO	NOTE	POTENZIALE RIUSO	MODALITÀ RIUSO	
						COMPONENTI	CARATTERIZZAZIONE
MIX DI LIQUIDI di varie nature chimiche	Resine epossidiche	scarti di produzione	liquido	>scarti di prodotti per fuori specifica  >bicomponenti possono reagire a Tamb	ALTO	>PIEDINO BASAMENTO in gomma	estetica
						>VENTOLA	funzionale
						>TASTIERA SILICONICA 3 TASTI	estetica
						>BOCCHETTONE BECCO USCITA	estetica
						>SUPPORTO PLASTICO ADAMO	funzionale
						>CAMPANA MYTHOS 2	estetica
	Resine epossidiche caricate con minerali	scarti di produzione	liquido		ALTO	> COME SOPRA	

Tabella 7.2 Caratterizzazione degli scarti – Elantas

### 7.3 CARATTERIZZAZIONE DEGLI SCARTI – ETA BLADES

Nel caso di Eta Blades sono trascurate le polveri di scarto di rivestimenti e gli scarti del processo di produzione di infusione sottovuoto in quanto i materiali necessitano di lavorazioni più impegnative; ad esempio nel caso dei tubicini dell'impianto di infusione sarà essenziale separare la resina catalizzata impregnata dai tubi in polietilene. Tra i rifiuti che possono avere un impiego senza eccessive lavorazioni, gli scarti in fibra di vetro meritano una particolare considerazione in quanto si presentano come tessuti di dimensioni pari a quelle delle pale eoliche (circa 24 m) con una composizione chimica e una pulizia uguali alla materia prima originale. Non si conoscono precisamente le caratteristiche tecniche di questi materiali, ma in generale hanno un'ottima resistenza termica oltre che meccanica e, se sottoposti a speciali trattamenti di finitura, possono sopportare temperature fino a 500 °C [34]; per tale motivo possono avere un impiego come isolanti. Oltre a questi sono disponibili anche parti di fogli di PVC puliti di dimensioni di circa 50 cm in lunghezza e in profondità che potrebbero essere utilizzati per la realizzazione dell'etichetta

del pomello. L'aspetto positivo di questo rifiuto risulta essere che, essendo uno scarto non contaminato da altri materiali, nel caso in cui non si trovi una collocazione immediata per la realizzazione di parti del macinino, può essere inviato a riciclo anziché in discarica e Nuova Simonelli potrebbe utilizzare per i pezzi del macinino in plastica la nuova materia riciclata. Infine si può tener conto anche di materiali compositi derivanti dal taglio della radice della pala in vetro-carbonio, materiale assimilabile a vetroresina e dalla rifilatura della pala; in questo caso però non si conoscono le dimensioni degli scarti quindi sarebbe necessario un ulteriore approfondimento (tab.7.3).

RIFIUTI	MATERIALE / COMPOSIZIONE	TIPOLOGIA DI SCARTO	DIMENSIONI	STATO	NOTE	POTENZIALE RIUSO	MODALITÀ RIUSO	
							COMPONENTI	CARATTERIZZAZIONE
SCARTI IN FIBRA DI VETRO	Tessuto di fibra di vetro	scarti di processo	L: 24m	solido	composizione chimica e pulizia uguale alla materia prima originale	ALTO	➤ISOLANTE	funzionale
SCARTI PVC PULITO			L e P : fino a circa 50cm			ALTO	➤ETICHETTA POMELLO	estetica
MATERIALE COMPOSITO	Vetro-carbonio (assimilabile a Vetroresina - VTR)		Parti di pala		disco derivante da taglio radice pala	BASSO		
MATERIALE COMPOSITO	Adesivo epossidico; fibra di vetro; resina		Parti di pala		deriva da rifilatura pala	BASSO		

Tabella 7.3 Caratterizzazione degli scarti - Elantas

#### 7.4 CARATTERIZZAZIONE DEGLI SCARTI – SIMEG

In merito agli scarti prodotti da Simeg le potenzialità di riuso sono relative a componenti con funzione estetica, in quanto materiali inerti. Se si ipotizza la realizzazione dell'etichetta del pomello o del logo posteriore con un materiale come il gres porcellanato o agglomerati di quarzo e marmo, il prodotto finale acquisirebbe un alto valore aggiunto a livello estetico. Simeg inoltre genera anche scarti di produzione, ovvero degli insiemi di pezzami che non possono essere venduti a causa di difetti di dimensioni variabili a partire da pezzi di 30 x 30 cm fino a 60 x 250 cm; oltre a questi vengono anche accantonati resti di materiale intatto per lavorazioni successive di dimensioni fino a 160 x 180 cm. Questi ultimi però non sempre vengono sfruttati, nel caso in cui si ammucchino quantità elevate e gli spazi sono ridotti vengono smaltiti insieme agli altri scarti

per il risanamento della cava di breccia dismessa. Considerando ciò, un'idea per poter lavorare in ottica di riuso potrebbe essere quella di produrre il corpo posteriore con le parti laterali realizzate con questi materiali, soprattutto quelli di grandi dimensioni e la parte posteriore con le dispersioni acriliche dei livelli di Delta.

I dettagli relativi alla caratterizzazione degli scarti di Simeg sono riassunti nella tabella seguente (tab. 7.4).

RIFIUTI	MATERIALE / COMPOSIZIONE	TIPOLOGIA DI SCARTO	DIMENSIONI	STATO	NOTE	POTENZIALE RIUSO	MODALITÀ RIUSO			
							COMPONENTI	CARATTERIZZAZIONE		
PEZZAMI	LASTRE DI GRES PORCELLANATO	scarti di processo	spessore: 3, 5, 7, 9, 12, 20 mm	solido	da lavorazione di lastre di grande formato fino a 320x160 cm	MEDIO	➤ETICHETTA POMELLO	estetica		
	LASTRE DI MARMO			solido		BASSO	➤LOGO POSTERIORE	estetica		
			LASTRE DI DI GRANITO			solido	BASSO			
	LASTRE DI AGGLOMERATO DI MARMO			spessore: 20-30 mm		solido		MEDIO	➤ETICHETTA POMELLO	estetica
	LASTRE DI AGGLOMERATO DI QUARZO			spessore: 20-30 mm		solido		MEDIO	➤ETICHETTA POMELLO	estetica
									➤LOGO POSTERIORE	estetica
	INSIEME DI PEZZAMI	scarti di produzione	da 30x30cm a 60x250 cm	solido	derivano da scarti a causa di DIFETTI STRUTTURALI (pietre naturali)	ALTO	➤LOGO POSTERIORE	estetica		
			es. 160x180 cm	solido	SOTTOMISURE: resti di lavorazione accantonati per lavorazioni successive	ALTO	➤COPERCHIO CAMPANA	estetica		
							➤PARTE DEL CORPO POSTERIORE	estetica		

Tabella 7.4 Caratterizzazione degli scarti - Simeg

## 7.5 CONSIDERAZIONI SULLA CARATTERIZZAZIONE

Dalla caratterizzazione si evince che si hanno a disposizione materiali molto versatili come il tessuto in fibra di vetro, il pvc e le resine epossidiche; si può pensare quindi di abbinare questi materiali per ottenere un composito con buone proprietà fisiche mettendo in atto una vera e propria simbiosi tra più aziende. Ad esempio, il tessuto in fibra di vetro, se combinato con qualsiasi tipo di resina termoindurente, può essere utilizzato per la realizzazione di componenti che necessitano di un'elevata resistenza meccanica dando anche un apporto estetico al prodotto finale [35]. Allo stesso modo può essere interessante realizzare dei pannelli sandwich, composti da un'anima interna in PVC e da pelli realizzate con la fibra di vetro impregnata nella resina. Questa soluzione ha largo uso nel campo degli allestimenti, come per piani e

rivestimenti di arredo, ma grazie alla leggerezza e alla resistenza che li caratterizza potrebbero avere un utilizzo anche per componenti del macinino [36].

Affinché il riuso sia sostenibile dal punto di vista ambientale, gli impatti delle lavorazioni future dovranno essere minori di quelli presentate nella tabella 7.5 e 7.6, riferiti alle categorie di Climate Change e Metal Depletion.

Componenti	Categoria d'impatto	Unità	Impatto limite lavorazioni
Corpo posteriore	Climate change	kg CO2 eq	9,48
	Metal depletion	kg Fe eq	0,45
Ventola 230V	Climate change	kg CO2 eq	1,12
	Metal depletion	kg Fe eq	1,65
Campana Mythos	Climate change	kg CO2 eq	0,77
	Metal depletion	kg Fe eq	0,02
Coperchio campana	Climate change	kg CO2 eq	0,13
	Metal depletion	kg Fe eq	2,90E-03
Supporto plastico ADAMO	Climate change	kg CO2 eq	0,03
	Metal depletion	kg Fe eq	6,17E-04

Tabella 7.5 Impatto limite lavorazioni

Componenti	Categoria d'impatto	Unità	Impatto limite lavorazioni
Tastiera siliconica	Climate change	kg CO2 eq	0,02
	Metal depletion	kg Fe eq	4,16E-04
Piedino basamento	Climate change	kg CO2 eq	0,01
	Metal depletion	kg Fe eq	2,87E-04
Protezione scheda	Climate change	kg CO2 eq	4,52E-03
	Metal depletion	kg Fe eq	1,02E-04
Logo posteriore	Climate change	kg CO2 eq	3,24E-03
	Metal depletion	kg Fe eq	7,34E-05
Bocchettone becco d'uscita	Climate change	kg CO2 eq	1,82E-03
	Metal depletion	kg Fe eq	4,13E-05
Etichetta pomello	Climate change	kg CO2 eq	2,47E-04
	Metal depletion	kg Fe eq	5,60E-06

Tabella 7.6 Impatto limite lavorazioni

Le tabelle 7.7 e 7.8 riportano gli impatti della fase material e manufacturing dei componenti del macinino Mythos VA75 individuati come le parti obiettivo del riuso degli scarti delle aziende del partenariato. Sebbene il riuso non implichi l'introduzione di operazioni che alterano la composizione chimico/fisica dei materiali, potrebbe richiedere delle lavorazioni di finitura, quali per esempio il taglio, il cui impatto non dovrà superare quello del ciclo di lavorazione attuale.

Componenti	Categoria d'impatto	Unità	Material	Manufacturing	Impatto limite Material + Manufacturing
Corpo posteriore	Climate change	kg CO2 eq	45,61	9,48	55,08
	Metal depletion	kg Fe eq	0,87	0,45	1,32
Ventola 230V	Climate change	kg CO2 eq	1,02	0,11	1,13
	Metal depletion	kg Fe eq	1,65	2,40E-03	1,65
Campana Mythos	Climate change	kg CO2 eq	4,2402	0,7745	5,01
	Metal depletion	kg Fe eq	0,0043	0,0176	0,02
Coperchio campana	Climate change	kg CO2 eq	0,70	0,13	0,83
	Metal depletion	kg Fe eq	0,00	0,00	3,60E-03
Supporto plastico ADAMO	Climate change	kg CO2 eq	0,09	0,03	0,11
	Metal depletion	kg Fe eq	0,00	0,00	9,65E-04

Tabella 7.7 Impatto limite material + manufacturing

Componenti	Categoria d'impatto	Unità	Material	Manufacturing	Impatto limite Material + Manufacturing
Tastiera siliconica	Climate change	kg CO2 eq	0,04	0,02	0,06
	Metal depletion	kg Fe eq	2,97E-03	4,16E-04	3,38E-03
Piedino basamento	Climate change	kg CO2 eq	0,03	0,01	0,04
	Metal depletion	kg Fe eq	1,64E-03	2,87E-04	1,93E-03
Protezione scheda	Climate change	kg CO2 eq	0,01	4,52E-03	1,40E-02
	Metal depletion	kg Fe eq	6,25E-04	1,02E-04	7,28E-04
Logo posteriore	Climate change	kg CO2 eq	4,84E-03	3,24E-03	8,08E-03
	Metal depletion	kg Fe eq	2,82E-05	7,34E-05	1,02E-04
Bocchettone becco d'uscita	Climate change	kg CO2 eq	0,01	1,82E-03	7,59E-03
	Metal depletion	kg Fe eq	2,33E-05	4,13E-05	6,46E-05
Etichetta pomello	Climate change	kg CO2 eq	3,69E-04	2,47E-04	6,16E-04
	Metal depletion	kg Fe eq	2,15E-06	5,60E-06	7,74E-06

Tabella 7.8 Impatto limite material + manufacturing



Nel caso in cui i miglioramenti venissero effettuati su tutti i componenti sopra descritti è possibile avere un beneficio interessante sulla produzione del macinino, equivalente a una riduzione dell'impatto totale fino a 62,33 Kg CO<sub>2</sub> eq. sulla categoria *Climate Change* e fino a 3 kg Fe eq. sulla *Metal Depletion* (tab. 7.9).

Categoria d'impatto	Unità	Impatto limite Material + Manufacturing
Climate change	kg CO2 eq	62,33
Metal depletion	kg Fe eq	3,00

Tabella 7.9 Impatto limite totale

Confrontando lo scenario attuale degli impatti del Mythos in fase di assemblaggio (AS-IS) e di quelli futuri nel caso in cui venga messo in atto il processo di riuso degli scarti (TO-BE), si può raggiungere un beneficio ambientale pari al pari al 29,4% per *Climate Change* e al 2,5 % per *Metal Depletion* (tab. 7.10). La riduzione relativa alla categoria di *Climate Change* è dovuta soprattutto alla sostituzione dell'alluminio nel corpo posteriore, il quale ha un impatto di 55,08 kg CO<sub>2</sub> eq solo in fase material.

Categoria d'impatto	Unità	Impatto AS-IS Material + Manufacturing Mythos VA 75 GR	Impatto TO-BE Material + Manufacturing Mythos VA 75 GR	AS-IS / TO-BE Mythos VA 75 GR
Climate change	kg CO2 eq	211,88	149,54	29,4%
Metal depletion	kg Fe eq	121,59	118,59	2,5%

Tabella 7.10 Confronto impatto attuale e futuro

# CAPITOLO 8

## CRITICITÀ

Nel corso dell'attività di ricerca sono state incontrate delle difficoltà per cui è stato necessario effettuare delle assunzioni o delle ipotesi sulla base di informazioni già in possesso o prese dalla letteratura. Questa condizione si è verificata soprattutto nella fase di inventario LCI, relativa all'analisi LCA degli scarti, essendo una parte molto delicata di raccolta dati; tali informazioni, infatti, devono essere fornite dalle aziende partecipanti al progetto in modo da avere un'analisi finale di impatto che rispecchi la veridicità del caso. In alcune circostanze le indagini sono risultate incomplete, in altre le limitazioni sono state frutto della mancanza di elementi nel database di Simapro. Un'altra limitazione dovuta allo strumento riguarda il fatto che la modellazione risulta essere più precisa in fase di valutazione degli impatti associati alle materie prime rispetto a quella di fine vita, per cui, in generale, gli scarti generati dalle aziende sono caratterizzati da impatti ambientali che si concentrano prevalentemente nella fase pre-produttiva, piuttosto che nella fase di smaltimento.

Di seguito si elencano quindi i casi per cui lo studio ha richiesto delle supposizioni:

- composizione e percentuale di composizione dei materiali;
- non corrispondenza dei materiali da analizzare con i materiali presenti nel database Ecoinvent;
- processo di smaltimento.

### 8.1 CRITICITÀ DELTA

I rifiuti prodotti da Delta sono per la maggior parte costituiti da scarti e sfridi di lavelli e in quantità minori da polveri; entrambi hanno la stessa composizione, ovvero sono formati per il 70% da carica minerale (quarzo), per il 25% da matrice pmma e per il 5% da additivi. Poiché il quarzo non è presente nel

database Ecoinvent, per la caratterizzazione è stata utilizzata la pietra naturale “*Natural stone plate*”, nella forma “*cut*” per gli sfridi aventi dimensione più grande e nella forma “*grounded*” per le polveri; inoltre, in accordo con l’azienda, è stato assunto un cut-off del 5%, per cui gli additivi sono stati trascurati nella modellazione.

## **8.2 CRITICITÀ ELANTAS**

Il 65% degli scarti prodotti da Elantas è costituito da un mix di liquidi di varie nature chimiche, mentre il restante 35% da un mix di polveri. Per questa modellazione sono state riscontrate difficoltà nell’ambito della conoscenza della composizione e della percentuale di composizione delle resine epossidiche caricate con minerali, ma anche difficoltà associate all’assenza di materiali compatibili con il database Ecoinvent riguardanti quarzo e carbonati di calcio; in particolare tali cariche minerali sono state modellate con materiali di valenza più generica “*Natural stone plate, grounded*”.

Per la stima della composizione sono stati acquisiti come riferimento i dati di due aziende partecipanti al progetto (Delta e Simeg) aventi materiali simili; dopo aver preso le due tipologie di composizione, in un caso resina epossidica al 7% e carica minerale al 93% e nell’altro, resina epossidica al 25% e carica minerale al 75%, sono stati studiati gli impatti e poi confrontati per verificare quale delle due ipotesi fosse la più adatta per questa valutazione.

Di seguito si richiama il grafico con l’analisi degli impatti nel caso di resina epossidica e allumina (fig. 8.1): come si può notare la resina epossidica caricata con una percentuale di allumina al 75% ha un impatto maggiore rispetto al caso di resina epossidica caricata con allumina al 93%.

Allo stesso modo viene effettuata un’analisi per la composizione resina epossidica con quarzo e resina epossidica con carbonato di calcio; in questo ambito, dato che entrambi i minerali sono modellati con lo stesso materiale del database del software Simapro è sufficiente rappresentare un solo caso; di seguito si rappresenta il grafico ottenuto (fig. 8.2). Anche con questa composizione, i risultati ottenuti sono simili al caso precedente; la soluzione

con resina epossidica al 25% e quarzo al 75% ha un peso maggiore sull'impatto rispetto all'altra composizione.

Una prima considerazione che si può fare è che la resina epossidica ha un peso maggiore sul valore dell'impatto finale rispetto alla carica minerale.

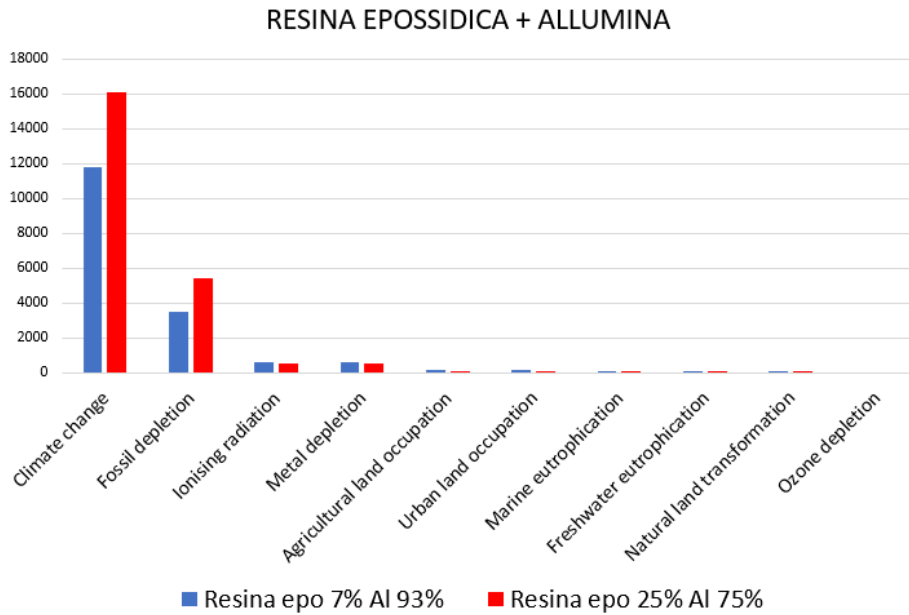


Figura 8.1 Confronto impatto composizione resina epossidica e allumina

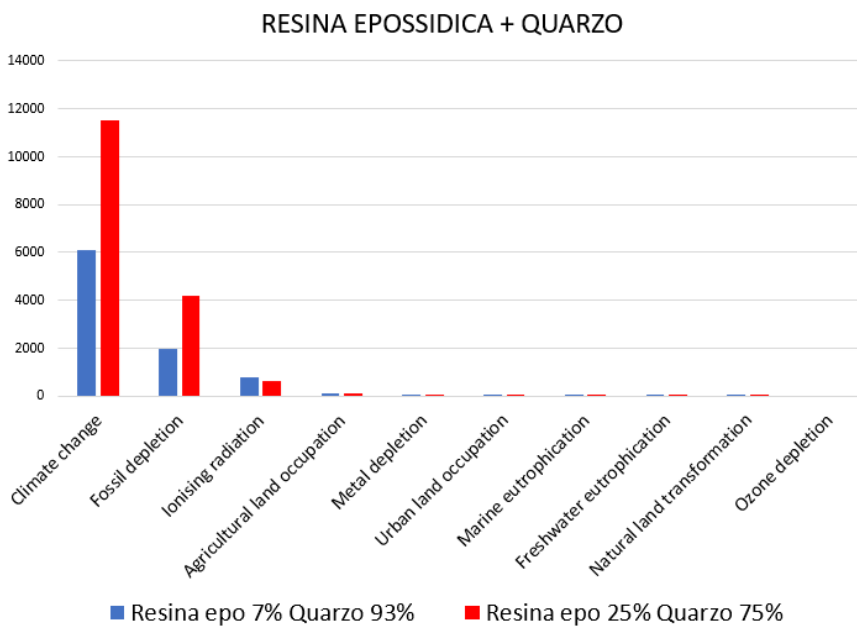


Figura 8.2 Confronto impatto composizione resina epossidica e quarzo

Proseguendo quindi sono stati confrontati gli impatti sui mix di liquidi (fig. 8.3) e sull'assemblaggio, in cui sono presenti sia i mix di liquidi che i mix di polveri (fig. 8.4), raccogliendo da una parte tutte le resine epossidiche caricate con minerali aventi una composizione pari al 7% resine epossidiche e 93% cariche minerali e dall'altra resine epossidiche al 25% e cariche minerali al 75%.

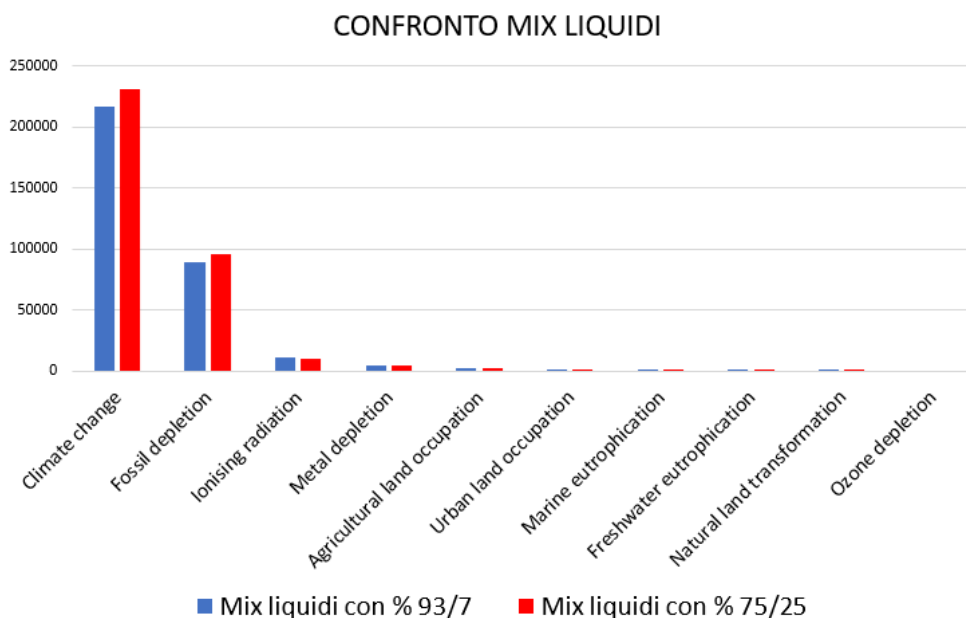


Figura 8.3 Confronto impatto mix di liquidi

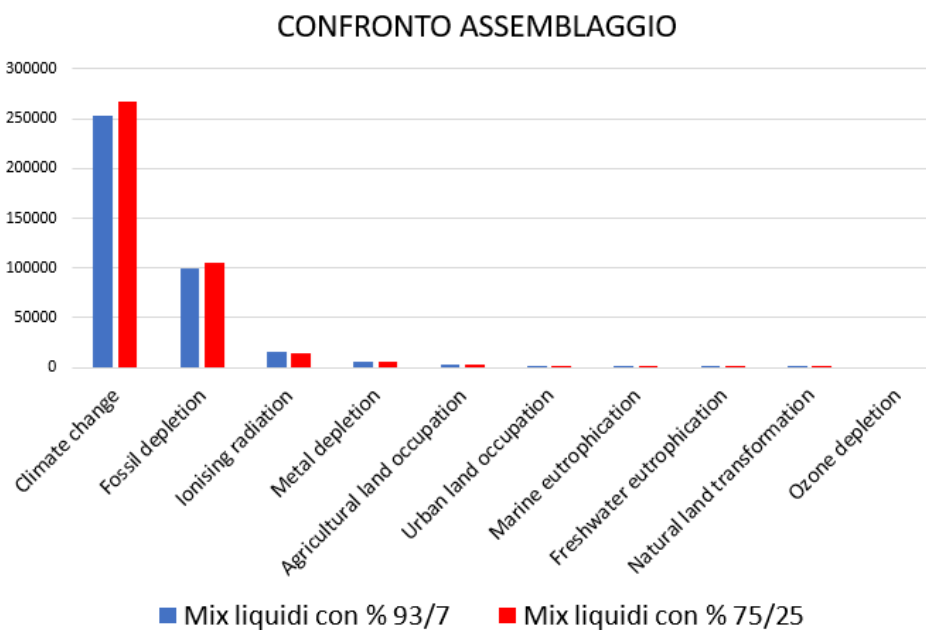


Figura 8.4 Confronto impatto assemblaggio

Concludendo si può affermare che, se si considera il componente “resina epossidica caricata con minerale”, l’impatto associato alla composizione fatta da resine al 25% e cariche minerali al 75% è maggiore rispetto al caso con cariche minerali al 93%; nella fase “material”, ovvero nell’analisi dell’assemblaggio, questa valutazione è ancora valida anche se lo scarto tra i due si riduce di molto; ciò probabilmente è dovuto anche al peso degli altri materiali e componenti presenti. In definitiva, per avere una valutazione finale e un risultato più cautelativo è stata ipotizzata la percentuale di composizione di resine al 25% e cariche minerali al 75%.

I rifiuti prodotti da Elantas, inoltre, sono smaltiti con un termovalorizzatore; per valutare il processo di smaltimento, in assenza di informazioni riguardo alla tipologia di incenerimento, sono stati esaminati e confrontati due scenari “*Hazardous*” e “*Municipal Waste*”. Le criticità riscontrate in questo ambito risiedono nel fatto che i mix di liquidi sono catalogati con un codice CER [31] di rifiuti pericolosi, ma non avendo informazioni circa la tipologia di incenerimento dall’azienda stessa e non essendoci particolari indicazioni nel dataset è stata effettuata una scelta che rimanesse più generica possibile, assumendo uno scenario di smaltimento “*Non Hazardous*”. Per completezza si descrive anche l’analisi con lo scenario “*Hazardous*”.

#### VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DI MIDPOINT

Come descritto nel capitolo 5 nella valutazione degli impatti di midpoint vengono analizzate due fasi di processo: material (Elantas) inerente allo stato di pre-produzione dei prodotti ed EoL (Elantas fine vita) che in questo caso è associato a uno scenario del tipo “*Hazardous waste, for incineration*”; questo contributo è dato dal fatto che il 100% degli scarti è inviato nel termovalorizzatore. La seguente tabella (tab. 8.1) descrive la quantificazione del contributo di ogni categoria di impatto.

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Elantas	Elantas fine vita
Climate change	kg CO2 eq	500371,8	267729,2	232642,6
Fossil depletion	kg oil eq	127773,1	105937,9	21835,2
Ionising radiation	kBq U235 eq	22041,1	15138,3	6902,8
Agricultural land occupation	m2a	9226,9	3251,9	5975,1
Metal depletion	kg Fe eq	9078,9	6273,5	2805,4
Urban land occupation	m2a	2450,7	1231,9	1218,8
Marine eutrophication	kg N eq	412,9	319,7	93,3
Freshwater eutrophication	kg P eq	127,2	48,2	79,0
Natural land transformation	m2	26,0	16,6	9,4
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,0	0,0	0,0

Tabella 8.1 Categorie di impatto del ciclo vita (MIDPOINT) - Elantas

Andando a graficare i risultati ottenuti (fig. 8.5) è possibile verificare come con questo scenario il divario tra la parte material e l'end of life è minore rispetto al caso "Non Hazardous"; in particolare nelle categorie "Agricultural land occupation", "Urban land occupation" e "Freshwater eutrophication" l'impatto associato al fine vita risulta maggiore rispetto alla parte pre-produttiva.

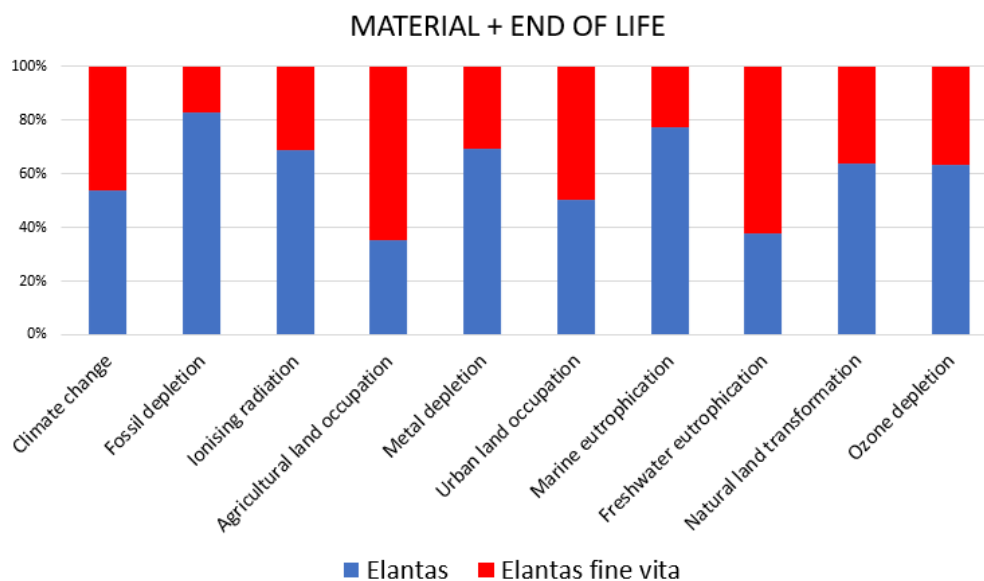


Figura 8.5 Valutazione degli impatti del ciclo vita (MIDPOINT) – Elantas

Per avere un quadro generale è possibile anche normalizzare i risultati ottenuti (tab. 8.2), in questo modo si confronta il peso dei due processi analizzati per ogni categoria di impatto (fig. 8.6).

Categoria d'impatto	Totale	Elantas	Elantas fine vita
Freshwater eutrophication	306,6	116,1	190,4
Natural land transformation	161,0	102,8	58,1
Fossil depletion	82,2	68,1	14,0
Climate change	44,6	23,9	20,8
Marine eutrophication	40,8	31,6	9,2
Metal depletion	12,7	8,8	3,9
Urban land occupation	6,0	3,0	3,0
Ionising radiation	3,5	2,4	1,1
Agricultural land occupation	2,0	0,7	1,3
Ozone depletion	2,0	1,3	0,7

Tabella 8.2 Categorie di impatto del ciclo vita (MIDPOINT) normalizzate - Elantas

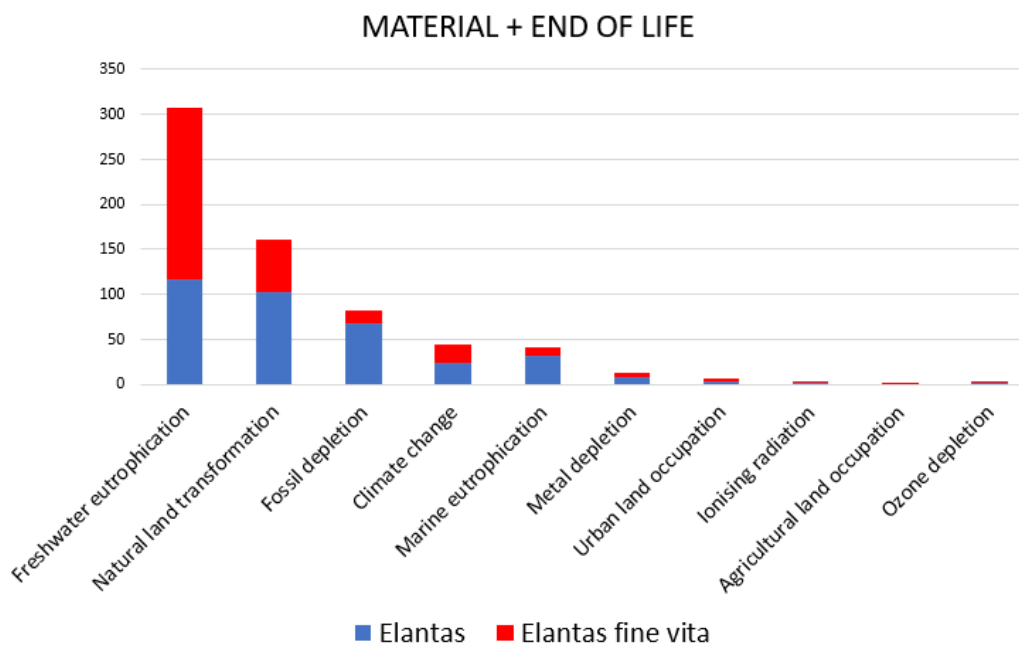


Figura 8.6 Valutazione degli impatti del ciclo vita (MIDPOINT) normalizzati - Elantas



In conclusione, si può affermare che le categorie più impattanti con questo scenario di smaltimento (fig. 8.7) sono:

- *Freshwater eutrophication*;
- *Natural land transformation*;
- *Fossil depletion*;
- *Climate change*;
- *Marine eutrophication*.

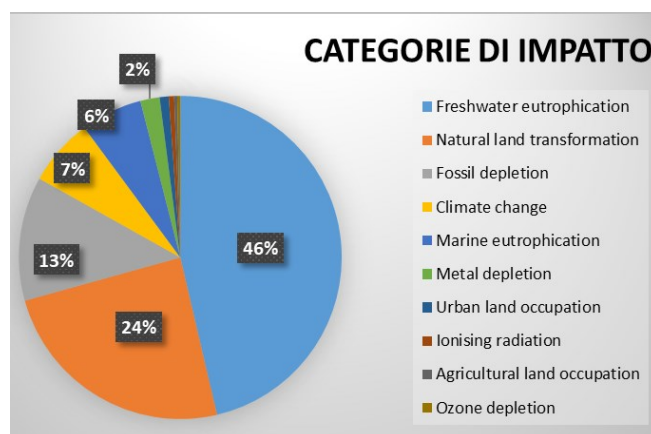


Figura 8.7 Categorie di impatto

Se ora si confrontano i due scenari "*Hazardous*" e "*Non Hazardous*" è possibile verificare che le categorie maggiormente impattanti rimangono le stesse a meno di qualche percentuale (tab. 8.3).

Categoria d'impatto	Hazardous waste	Municipal solid waste
Freshwater eutrophication	46%	32%
Natural land transformation	24%	24%
Fossil depletion	12%	18%
Climate change	7%	7%
Marine eutrophication	6%	14%
Metal depletion	2%	2%
Urban land occupation	1%	1%
Ionising radiation	1%	1%
Agricultural land occupation	0%	0%
Ozone depletion	0%	0%

Tabella 8.3 Confronto "Hazardous" e "Non Hazardous"

Come si può immaginare le categorie di impatto dello scenario “*Hazardous waste, for incineration*” hanno valori maggiori rispetto a quelle dello scenario “*Municipal Incineration*” (tab. 8.4); ad esempio per *Climate change* si riscontra un risultato superiore, ricordando che questo parametro rappresenta gli effetti causati dall’emissione in atmosfera dei gas serra, oltre alle attività umane, le quali influenzano la loro concentrazione atmosferica. L’unica categoria per cui l’impatto è maggiore nella categoria “*Municipal Incineration*” è quella di *Marine eutrophication*, tale fattore tiene conto della persistenza ambientale dell’emissione di nutrienti contenuti azoto. Nel grafico in figura 8.8 si possono visualizzare le differenze tra i due scenari.

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Unità</b>	<b>Elantas Hazardous waste</b>	<b>Elantas Municipal Incineration</b>
Climate change	kg CO2 eq	500371,8	313865,1
Fossil depletion	kg oil eq	127773,1	107478,0
Ionising radiation	kBq U235 eq	22041,1	15525,6
Agricultural land occupation	m2a	9226,9	3353,8
Metal depletion	kg Fe eq	9078,9	6419,4
Urban land occupation	m2a	2450,7	1604,4
Marine eutrophication	kg N eq	412,9	553,7
Freshwater eutrophication	kg P eq	127,2	49,5
Natural land transformation	m2	26,0	14,4
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,0	0,0

Tabella 8.4 Valutazione impatti fase material (MIDPOINT) in funzione dello scenario di smaltimento – Elantas



Figura 8.8 Valutazione impatti fase material (MIDPOINT) in funzione dello scenario di smaltimento – Elantas

### VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DI ENDDPOINT

Il confronto a livello Endpoint permette di eseguire la valutazione dei danni raggruppando le 18 categorie d'impatto di Midpoint in 3 categorie di danno (tab. 8.5).

Categoria di danno	Unità	Totale	Elantas	Elantas fine vita
Resources	\$	21769,19	17960,02	3809,18
Human Health	DALY	1,11	0,71	0,39
Ecosystems	species.yr	0,00	0,00	0,00

Tabella 8.5 Categorie di danno del ciclo vita (ENDPOINT) – Elantas

Si conferma che l'impatto dello scarto è assegnato per la maggior parte alla parte di pre-produzione dei materiali, ma una buona parte coinvolge anche lo scenario di fine vita soprattutto nella categoria "Ecosystem" (fig. 8.9).

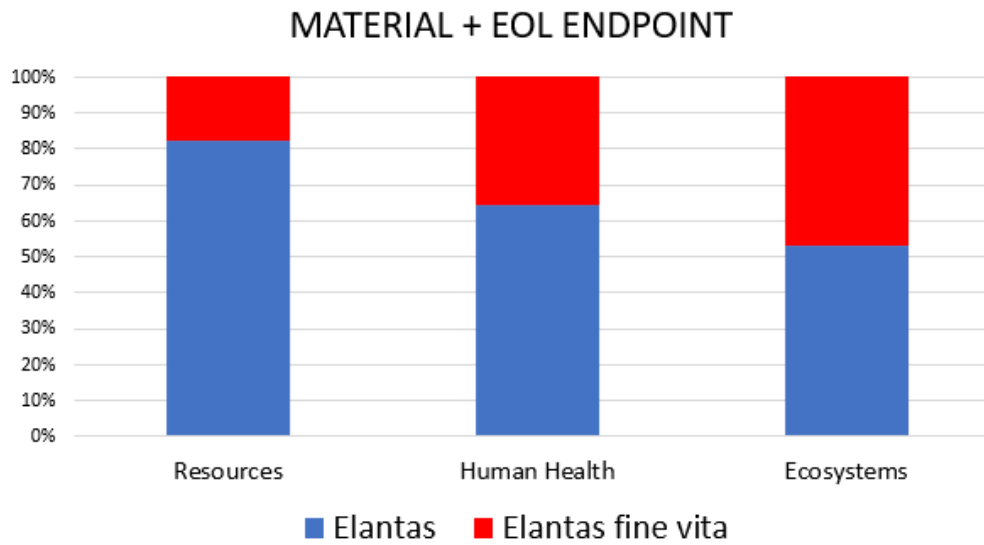


Figura 8.9 Valutazione degli impatti del ciclo vita (ENDPOINT) - Elantas

In conclusione, confrontando i due scenari si dimostra come “*Hazardous Waste*” sia superiore nelle categorie di danno relative alle risorse, alla salute umana e all’ecosistema (fig. 8.10).

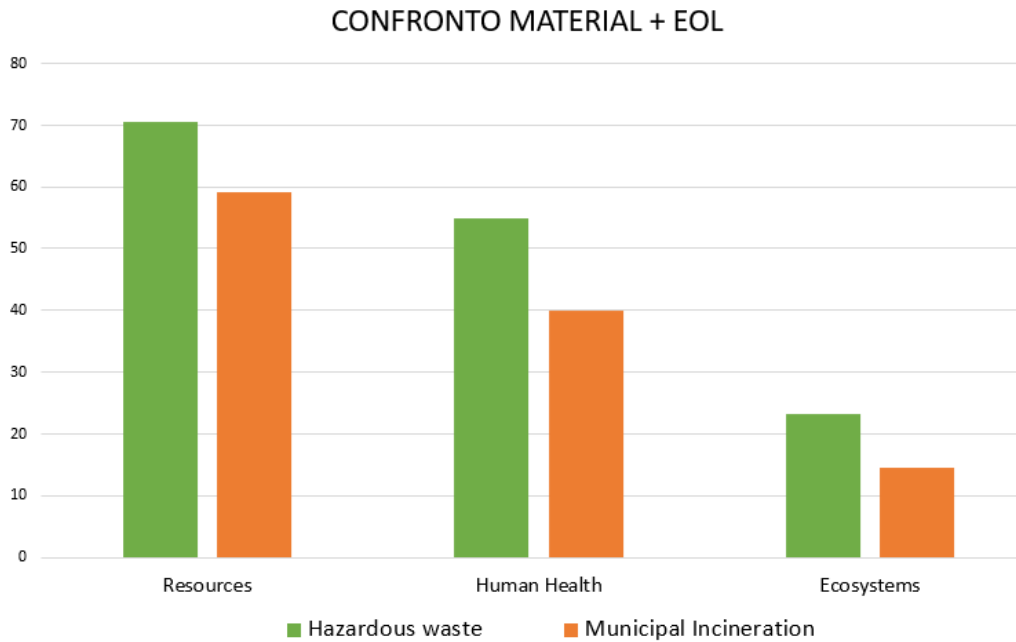


Figura 8.10 Confronto impatti del ciclo vita (ENDPOINT)

### 8.3 CRITICITÀ ETA BLADES

Nell'ambito dei rifiuti plastici sono state fatte due ipotesi di composizione per poter portare a termine l'analisi in quanto i dati ottenuti dal colloquio con l'azienda non hanno permesso di ottenere risultati compatibili con il database Ecoinvent; in particolare si parla della composizione della polvere di stucco epossidico e della composizione della gomma butilica (IIR) utilizzata come sigillante per il sacco del vuoto. Per il primo caso è stata ipotizzata una combinazione pari all' 80% di resina epossidica, modellata con il materiale "*Epoxy resin, liquid*" e al 20% di isolante di resina epossidica e silice, modellato con "*Epoxy resin insulator, SiO<sub>2</sub>*", in quanto la silice viene comunemente utilizzata per ottenere stucchi epossidici [37]. Nel secondo caso l'analisi è stata più dettagliata. La gomma butilica è un elastomero sintetico prodotto dalla copolimerizzazione di isobutilene e una piccola percentuale di isoprene o butadiene. Tale materiale ha una struttura molto simile al polietilene e al polipropilene, la differenza sta nel fatto che ogni atomo di carbonio è sostituito con due gruppi metilici [38].

I problemi nella ricerca del materiale si sono presentati a causa dell'assenza nel database del software Simapro dei due componenti principali (isobutilene e isoprene). Per determinare quindi una soluzione che meglio rappresentasse il materiale di partenza sono state fatte delle ipotesi di composizione sulla base delle informazioni raccolte:

1. 70% Gomma sintetica 30% Butilacrilato (il butilacrilato è stato scelto in quanto viene utilizzato in vernici, sigillanti, rivestimenti, adesivi, carburanti, tessuti, materie plastiche e mastici [39]);
2. 70% Gomma sintetica 30% Polipropilene;
3. 70% Gomma sintetica 30% Polietilene;
4. 100% Polipropilene;
5. 100% Polietilene.

Successivamente sono stati modellati gli impatti di ciascuna e infine confrontati. È stato analizzato sia l'impatto del sigillante del sacco del vuoto, sia l'impatto sul totale, ovvero sui rifiuti plastici, per verificare se la variazione di composizione potesse alterare eccessivamente il risultato finale. Per avere

una visione di impatto, l'esito di questa indagine è stato graficato. Di seguito si richiama la tabella (tab. 8.6) con l'analisi degli impatti fatte per ciascuna ipotesi di composizione e i due grafici associati.

Categoria d'impatto	Unità	GOMMA SINTETICA + BUTILACRILATO		GOMMA SINTETICA + POLIPROPILENE		GOMMA SINTETICA + POLIETILENE		POLIPROPILENE		POLIETILENE	
		RIFIUTI PLASTICI	SIGILLANTE SACCO VUOTO	RIFIUTI PLASTICI	SIGILLANTE SACCO VUOTO	RIFIUTI PLASTICI	SIGILLANTE SACCO VUOTO	RIFIUTI PLASTICI	SIGILLANTE SACCO VUOTO	RIFIUTI PLASTICI	SIGILLANTE SACCO VUOTO
Climate change	kg CO2 eq	159096,3	3646,4	158366,6	2916,8	158404,1	2954,3	157629,3	2179,5	157499,1	2049,3
Fossil depletion	kg oil eq	63999,0	2133,0	63815,0	1948,9	63813,6	1947,6	63562,2	1696,2	63552,8	1686,7
Ionising radiation	kBq U235 eq	3524,2	469,6	3431,2	376,7	3430,7	376,2	3063,3	8,8	3063,4	8,8
Agricultural land occupation	m2a	1514,1	244,4	1435,1	165,4	1440,1	170,4	1271,6	1,9	1271,7	2,0
Metal depletion	kg Fe eq	1077,1	181,1	1024,0	128,0	1025,5	129,4	902,5	6,4	902,9	6,9
Urban land occupation	m2a	294,4	25,3	288,5	19,4	288,5	19,4	274,5	5,4	274,5	5,4
Marine eutrophication	kg N eq	94,1	4,5	93,2	3,7	93,2	3,7	89,8	0,2	89,7	0,2
Freshwater eutrophication	kg P eq	11,4	0,7	11,2	0,5	11,2	0,5	10,7	0,1	10,7	0,0
Natural land transformation	m2	5,3	1,1	5,2	0,9	5,2	0,9	4,3	0,0	4,3	0,0
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabella 8.6 Confronto categorie di impatto in funzione alla composizione

Se si facesse una modellazione con polipropilene e polietilene i valori di impatto sarebbero minori sul sigillante per il sacco del vuoto, al contrario la soluzione con butilacrilato e gomma sintetica porterebbe a valori di impatto maggiori (fig. 8.11). Andando poi ad osservare l'impatto sull'intera categoria di rifiuti valutata e considerando che il peso della gomma butilica è di circa il 3%, l'impatto totale non risente di questa differenza di composizione (fig. 8.12). Concludendo, la soluzione con butilacrilato e gomma sintetica è la più

cautelativa pertanto si è ritenuto opportuno modellare il sigillante per il sacco del vuoto con 70% gomma sintetica e 30% butilacrilato.

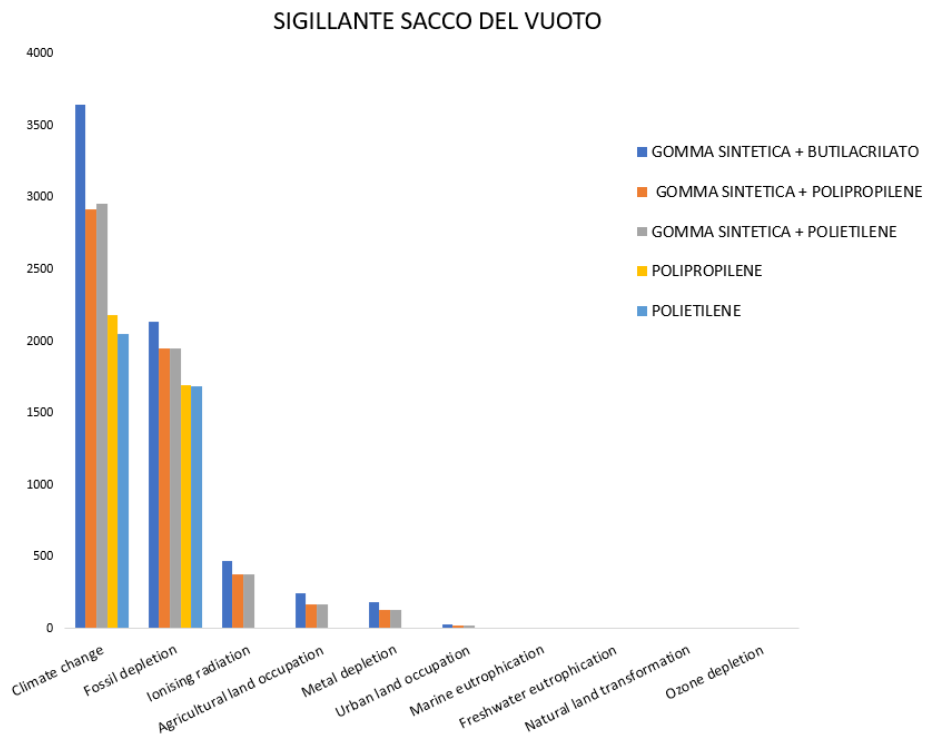


Figura 8.11 Confronto impatto sigillante sacco del vuoto in funzione della percentuale di composizione

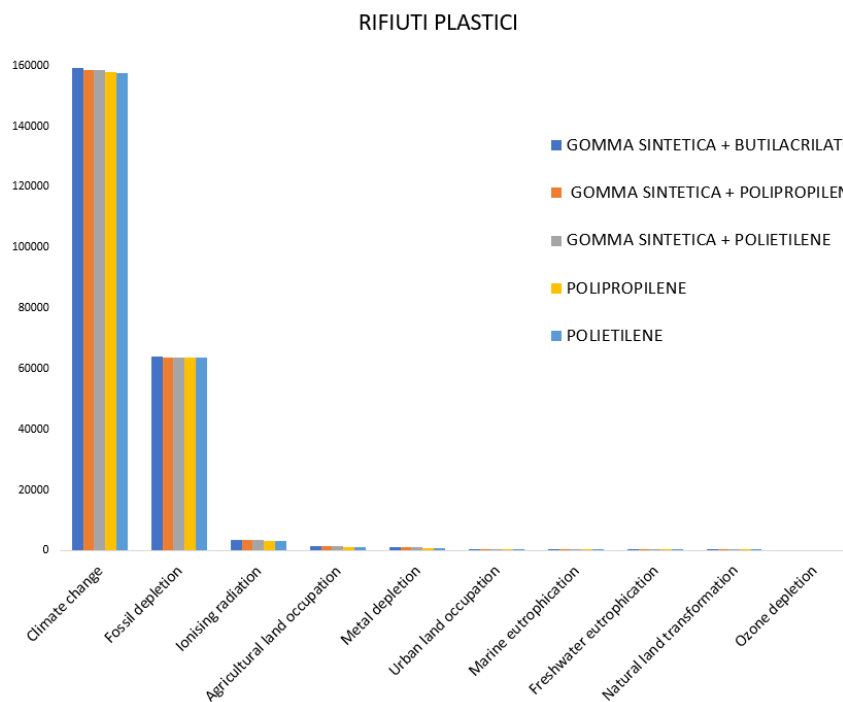


Figura 8.12 Confronto impatto rifiuti plastici in funzione della percentuale di composizione

#### **8.4 CRITICITÀ SIMEG**

Nell' analisi degli impatti associati agli scarti, come già descritto precedentemente, si tiene conto solo dei pezzami e dei fanghi che sono presenti in quantità maggiore, mentre le polveri e gli abrasivi di scarto sono stati trascurati in quanto è stata assunta, in accordo con l'azienda, come ipotesi di cut-off, l'eliminazione di componenti aventi peso minore o uguale dell'1% della massa totale di scarto. Considerando che alcuni dei costituenti principali di questi materiali sono marmo, granito e quarzo e poiché non sono presenti nel database Ecoinvent, per la caratterizzazione è stata utilizzata la pietra naturale "*Natural stone plate*" nella forma "*cut*" per quei componenti presenti nei pezzami e nella forma "*grounded*" per i fanghi.

I fanghi sono prodotti da un processo che deriva dal ricircolo di acqua di lavorazione attraverso l'utilizzo di macchine da taglio; in questa analisi sono stati tralasciati i consumi energetici del sistema di depurazione delle acque.



# CAPITOLO 9

## CONCLUSIONI

Lo sfruttamento delle risorse del pianeta Terra sta avendo ripercussioni sull'equilibrio dell'ecosistema, sull'economia e sulla salute umana. Tale utilizzo incontrollato, a livello ambientale, rappresenta la principale causa dei cambiamenti climatici e della perdita di biodiversità; la disponibilità di queste risorse è limitata, perciò è indispensabile utilizzarle in maniera più efficiente. Agire in modo sostenibile permette anche di creare posti di lavoro grazie allo sviluppo di nuovi settori in espansione e assicura una maggiore stabilità sui prezzi delle materie prime dettata da un uso migliore delle risorse.

In questo ambito l'economia circolare e la progettazione basata sull'ecodesign consente il recupero e la valorizzazione dei materiali di scarto garantendo benefici che coinvolgano l'intera comunità. È opportuno quindi, nel momento in cui un prodotto conclude la sua vita utile, portare avanti una strategia che preveda uno scenario di fine vita incentrato nell'ottica "closed-loop" riducendo il conferimento in discarica o nell'inceneritore e assicurando un utilizzo di materie prime seconde sempre più diffuso.

Questa tesi, incentrata sul riuso di materiali non più funzionali allo scopo per cui sono stati prodotti, ha ottenuto dei risultati interessanti. Nella prima fase sono stati infatti valutati gli impatti associati agli scarti prodotti dalle aziende coinvolte e da ciò si è potuto quantificare l'eventuale beneficio ambientale di uno scenario alternativo. Nel caso in cui questi materiali venissero utilizzati in una nuova vita di un prodotto o componente, il beneficio associato al riuso tal quale degli stessi sarebbe pari all'impatto della loro pre-produzione. Per fare un esempio, se si considerano le categorie di impatto di *Climate Change* e *Metal Depletion* associate alla fase material degli scarti e degli sfridi di Delta, in riferimento a una quantità di circa 140 ton, si ridurrebbero gli impatti di pre-produzione rispettivamente di 304730,08 kg CO<sub>2</sub> eq. e di 1308,12 kg Fe eq.. L'ulteriore beneficio sarebbe anche dato dal fatto di non conferire o conferire

in quantità minore tali scarti in discarica e quindi evitare l'impatto legato al fine vita dello scenario "open-loop". Nel caso in cui tutti gli scarti di Delta non venissero inviati in discarica il beneficio ammonterebbe a 1149,05 kg CO<sub>2</sub> eq. per la categoria di *Climate Change* e 55,92 kg Fe eq. per *Metal Depletion*.

L'utilizzo alternativo di questi materiali è stato studiato per sostituire la materia prima di componenti del macinino Mythos VA75 GRAVIMETRICO di Nuova Simonelli, per cui il beneficio ambientale sarà pari al valore dell'impatto della fase di pre-produzione del materiale che si andrà a sostituire. L'analisi LCA del macinacaffè ha determinato tra i 12 assiemi analizzati i 3 più impattanti con i relativi componenti ottenendo come risultati all'interno del gruppo motore i filamenti di rame e la camera di macinatura, nel gruppo posteriore il corpo posteriore e la ventola ed infine all'interno del gruppo telaio la base e parte frontale, la basetta led, il cavo flat 20 vie e il cablaggio. Tra questi, un risultato interessante riguarda il corpo posteriore in quanto, dopo aver caratterizzato gli scarti, sono state ipotizzate delle modalità di riuso e si è pensato di poterlo realizzare o interamente con gli scarti dei lavelli di Delta o con le parti laterali caratterizzate da pezzami di dimensioni opportune di Simeg e la parte posteriore del corpo con gli scarti di Delta. In questo modo oltre al vantaggio ambientale stimato nella fase material dell'alluminio, di cui il corpo è originariamente costituito, pari a una riduzione di 45,61 kg CO<sub>2</sub> eq. e di 0,87 kg Fe eq., si aggiunge anche un alto valore estetico grazie alle particolari caratteristiche del marmo, quarzo e gres porcellanato. Inoltre sono stati quantificati anche gli impatti limite che le future lavorazioni dovranno avere affinché il riuso sia efficiente; facendo sempre riferimento al pezzo appena descritto, tali dati dovranno essere minori di 9,48 kg CO<sub>2</sub> eq. per *Climate Change* e 0,45 kg Fe eq. per *Metal Depletion*. Anche per la ventola è stata scelta una realizzazione alternativa con le resine in dotazione da Elantas. Gli altri componenti dei gruppi più impattanti sono stati tralasciati in quanto nel contesto di riuso non è stata trovata una valida soluzione. Infatti sia il motore che il telaio sono pezzi con un compito funzionale, perciò è necessario valutare attentamente tutte le caratteristiche fisiche e tecniche che la materia prima seconda dovrebbe avere nel caso di una riprogettazione efficace; i componenti

elettrici ed elettronici necessitano di approfondimenti maggiori in quanto sono governati da specifiche normative.

Avendo a disposizione una quantità elevata di materia di scarto sono stati anche ipotizzati altri modi per poterla riutilizzare in componenti aventi un impatto minore; alcuni esempi possono essere la realizzazione del coperchio della campana con gli scarti di dimensioni elevate di Delta o di Simeg, ma anche la realizzazione della protezione della scheda di potenza, componente prettamente funzionale, con gli sfridi di Delta o l'etichetta del pomello con il PVC avanzato di Eta Blades oppure del piedino di basamento e della campana per contenere i chicchi del caffè con i mix di liquidi di Elantas. Nel caso in cui venissero implementate tutte le soluzioni proposte si potrà raggiungere una riduzione dell'impatto in fase material e manufacturing pari al 29,4% per la categoria *Climate Change* e al 2,1% per la categoria *Metal Depletion*, derivante solo dall'introduzione di tecniche per il riuso degli scarti.

Per convalidare le ipotesi descritte è opportuno valutare quali tra queste siano concretamente realizzabili con l'azienda Nuova Simonelli e successivamente individuare le eventuali lavorazioni necessarie per ottenere i prodotti mediante l'utilizzo delle materie prime seconde. Attraverso poi l'analisi TO-BE sarà possibile quantificare gli impatti ambientali e confrontare i due scenari. La condizione imprescindibile affinché il riuso sia efficiente è che gli impatti dei processi TO-BE non debbano superare quelli dei processi AS-IS, altrimenti non si otterrebbero dei vantaggi dal punto di vista ambientale. L'ultimo passo per concretizzare il processo del riuso sarà quello di valutare se, oltre per la sostenibilità ambientale, vi siano vantaggi a livello economico; per fare ciò si andrà a confrontare il costo della materia prima con quello della materia prima seconda, che comprenderà anche gli importi necessari per eventuali lavorazioni di adattamento dello scarto per la realizzazione dei pezzi.

Infine, in prospettiva di miglioramenti futuri, si è pensato di potenziare il riciclo già messo in atto da Nuova Simonelli dell'acciaio, del rame e dell'alluminio del 10%. Operando nella maniera proposta si avrebbe una riduzione dell'impatto per la categoria *Climate Change* di 17,38 kg CO<sub>2</sub> eq. e per la *Metal Depletion*

di 7,68 kg Fe eq. solo per un macinino pari al 16,2% per la prima categoria e al 12,6% per la seconda.

La collaborazione tra le aziende del territorio marchigiano porterebbe a un maggiore sviluppo economico grazie alla nascita di una vera e propria rete di simbiosi industriale incentrata sullo scambio di materie e sottoprodotti. Applicando quindi i principi dell'economia circolare e ragionando nell'ottica dell'ecodesign sarà possibile raggiungere effettivi benefici ambientali, oltre che economici, associati a questo nuovo modello di sviluppo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Global Footprint Network, «Calculating Earth Overshoot Day 2020,» 5 June 2020. [Online]. Available: <https://www.overshootday.org/2020-calculation/>.
- [2] Donella H. Meadows, Dennis Meadows, Jørgen Randers, The limits to growth, 1972.
- [3] «Rete del Sistema Informativo Nazionale Ambientale,» [Online]. Available: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/filarete/normativa/internazionali/1972-la-dichiarazione-di-stoccolma/view>.
- [4] «Rete del Sistema Informativo Nazionale Ambientale,» [Online]. Available: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/filarete/normativa/internazionali/1987-il-rapporto-brundtland/view>.
- [5] «Rete del Sistema Informativo Nazionale Ambientale,» [Online]. Available: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/filarete/normativa/internazionali/1992-la-dichiarazione-di-rio/view>.
- [6] «Ministero della Transizione Ecologica,» [Online]. Available: <https://www.minambiente.it/pagina/conferenza-rio20-una-sfida-importante>.
- [7] C. Kurrer, «Parlamento europeo,» Novembre 2020. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/it/sheet/71/politica-ambientale-principi-general-e-quadro-di-riferimento>.
- [8] UNRIC, «Centro Regionale di Informazione delle Nazioni Unite,» [Online]. Available: <https://unric.org/it/agenda-2030/>.
- [9] Commissione europea, «Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare - Per un'Europa più pulita e più competitiva COM(2020)98 final,» Bruxelles, 2020.

- [10] Commissione europea, «L'anello mancante - Piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare COM(2015) 614 final,» Bruxelles, 2015.
- [11] C. Calenda, G. L. Galletti, «Verso un modello di un economia circolare per l'Italia - Documento di inquadramento e di posizionamento strategico,» 2017.
- [12] Parlamento europeo, Consiglio dell'Unione europea, «Direttiva 2009/125/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 21 ottobre 2009 relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti connessi all'energia,» 2009.
- [13] Parlamento europeo, Consiglio dell'Unione europea, «Regolamento (UE) 2017/1369 del Parlamento europeo e del Consiglio del 4 luglio 2017 che istituisce un quadro per l'etichettatura energetica e che abroga la direttiva 2010/30/UE,» 2017.
- [14] M. Germani, «Strumenti e metodi per l'ecodesign - Gestione del ciclo di vita del prodotto».
- [15] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Gestione ambientale, Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento UNI EN ISO 14040, 2006.
- [16] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Gestione Ambientale, Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida UNI EN ISO 14044, 2006.
- [17] M. Germani, «Strumenti e metodi per il Life Cycle Assessment (LCA) - Gestione del ciclo di vita del prodotto».
- [18] M. Marconi, «END OF LIFE MANAGEMENT - Theory & Applications».
- [19] Parlamento europeo, Consiglio dell'Unione europea, «Direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 novembre 2008 , relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive,» 2008.
- [20] Parlamento europeo, Consiglio dell'Unione europea, «Direttiva 2004/35/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 21 aprile 2004,

sulla responsabilità ambientale in materia di prevenzione e e riparazione del danno ambientale,» 2004.

[21] Parlamento europeo, Consiglio dell'Unione europea, «Direttiva (UE) 2018/851 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 2008/98/CE relativa ai rifiuti,» 2018.

[22] Parlamento europeo, Consiglio dell'Unione europea, «Direttiva 2000/53/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 18 settembre 2000, relativa ai veicoli fuori uso,» 2000.

[23] Parlamento europeo, Consiglio dell'Unione europea, «Direttiva 2005/64/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 26 ottobre 2005 , sull'omologazione dei veicoli a motore per quanto riguarda la loro riutilizzabilità, riciclabilità e recuperabilità e che modifica la direttiva 70/156/CEE del Consiglio,» 2005.

[24] Parlamento europeo, Consiglio dell'Unione europea, «Direttiva 2002/95/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 27 gennaio 2003, sulla restrizione dell'uso di determinate sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche,» 2003.

[25] Parlamento europeo, Consiglio dell'Unione europea, «Direttiva 2012/19/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 4 luglio 2012 , sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE),» 2012.

[26] Commissione europea, «Strategia europea per la plastica nell'economia circolare COM(2018) 28 final,» Bruxelles, 2018.

[27] Vishal Fegadea, R. L. Shrivatsavab, A.V. Kalec, «Design for Remanufacturing: Methods and their Approaches,» in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier, 2015, pp. 1849-1858.

[28] PRé, various authors, SimaPro Database Manual - Methods Library, 2019.

[29] «Progetto MARLIC- Capitolato tecnico».

- [30] «Rinnovabili.it il quotidiano sulla sostenibilità ambientale,» 3 Marzo 2020. [Online]. Available: <https://www.rinnovabili.it/energia/eolico/pale-eoliche-rifiuti-risorse/>.
- [31] Commissione europea e Direzione generale dell'Ambiente, «Comunicazione della Commissione — Orientamenti tecnici sulla classificazione dei rifiuti (2018/C 124/01),» 2018.
- [32] «Fratelli Pellizzari - Gres porcellanato: storia e diffusione,» [Online]. Available: <https://www.fratellipellizzari.it/blog/gres-porcellanato>.
- [33] «Simonelli Group,» [Online]. Available: <https://simonelli-group.com/>.
- [34] «Texpack,» [Online]. Available: <https://texpack.it/catalogue/tessuti-vetro>.
- [35] «Castro Composites,» [Online]. Available: <https://www.castrocompositesshop.com/it/rinforzo-in-fibre-di/1199-600-g-m2-fibra-di-vetro-tessuto-biassiale-0%C2%BA-90%C2%BA.html>.
- [36] «Nautic EXPO by VIRTUALEXPO GROUP,» [Online]. Available: <https://www.nauticexpo.it/prod/cel-components-srl/product-34324-468553.html>.
- [37] «Compositi Shop,» [Online]. Available: <https://www.compositishop.com/cariche-addensanti/87-1244-silice-colloidale-aerosil.html>.
- [38] J. W. Gooch, Encyclopedic Dictionary of Polymers, New York: Springer, 2007.
- [39] National Center for Biotechnology Information, «PubChem Compound Summary for CID 8846, Butyl acrylate,» [Online]. Available: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Butyl-acrylate>.