



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

---

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica

**Analisi di un processo produttivo per il  
miglioramento della sostenibilità ambientale**

---

**Analysis of a production process to improve  
environmental sustainability**

Relatore:

Prof. **Michele Germani**

Correlatore:

Ing. **Marta Rossi**

Tesi di Laurea di:

**Carlo Sabbatini**

A.A. 2018/2019

# Sommario

|  |    |
|--|----|
| <b>1. INTRODUZIONE</b> .....                                       | 4  |
| <b>2. METODOLOGIA LIFE CYCLE ASSESSMENT</b> .....                  | 5  |
| 2.1 FASI LCA.....  | 5  |
| 2.1.1 Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione ..... | 6  |
| 2.1.2 Analisi dell'inventario.....                                 | 7  |
| 2.1.3. Valutazione degli impatti.....                              | 10 |
| 2.1.4. Interpretazione dei risultati .....                         | 12 |
| 2.2 LIMITAZIONI DI UN'ANALISI LCA.....                             | 13 |
| <b>3. METODO</b> .....   | 14 |
| 3.1 METODO DI ANALISI LCA APPLICATO .....                          | 14 |
| 3.2 ASSUNZIONI FATTE NELLA FASE DELL'ANALISI DELL'INVENTARIO ..... | 14 |
| 3.3 CONCETTO DI METABOLISMO INDUSTRIALE .....                      | 16 |
| 3.4 VALUTAZIONE DEI RISULTATI .....                                | 17 |
| <b>4. CASO STUDIO</b> .....  | 19 |
| 4.1 STORIA E BREVE DESCRIZIONE DELL'AZIENDA SANTONI .....          | 19 |
| 4.2 INTRODUZIONE E DEFINIZIONE E CAMPO DI APPLICAZIONE.....        | 19 |
| 4.3 ANALISI DELL'INVENTARIO .....                                  | 20 |
| 4.3.1 Fasi produttive per l'accessorio in ottone.....              | 20 |
| 4.3.2 Analisi dell'inventario processo accessorio in ottone .....  | 21 |
| 4.3.3 Fasi produttive per l'accessorio in zama .....               | 28 |
| 4.3.4 Analisi dell'inventario per l'accessorio in zama .....       | 29 |
| 4.6 MODELLAZIONE DEI RISULTATI.....                                | 33 |
| 4.7 RISULTATI ANALISI.....   | 37 |
| 4.7.1 Prodotto in ottone.....                                      | 37 |
| 4.7.2 Prodotto in zama.....  | 44 |
| 4.8 PROBLEMATICHE E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....                | 49 |
| <b>5. CONCLUSIONI</b> .....  | 52 |
| <b>6. APPENDICE</b> .....  | 53 |
| <b>7. BIBLIOGRAFIA</b> .....                                       | 54 |



## 1. INTRODUZIONE

In seguito alle problematiche di carattere ambientale che contribuiscono al progressivo deterioramento degli ecosistemi, oggi si sta rafforzando in Europa la domanda di una migliore qualità ambientale e di una maggiore efficienza dei servizi e degli impianti tecnologici. Tale attenzione permetterà di valorizzare anche da un punto di vista economico e imprenditoriale, i prodotti, le imprese e i territori che saranno gestiti con criteri rigorosi di sostenibilità ambientale.

L'analisi ambientale costituisce il presupposto di qualsiasi azione di gestione ambientale da parte di un'impresa. Essa consente infatti di individuare ed approfondire le problematiche ambientali e di fotografare, per mezzo di riferimenti oggettivi, le prestazioni aziendali in modo da poter stabilire e controllare nel tempo degli obiettivi di miglioramento.

L'analisi ambientale consente alle aziende di effettuare una valutazione complessiva delle problematiche e criticità ambientali connesse con la propria attività, costituendo quindi il punto di partenza per l'individuazione di obiettivi in tema ambientale e di procedure di supporto per gestire il sistematico raggiungimento degli stessi.

In questo lavoro di tesi, mediante l'applicazione della metodologia Life Cycle Assessment (LCA), si è valutato l'impatto ambientale di accessori per il settore moda, prodotti da un'azienda del territorio marchigiano. Particolare attenzione è stata posta ai processi produttivi interni, che sono stati esaminati attraverso misure dirette.

Dopo una prima introduzione alla metodologia LCA (Capitolo 2), si è descritto tutto il percorso di analisi fatto presso l'azienda (Capitolo 3), quindi è presentata la modellazione dei prodotti mediante lo strumento LCA fino al raggiungimento dei risultati (Capitolo 4), che sottoposti ad una valutazione hanno permesso di individuare le principali criticità legate alla fase produttiva. In appendice sono riportati infine tutti i risultati dell'analisi in forma numerica che non sono stati inseriti all'interno del testo per non appesantirne la lettura.

## 2. METODOLOGIA LIFE CYCLE ASSESSMENT

Il Life Cycle Assessment (LCA) è una procedura standardizzata che permette di valutare gli impatti ambientali associati a tutte le fasi della vita di un prodotto o processo. Questo metodo tiene traccia di ogni passaggio che va dall'estrazione delle materie prime necessarie, fino allo smaltimento o riciclaggio. Questi passaggi per la produzione vengono considerati uno la conseguenza dell'altro, valutandone quindi, tutta la vita; da ciò deriva la definizione, analisi "dalla culla alla tomba"

Questa caratteristica fa dell'LCA uno dei metodi più completi per ottenere una visione globale degli impatti ambientali legati ad un prodotto o processo.

Un limite importante di questo strumento è che non tiene conto degli aspetti economici e sociali, all'interno dell'analisi. Quindi per avere una visione completa della situazione analizzata bisognerebbe affiancare allo studio dell'impatto ambientale uno che tenga conto degli impatti economici e sociali.

### 2.1 FASI LCA

Le normative di riferimento per l'LCA sono la UNI EN ISO 14040:2006 e la UNI EN ISO 14044:2006. Quest'ultima specifica i requisiti e fornisce le linee guida per la valutazione del ciclo di vita. Lo studio dell'LCA prevede la definizione di quattro fasi principali

- Definizione dell'obiettivo e campo di applicazione
- Analisi dell'inventario
- Valutazione degli impatti
- Interpretazione

Il Life Cycle Assessment è un approccio sistematico e iterativo, composto dalle quattro fasi indicate sopra che adesso andremo ad analizzare singolarmente.

1. **Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione:** si fissa con l'azienda interessata il prodotto o il processo che si vuole analizzare e si stabiliscono i limiti (confini) dell'analisi
2. **Analisi di inventario:** si quantificano i flussi di materia prima, l'energia e tutto quello che viene usato per ottenere il prodotto oppure che viene utilizzato nel processo.
3. **Valutazione degli impatti:** valuta gli effetti sull'ambiente e sull'uomo di tutto quello che è stato considerato nel punto precedente (analisi dell'inventario)
4. **Interpretazione dei risultati:** valuta i risultati dell'analisi dell'inventario e della valutazione degli impatti e da questo si possono fare delle considerazioni che

permettono l'identificazione delle fasi particolarmente impattanti, permettendo un possibile miglioramento consapevole e mirato.

Ora andiamo ad analizzare queste fasi nel dettaglio.

### 2.1.1 Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

La normativa UNI ISO 14040:2006 prevede che per prima cosa venga dichiarato esplicitamente l'obiettivo, che inquadra subito i destinatari dell'analisi e il contesto di studio.

Esempi di possibili obiettivi sono:

- Valutazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> legate ad un sistema
- Definizione e quantificazione del carico ambientale di un determinato ecosistema
- Identificazione delle problematiche ambientali legate ad un prodotto o processo e definizione di linee guida per un miglioramento futuro

Una volta fissato l'obiettivo la cosa fondamentale è la definizione dell'unità funzionale che descrive in modo appropriato la funzione del prodotto o processo studiato.

L'unità funzionale indica l'oggetto di riferimento del nostro studio a cui tutti i dati in ingresso e in uscita saranno normalizzati.

La scelta di un'unità funzionale adeguata è fondamentale, soprattutto quando l'analisi prevede delle comparazioni tra due o più processi equivalenti oppure per prodotti che sono sostituiti uno dell'altro, infatti per poterli confrontare bisogna avere una base comune a cui riferirsi. Inoltre, una scelta corretta dell'unità funzionale garantirà una buona accuratezza dell'intero studio e quindi l'utilità stessa dei risultati.

Sempre in questa prima fase bisogna definire cosa verrà incluso e cosa no nell'analisi, in altre parole si definiscono i confini del sistema. Idealmente l'analisi LCA dovrebbe considerare tutte le fasi della vita di un prodotto o processo, che sono:

- Estrazione delle materie prime
- Lavorazioni
- Uso, riuso e manutenzione
- Fine vita (smaltimento o riciclo del rifiuto)

Secondo la normativa l'analisi va effettuata per ogni fase sopracitata, from cradle to grave, cioè dalla culla alla tomba. Nel caso si effettui uno studio parziale, dove viene escluso uno o più passaggi l'analisi si definisce parziale, from gate to gate. Le limitazioni assunte vanno comunque indicate e sottolineate fin da subito

|             |  |
|-------------|--|
| Costruzione | Estrazione materie prime<br>Lavorazione materie prime<br>Assemblaggio<br>Trasporto |
| Uso         | Manutenzione   |
| Fine vita   | Trasporto<br>Disassemblaggio<br>Smaltimento<br>Riciclo                             |

*Figura 1 limiti del sistema*

Questa prima fase guiderà l'intero processo, infatti ogni decisione, qui presa, coinvolgerà sia come lo studio verrà condotto sia l'accuratezza dei risultati finali.

## 2.1.2 Analisi dell'inventario

L'analisi dell'inventario (Life Cycle Inventory, LCI) è la fase dello studio che comprende la compilazione e quantificazione degli elementi in ingresso e in uscita, per un prodotto (o processo) nel corso de suo ciclo vita.

Questi dati raccolti per ogni processo unitario, appartenete ai confini del sistema, possono essere divisi in quattro categorie:

- Elementi in ingresso come energia, materie prime, materiali ausiliari e altro
- Prodotti, coprodotti e rifiuti
- Emissioni in acqua, aria e suolo
- Altri aspetti ambientali

L'LCI è l'operazione che necessita di più tempo, perché bisogna pensare e catalogare ogni flusso che interessa la fase studiata. Questa va fatta con particolare attenzione perché da essa dipende l'incertezza dei risultati, ma anche la riuscita stessa dell'analisi.

Dopo la raccolta i dati devono subire due diverse fasi, la validazione dei dati e la correlazione dei dati al processo unitario e all'unità funzionale. La prima è necessaria per fare un controllo

della validità dei dati e trovare eventuali errori, serve per confermare che questi ricadano nei requisiti di qualità richiesti. Nella seconda invece per ogni processo unitario si determina un flusso di dati, quindi ogni flusso dei processi unitari dovrà essere messo in relazione all'unità funzionale (flusso di riferimento).

Dopo questa breve descrizione possiamo dire che i passaggi per effettuare un'analisi dell'inventario possono essere considerati quattro:

- Sviluppo di un diagramma di flusso dei processi da valutare
- Sviluppo di un piano per la collezione dei dati
- Collezione dei dati
- Valutazione e trascrizione dei dati

Ora vediamo di descrivere questi quattro passaggi.

### Sviluppo di un diagramma di flusso dei processi da valutare

Questo diagramma altro non è che un metodo per schematizzare i flussi in entrata e in uscita per il prodotto o processo analizzato. La conformazione di questo schema logicamente varia di caso in caso in base agli input e output presenti e anche in base ai confini del sistema, che definisce cosa è da includere nell'LCA e cosa no. Un esempio di diagramma di flusso è rappresentato nella figura 2

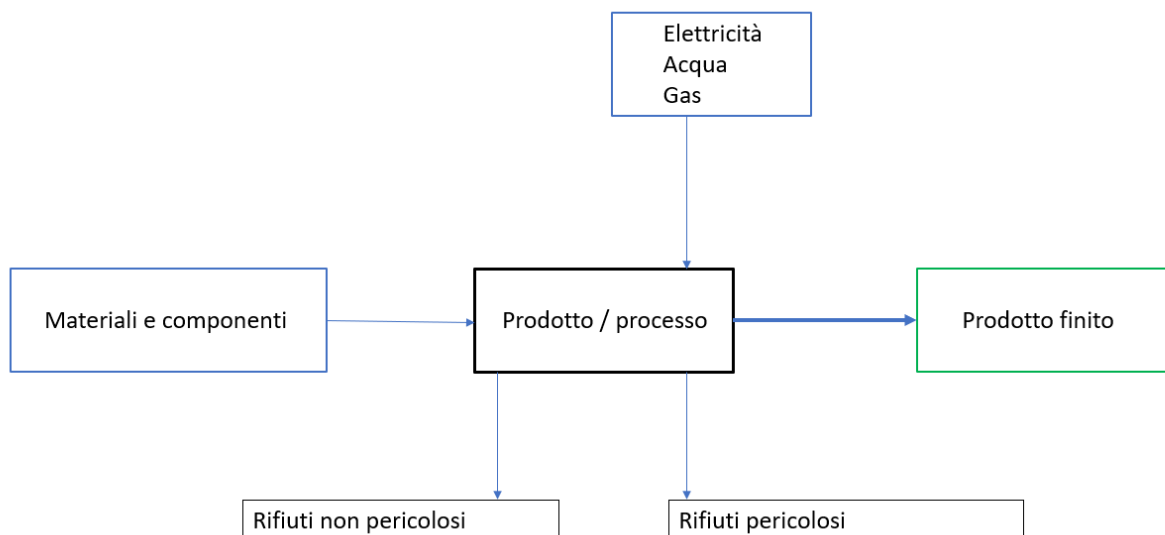


Figura 2 Diagramma di Flusso



### Sviluppo di un piano per la collezione dei dati

Nella prima fase dello studio LCA è stata definita l'accuratezza dei dati, affinché sia raggiunta la qualità e precisione definita, è necessario creare un piano per la collezione dei dati. Gli elementi fondamentali per la creazione sono:

- La definizione degli obiettivi di accuratezza richiesti – fornisce una struttura per bilanciare le risorse impiegate nella stesura dell'inventario (tempo/dettaglio richiesto)
- Identificare i tipi di risorse da cui ottenere i dati – si definiscono le risorse da cui ottenere i dati richiesti e la tipologia, stabilendo priorità per ridurre costi e tempi.
- Identificare indicatori di qualità dei dati – stabiliscono dei valori con cui i dati collezionati possono essere misurati per verificare se soddisfano i requisiti richiesti. Gli indicatori (precisione, completezza, etc.) non sono prestabiliti, ma definiti per ogni LCA
- Sviluppare un foglio di collezione dati che racchiuda tutti i dati raccolti in forma di database, permette poi di velocizzare l'analisi degli stessi.

### Collezione dei dati

Consiste nel riempire il diagramma di flusso, sviluppato nel primo passaggio con i dati raccolti. La collezione dei dati non è un compito semplice, infatti alcuni potrebbero essere difficili da calcolare o, addirittura impossibili da ottenere. Altri disponibili ma di difficile conversione all'unità funzionale richiesta. Quindi, potrebbe essere necessario rivedere i confini del sistema o la qualità dei risultati sulla base dei dati disponibili. Questo è un processo iterativo che sta alla base del metodo LCA.

### Valutazione e trascrizione dei risultati

Una volta collezionati ed organizzati tutti i dati è necessario verificare l'accuratezza dei risultati. Questa deve essere sufficiente per lo scopo dell'analisi, come stabilito nella fase di "definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione".

Durante la documentazione dei risultati dell'LCA, è importante descrivere scrupolosamente la metodologia usata nell'analisi, definire il sistema analizzato e i confini stabiliti e tutte le approssimazioni fatte durante la stesura dell'inventario.

Il risultato dell'analisi dell'inventario è una lista contenente la quantità di inquinanti rilasciati nell'ambiente e la quantità di energia e materiali consumati.

### 2.1.3. Valutazione degli impatti

Nella valutazione degli impatti si considerano i potenziali effetti che gli elementi, classificati durante l'analisi dell'inventario, hanno sull'ambiente e sull'uomo. Quindi l'obiettivo primario è quello di creare un collegamento diretto tra il prodotto o processo che si analizza ed il suo potenziale impatto ambientale.

In questa fase, diventa necessario l'utilizzo di alcuni elementi fondamentali come, le categorie di impatto, gli indicatori di categoria e i modelli di caratterizzazione.

Facendo un esempio: se dalla fase di inventario sappiamo che in un determinato stadio del processo produttivo vengono utilizzati 50 grammi di ottone e 5 KWh di energia, nella fase di valutazione degli impatti, grazie ai fattori di caratterizzazione è possibile valutare quale dei due contributi ha un impatto maggiore.

La fase della valutazione degli impatti, anche detta LCIA (Lifecycle Impact Assessment) deve includere obbligatoriamente i seguenti elementi:

- Selezione delle categorie di impatto, degli indicatori di categoria e dei modelli di caratterizzazione
- Assegnazione dei risultati dell'LCI delle categorie di impatto selezionate (classificazione)
- Calcolo dei risultati di indicatore e di categoria (caratterizzazione)

Vediamoli nel dettaglio

#### Selezione delle categorie di impatto, degli indicatori di categoria e dei modelli di caratterizzazione

Il primo passo da fare nell'LCIA è selezionare delle categorie di impatto sulla base delle scelte fatte nella prima fase dell'LCA: dovranno infatti rispecchiare coerentemente il campo di applicazione e l'obiettivo dell'LCA. Gli impatti sono definiti come la conseguenza sull'ambiente dei flussi in input o output. Generalmente LCIA si focalizza sul potenziale impatto di tre categorie: salute umana, danno ambientale, esaurimento delle risorse.

## Classificazione

In questa fase i dati dell'inventario vengono suddivisi nelle varie categorie di impatto che sono state scelte. Per gli elementi dell'LCI che ricadono in una sola categoria di impatto l'assegnazione è diretta.

Ad esempio, le emissioni di CO<sub>2</sub> rilevate sono interamente classificabili nella categoria del riscaldamento globale.

L'assegnazione diventa più complessa quando uno stesso dato dell'analisi dell'inventario ricade in due o più categorie di impatto, a questo punto abbiamo due possibili metodi da seguire:

1. Classificare una parte rappresentativa dei risultati dell'LCI alla categoria di impatto alla quale contribuiscono. Questo metodo è utilizzato nei casi in cui gli effetti sono dipendenti uno dall'altro
2. Assegnare tutti i risultati dell'LCI a tutte le categorie di impatto alle quali contribuiscono. Questo metodo è utilizzato quando gli effetti sono indipendenti l'uno dall'altro.

Ad esempio, nel caso si vogliano classificare le emissioni di SO<sub>2</sub>, esse possono essere categorizzate sia come emissioni in aria che come emissioni nel suolo poiché le stesse molecole di SO<sub>2</sub> possono essere nello stesso tempo nell'aria e nel suolo. In questo caso il 50% delle emissioni saranno classificate in "emissioni in aria" il restante 50% saranno classificate in "emissioni nel suolo" poiché gli effetti sono dipendenti uno dall'altro.

## Caratterizzazione

La caratterizzazione degli impatti è basata su dei fattori di conversione, detti fattori di caratterizzazione, che vengono utilizzati per trasformare e raggruppare i risultati dell'LCI in indicatori di impatto per la salute umana e ambientale. Questa fase permette di ottenere dei risultati comparabili tra le diverse categorie di impatto, trasformando tutti gli input e output del sistema in indicatori di impatto.

Gli indicatori di impatto sono calcolati utilizzando l'equazione:

$$Eli \times FCi = Ili$$

Dove:

- Eli: elemento dell'inventario i-esimo
- FCi: fattore di caratterizzazione i-esimo
- Ili: indicatore di impatto i-esimo

All'interno della fase dell'LCIA esistono altri passaggi matematici che possono o meno essere inclusi a seconda dell'obiettivo:

- Normalizzazione- esprime i dati ottenuti in modo che siano comparabili tra le categorie di impatto; consiste nel dividere i valori ottenuti dalla caratterizzazione per un valore di riferimento
- Raggruppamento- raggruppa le categorie di impatto in uno o più gruppi per facilitare l'interpretazione dei risultati in determinate aree di interesse
- Ponderazione- assegna pesi o valori relativi differenti alle diverse categorie di impatto in base alla loro importanza percepita o rilevata.

#### 2.1.4. Interpretazione dei risultati

La fase di interpretazione è l'ultima da eseguire in uno studio LCA e consiste nell'identificare, quantificare, controllare e valutare i risultati ottenuti dall'LCI e LCIA.

Gli obiettivi principali durante questa fase sono due:

1. Analizzare i risultati, ideare delle conclusioni, spiegare limitazioni e fornire raccomandazioni basate sui risultati delle precedenti fasi dell'LCA e documentare i risultati ottenuti in maniera ottimale
2. Presentare i risultati dell'LCA in maniera chiara, completa e facilmente comprensibile, in linea con l'obiettivo dello studio

Durante l'interpretazione bisogna includere una valutazione e un controllo di sensibilità degli elementi significativi in ingresso e in uscita e delle scelte metodologiche, al fine di valutare l'incertezza dei risultati.

Inoltre, è necessario svolgere la fase di interpretazione in relazione all'obiettivo dello studio, valutare cioè

- Se le definizioni delle funzioni del sistema dell'unità funzionale e del confine di sistema sono appropriate
- Se le limitazioni identificate mediante valutazione della qualità dei dati e analisi di sensibilità sono adeguate

La fase di interpretazione è composta da due step di analisi:

1. Identificazione dei fattori significativi: in questa fase è necessario revisionare le informazioni ottenute dalle prime tre fasi dell'analisi per identificare gli elementi che più contribuiscono al risultato sia dell'LCI sia dell'LCIA, anche detti "fattori significativi". Il risultato ottenuto è usato successivamente per valutare la completezza, sensibilità e consistenza dello studio eseguito.  
A causa dell'ammontare dei dati collezionati, è ragionevole svolgere l'identificazione dei fattori significativi con tempo e risorse disponibili  
Prima di proseguire con la valutazione, è necessario verificare che durante l'analisi eseguita gli obiettivi prefissati durante la prima fase dell'LCA siano soddisfatti, in caso affermativo è possibile proseguire valutando il risultato dei dati.
2. Valutazione: È l'ultimo passo da effettuare per completare la fase di interpretazione ed è eseguita svolgendo tre controlli:

- Controllo di completezza – esamina la completezza complessiva dello studio
- Controllo di sensibilità – valuta la sensibilità dei fattori significativi
- Controllo di consistenza – valuta la metodologia usata per definire i confini del sistema, collezionare i dati, fare assunzioni e raggruppare i dati nelle categorie di impatto

Completata l'analisi LCA, i risultati possono essere raggruppati e utilizzati in base all'obiettivo inizialmente definito.

## 2.2 LIMITAZIONI DI UN'ANALISI LCA

Nonostante le grandi potenzialità, questo metodo ha delle limitazioni che derivano dalle approssimazioni che vengono fatte per descrivere la realtà e a caratteristiche intrinseche del metodo. Infatti, non tenendo conto di fattori economici, l'informazione che se ne ottiene dovrebbe essere affiancata da una valutazione economica per poter fornire un quadro completo di quello che si è studiato.

Inoltre, effettuare un'analisi LCA richiede un utilizzo di risorse e tempo non indifferenti, la collezione dei dati potrebbe essere molto problematica se non addirittura impossibile e utilizzare i dati standard potrebbe compromettere l'accuratezza del risultato finale e di conseguenza l'analisi stessa.

Quindi è fondamentale confrontare la disponibilità dei dati, il tempo necessario per effettuare lo studio e le risorse economiche richieste con i benefici ottenibili dall'analisi stessa.

### 3. METODO

In questo capitolo verranno descritte le assunzioni fatte e le principali scelte che hanno permesso di applicare il metodo dell'LCA al caso studiato, cioè l'analisi dell'impatto ambientale legato alla produzione di due accessori per il settore moda presso l'azienda Santoni.

#### 3.1 METODO DI ANALISI LCA APPLICATO

L'obiettivo dell'analisi è lo studio dell'impatto ambientale legato alla produzione di due accessori per il settore moda, abbigliamento e calzature. Una volta fissato l'obiettivo, come visto, bisogna definire i confini del sistema. Dato che lo studio è riferito alla produzione, i confini fisici del sistema coincideranno con quelli dello stabilimento. Quindi l'analisi sarà riferita ai soli processi interni all'azienda e non si terrà conto di processi che vengono eseguita da terzi, anche se questi sono particolarmente impattanti, uno su tutti il trattamento galvanico.

Questo rende l'analisi ambientale sul singolo prodotto poco realistica ma non influisce negativamente sullo scopo, perché permette ugualmente di individuare quali sono le fasi produttive interne più impattanti e trovare eventuali problematiche che si potranno risolvere in maniera mirata.

L'unità funzionale scelta è stata: la produzione di una unità prodotta, quindi la produzione di un singolo accessorio.

Dal momento che si sono analizzati due prodotti, un accessorio moda in ottone e uno in zama, le unità funzionali per le analisi LCA realizzate sono state:

- La produzione di un accessorio moda in ottone
- La produzione di un accessorio moda in zama

#### 3.2 ASSUNZIONI FATTE NELLA FASE DELL'ANALISI DELL'INVENTARIO

Sono stati scelti due accessori diversi e si è seguito il loro percorso all'interno della linea produttiva, e per ogn'una delle fasi si sono considerati tutti i flussi in ingresso e in uscita.

Questi comprendono:

- Materiali
- Fossili - include i combustibili utilizzati nell'impianto
- Servizi – include le principali forniture comunemente usate dai processi
- Trasporti – considera i trasporti dei materiali acquistati fino all'arrivo nello stabilimento
- Manutenzione – include la manutenzione dei macchinari, sostituzione dei componenti

Bisogna fare subito una precisazione sulla voce materiali, quando si analizzeranno i vari processi produttivi si conteggerà la parte di materiale che viene utilizzata ma non finisce poi nel prodotto finito. In altre parole, verranno inseriti nel flusso in ingresso solamente gli scarti generati dai vari processi poiché non sono elementi direttamente collegati al prodotto finito.

| Tipo di flusso | Categoria principale | Sottocategoria       | Descrizione   |
|----------------|----------------------|----------------------|---|
| Ingresso       | Materiali            | Materie prime        | Scarti dei materiali in ingresso, generati dalla produzione del prodotto finale |
|                |                      | Elementi puri        | Materiali accessori usati dai processi  |
|                |                      | Agenti chimici       | Sostanze chimiche solide e liquide usate dai processi                           |
|                |                      | Gas                  | Gas usati dai processi  |
|                | Fossili              | Combustibili         | Combustibili fossili utilizzati   |
|                | Servizi              | Aria                 | Aria compressa utilizzata nei processi  |
|                |                      | Elettricità          | Elettricità usata dai vari processi con il relativo mix produttivo              |
|                |                      | Acqua                | Acqua utilizzata con distinzione tra processi e di servizio                     |
|                | Altro                | Manutenzione         | Materiali utilizzati per la manutenzione  |
|                |                      | Trasporti            | Trasporti interni alla fabbrica   |
| Uscita         | Emissioni            | Emissioni in aria    | Sostanze emesse nell'aria dai processi  |
|                |                      | Emissioni in acqua   | Sostanze emesse nelle acque di scarto dai processi                              |
|                | Rifiuti solidi       | Rifiuti industriali  | Rifiuti solidi generati dai processi di produzione, mandate in discarica        |
|                |                      | Altri rifiuti solidi | Rifiuti solidi non generati da processi produttivi (es. uffici)                 |

Figura 3 Tabella dei flussi

Per quantificare questo flusso si possono quindi misurare o stimare gli scarti di ogni singola stazione produttiva, metodo seguito in questa analisi, o in alternativa si può valutare come la differenza tra materie prime totali fornite dal costruttore e quelle che poi effettivamente compongono il prodotto finito.

Questo concetto va sotto il nome di “metabolismo industriale” e verrà ampiamente trattato nel prossimo paragrafo.

Oltre alle categorie di input citate sopra, troviamo i flussi in uscita (output) che comprendono le emissioni e i rifiuti generati nella fase produttiva. Nello specifico:

- Emissioni in aria
- Emissioni in acqua
- Emissioni nel suolo
- Rifiuti industriali
- Altri rifiuti solidi

Di queste cinque voci nello studio sono state considerate solo le emissioni in acqua e i rifiuti industriali.

Definiti gli input e output è possibile creare la tabella dei flussi che utilizzata e compilata per ogni fase produttiva analizzata (figura 3). La collezione dei dati è stata effettuata fase per fase seguendo la linea produttiva dei due accessori studiati.

### 3.3 CONCETTO DI METABOLISMO INDUSTRIALE

In questo lavoro si è deciso di seguire il concetto di metabolismo industriale per quanto riguarda la modellazione delle varie fasi produttive.

Il concetto di metabolismo industriale ha alla base l'analogia tra l'industria e organismo vivente. Il quale svolge tre funzioni basilari: nutrirsi, estrarre nutrienti ed espellere gli scarti.

Facendo ora il paragone tra metabolismo umano e industriale è possibile vedere la produzione dell'industria come la crescita e il sostentamento energetico per l'uomo. Infatti, le lavorazioni che avvengono all'interno della fabbrica trasformano gli input, flussi di materie prime, energia e fossili, in prodotto finito, esattamente come se venissero "digeriti". In quest'ottica, gli scarti di lavorazione sono uguali agli scarti espulsi dall'organismo vivente e questi creano impatto ambientale.

In definitiva si nota che nel modello di metabolismo industriale, il prodotto finale in sé non è considerato come elemento in uscita, quindi impattante, perché è il risultato stesso dell'industria. Al contrario gli scarti di produzione sono considerati nel flusso di elementi in uscita perché vengono utilizzati dall'industria, ma non "finiscono" nel prodotto finale.



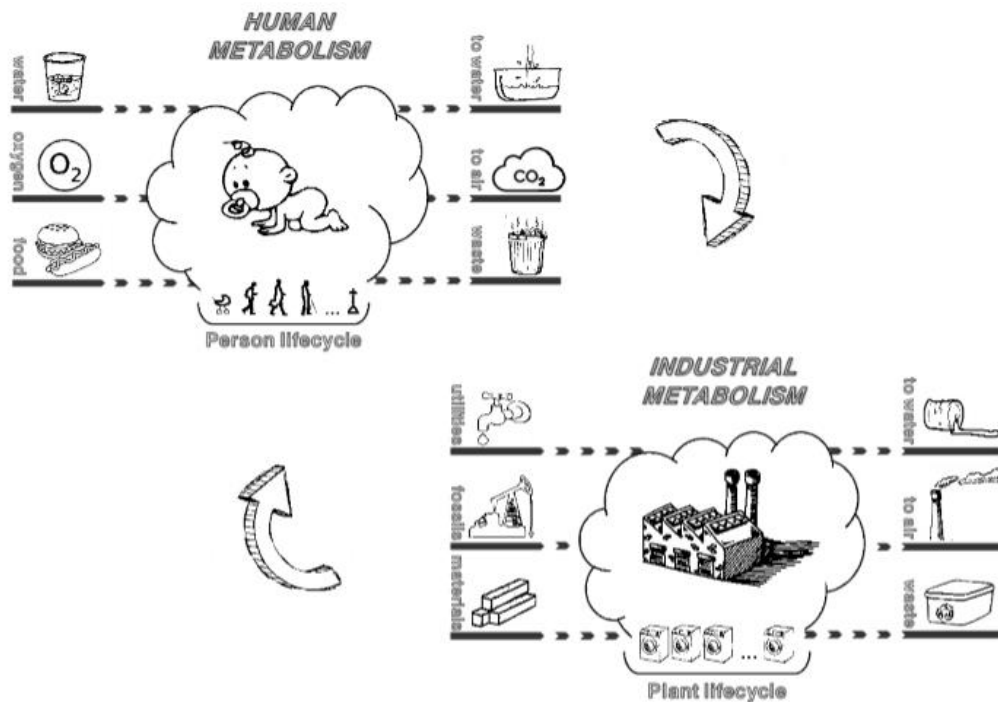


Figura 4 Parallelismo metabolismo umano e industriale

### 3.4 VALUTAZIONE DEI RISULTATI

Come visto nel capitolo precedente, una volta presi i dati sui flussi e calcolati gli impatti la fase successiva è l'interpretazione dei risultati. Sarà in questa fase che si valuterà la situazione dell'azienda studiata, dal punto di vista dell'impatto ambientale.

In questo paragrafo andremo ad illustrare e descrivere gli indicatori di impatto utilizzati nell'analisi per l'azienda Santoni:

- Climate change [kg CO<sub>2</sub> eq]
- Ozone depletion [kg CFC-11 eq]
- Freshwater eutrophication [kg P eq]
- Water depletion [m<sup>3</sup>]
- Metal depletion [kg Fe eq]
- Fossil depletion [kg oil eq]

## Descrizione indicatori

**Climate change:** è l'indicatore usato più comunemente e largamente accettato per considerare le conseguenze dell'attività umana sul cambiamento climatico, inteso come riscaldamento globale. Trasforma gli elementi considerati nell'inventario in una quantità di CO<sub>2</sub> equivalente

**Ozone depletion:** indica l'impatto che i flussi di input e output del processo hanno sull'impovertimento dell'ozono stratosferico. L'indice trasforma gli elementi rilevati in una quantità equivalente di clorofluorocarburi (CFC), questi sono la principale causa di assottigliamento dello strato di ozono.

**Freshwater eutrophication:** l'arricchimento di nutrienti di un ecosistema che si verifica quando nell'ambiente vengono introdotte sostanze che contengono azoto (N) e/o fosforo (P), causa ad esempio nell'acqua una crescita abnorme algale il che provoca un impoverimento di ossigeno. Questo indice permette la conversione degli elementi dell'inventario in quantità equivalente di fosforo. Si tratta di un impatto con effetti su scala locale o regionale.

**Water depletion:** indica il "contributo" che i flussi studiati hanno sull'esaurimento delle riserve di acqua. Quindi li converte in un volume (m<sup>3</sup>) equivalente

**Metal depletion:** come sopra solo che questa volta siamo interessati all'esaurimento dei metalli, misurato tramite una quantità equivalente di ferro (Fe)

**Fossil depletion:** questo indicatore tiene conto del consumo dei carburanti fossili.

La scelta degli indicatori dipende essenzialmente dalla tipologia di processo o prodotto analizzato. Nell'analisi che segue sono stati scelti in base alla loro affidabilità, prendendo solamente quelli che hanno un metodo di conversione il più preciso possibile e riconosciuto dalla comunità scientifica.

## 4. CASO STUDIO

In questo capitolo, si descriverà il lavoro di analisi ambientale realizzata in collaborazione con l'azienda Santoni srl. Verranno descritte le fasi produttive che interessano gli articoli studiati, la fase di analisi dell'inventario, tutte le assunzioni fatte prima di inserire i dati nel software Simapro8 e per finire i dati ottenuti e le considerazioni fatte su questi.

### 4.1 STORIA E BREVE DESCRIZIONE DELL'AZIENDA SANTONI

La Santoni srl, con sede a Montegiorgio, è un'azienda di riferimento nel settore moda, per la creazione di accessori.

Nasce nel 1985, l'alta qualità e la lavorazione d'avanguardia in particolare su ottone e zama, hanno contribuito a rendere prestigioso il marchio Santoni negli anni.

La gamma di articoli prodotti spazia dalle fibbie per cinture e calzature, alle guarnizioni metalliche per abbigliamento e pelletteria. Dal 2005 la produzione si è allargata anche al settore della bigiotteria (spille, collane, bracciali, ecc.) realizzati sempre con la stessa attenzione e materiali pregiati.

I loro articoli sono lavorati artigianalmente. Offrono progettazione personalizzata sia su direttiva del cliente sia su progettazione interna.

### 4.2 INTRODUZIONE E DEFINIZIONE E CAMPO DI APPLICAZIONE

L'azienda Santoni lavora nel settore della moda in particolare, produce accessori per calzature e abbigliamento. Al momento di effettuare l'analisi ambientale dell'intera produzione, come richiesto, ci si è resi conto dell'impossibilità di effettuare un'analisi puntuale riferita ad una produzione generica su un arco temporale mensile, perché l'azienda lavora su commessa sia per quantità che per forme dei prodotti finiti. Per questo la quantità prodotta non è costante nel tempo e i diversi accessori seguono percorsi differenti nella linea produttiva, quindi si sarebbe compiuto un errore significativo se si fosse ipotizzata la produzione come omogenea.

Con queste problematiche si è tornati a discutere con i dirigenti dell'azienda e si è deciso di seguire la produzione di due pezzi, uno in ottone e uno in zama (lega costituita al 95% Zn, 4% Al, 1% Cu). Questi due sono i materiali con cui lavora l'azienda e rappresentano le due branche principali in cui si divide la produzione della Santoni.

Per primo si è scelto l'accessorio in ottone (figura 5) prendendo un pezzo che subisse lavorazioni nella maggior parte delle stazioni della linea produttiva. Poi si è scelto il pezzo in zama (figura 6) in modo che questo fosse simile per dimensioni e passaggi produttivi al prodotto in ottone già scelto.



Figura 5 Accessorio ottone

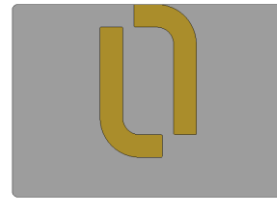


Figura 6 Schizzo accessorio in zama

Schematizzando:

- L'obiettivo è l'analisi dell'impatto ambientale legato alla produzione di due prodotti
- Come unità funzionale è stata scelta la produzione di un accessorio per cinture in ottone e di uno in zama
- Nell'analisi ci siamo interessati dei materiali utilizzati, dei soli processi produttivi interni allo stabilimento e dei trasporti fino al sito produttivo. Questi sono quindi i confini del sistema.

### 4.3 ANALISI DELL'INVENTARIO

Per prima cosa si sono individuati i percorsi dei due pezzi, lungo la linea produttiva. Le fasi verranno elencate e brevemente illustrate in questo paragrafo. Nei paragrafi successivi, verranno analizzati nel dettaglio i flussi di materiali, energia ecc. fase per fase e saranno ampiamente trattate tutte le assunzioni fatte.

#### 4.3.1 Fasi produttive per l'accessorio in ottone

1. **Taglio macchina a controllo numerico:** in questa fase dalla lastra di ottone si ottengono i "telai" dell'accessorio. La macchina ha un serbatoio per l'acqua che serve da refrigerante e per facilitare l'asportazione del truciolo, quest'acqua ha un ciclo chiuso e il serbatoio viene regolarmente rabboccato per far fronte alla quantità evaporata. Ogni anno l'acqua viene completamente sostituita e smaltita.
2. **Cottura:** dopo il taglio i pezzi vengono sottoposti alla fase di cottura in cui questi vengono messi in dei forni industriali ad una temperatura di 450°C. Questo processo è necessario per "ammorbidire" l'ottone in vista delle conseguenti fasi di piegatura.
3. **Piegatura:** qui il telaio prende la forma prestabilita, ai fini della nostra analisi questo passaggio non ha nessun interesse visto che viene effettuato con delle presse azionate manualmente. Ma è stato ugualmente introdotto per rendere completo l'elenco e per giustificare la fase di cottura che altrimenti non avrebbe senso fare.
4. **Burattatura:** ora i pezzi vengono messi in dei grandi contenitori aperti (buratti) insieme a dei coni ceramici abrasivi, una volta accesa la macchina, facendo vibrare

il cassone, si crea un continuo spostamento e quindi un'abrasione continua tra pezzi e coni. Durante tutta la fase viene immessa acqua per tenere il tutto bagnato e per facilitare la raccolta delle polveri. Quest'acqua prima di essere riutilizzata verrà filtrata e gli scarti poi compressi saranno trattati come rifiuti speciali, questi prendono il nome di fanghi da burattatura.

5. **Molatura, spazzolatura e lucidatura:** ora il pezzo arriva all'operatore che attraverso una mola effettuerà tutti i passaggi necessari. Ogni stazione ha due postazioni complete di aspirazione e filtri, l'aria viene poi reimpressa nel locale.
6. **Lavaggio:** ora i pezzi vengono immersi in un bagno di acqua e acidi riscaldati. Questi macchinari non sono di proprietà dell'azienda ma in comodato d'uso quindi non ci siamo interessati della manutenzione e smaltimento visto che non viene fatta dalla Santoni ma è regolarmente effettuata dall'azienda proprietaria dei macchinari. In definitiva in questo passaggio abbiamo considerato solamente il consumo elettrico.
7. **Saldatura:** nei tavoli di saldatura vengono uniti il telaio il ponticello inferiore e le sedi per gli strass. La saldatura viene fatta a filo e per ogni tavolo ci sono due operatrici, alla loro destra troviamo l'aspirazione, mentre a sinistra si trovano due ventilatori/stufette che poi saranno oggetto di alcune considerazioni. Dopo questa fase il pezzo subisce una spazzolatura per eliminare l'ossidazione della superficie saldata e un successivo lavaggio. L'analisi non è stata ripetuta perché le fasi sono identiche a quelle precedenti. Queste poi verranno considerate unendo i tempi di ciclo.
8. **Montaggio:** per il prodotto considerato la fase di montaggio consiste nell'applicazione degli strass. Il reparto è costituito da una serie di tavoli con piano riscaldato per mantenere la vernice sempre allo stato ideale, per ogni tavolo c'è un miscelatore e distributore di colla bicomponente e infine quattro forni che servono per far asciugare la colla.
9. **Imballaggio:** i pezzi finiti vengono ora imballati e spediti ai clienti. L'imballaggio varia in base al prodotto, per articoli di pregio ognuno viene inserito in una bustina di plastica antiurto, mentre per articoli più generici si fa un imballaggio dove si mettono più pezzi nello stesso foglio, di plastica, che poi verrà chiuso e spedito dentro un cartone.

#### 4.3.2 Analisi dell'inventario processo accessorio in ottone

Una volta schematizzato il processo produttivo, si è passati ad analizzare e collezionare i dati, questo è stato fatto in maniera singolare, cioè stazione per stazione. Quindi si sono creati, per ogni passaggio produttivo, i diagrammi di flusso per visualizzare gli elementi in ingresso, in uscita e gli scarti prodotti per ogni singola stazione.

Ora andremo a costruire questi diagrammi di flusso evidenziando tutte le assunzioni fatte per ottenere dei dati riferiti all'unità di prodotto. In modo da rendere chiaro ogni passaggio eseguito e mostrare eventuali limitazioni dell'analisi.

I dati dei consumi energetici sono stati misurati presso lo stabilimento con lo strumento (PQ824), tranne che per i ventilatori/stufette del reparto di saldatura e i consumi del

montaggio dove ci si è limitati a verificare i dati di targa dei macchinari, per mezzo di un amperometro.

Il resto dei dati, cioè materie prime, scarti ed emissioni ci è stato fornito dall'azienda Santoni

Di seguito analizzeremo i flussi per ogni fase e costruiremo uno schema che ci servirà poi nella fase di valutazione degli impatti con Simapro.

### 1. Taglio CNC:

Date le dimensioni della lastra (300x100x1.5 mm) conoscendo con esattezza le dimensioni e la geometria del telaio in ottone, da ottenere, si è calcolato lo scarto di ottone imputabile ad un solo pezzo, sapendo che per ogni lastra si ricavano 12 telai. Si è così ottenuto che lo scarto è di 22 g di ottone per ogni pezzo

Dalle misurazioni il consumo elettrico risultava pressoché costante nel tempo durante la lavorazione quindi si è presa la media delle potenze istantanee registrate, moltiplicata per il tempo necessario a tagliare la lastra (18 min) si è ottenuta l'energia necessaria per tagliare una lastra (per riferirla poi all'unità di prodotto è bastato dividerla per il numero di pezzi che si ottengono da ogni lastra, cioè 12)

Come si era detto il taglio è raffreddato ad acqua che lavora a ciclo chiuso e ad essa viene aggiunto olio lubrificante, regolarmente viene aggiunta acqua di rabbocco per sopperire a quella che evapora durante le lavorazioni. Le quantità di acqua e olio aggiunte sono state fornite su base annua, per riferirle all'unità di prodotto sono state divise per la produzione totale annuale (questo è stato fatto per tutti i dati che ci sono stati forniti su base annua).

Costruiamo ora uno schema che rappresenti tutti i flussi che interessano la fase di taglio:

- Scarti ottone       $\longrightarrow$       22 g
- Consumo elettrico       $\longrightarrow$       14,6 Wh
- Acqua di rabbocco       $\longrightarrow$       0,000875 l
- Olio lubrificante       $\longrightarrow$       0,00005 l
- Acqua smaltita ogni anno dai serbatoi       $\longrightarrow$       0,000025 l

Non sono previste manutenzioni ordinarie quindi non ne abbiamo tenuto conto.

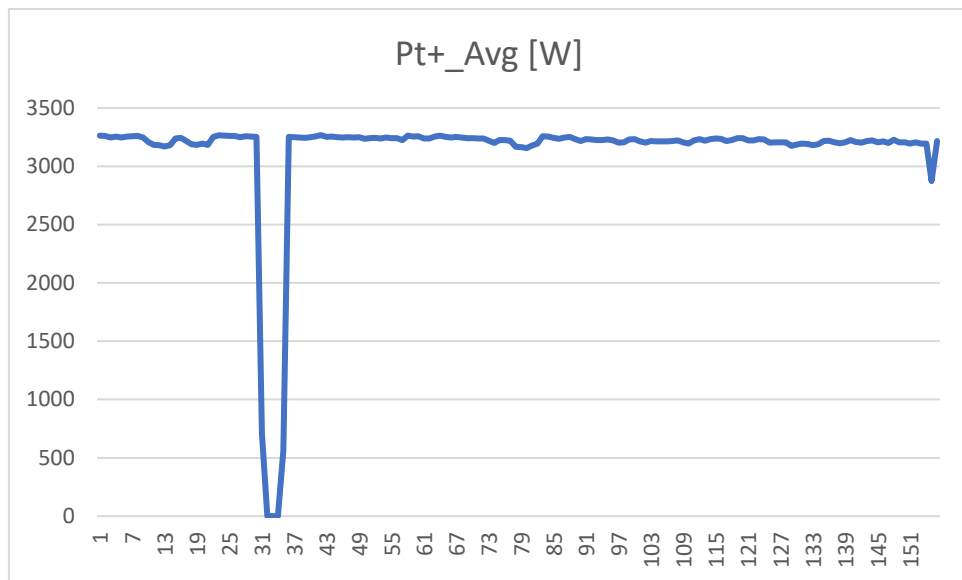
### 2. Cottura:

i pezzi provenienti dalla fase di taglio vengono poi sottoposti ad un periodo di cottura (2ore) per prepararli al processo di piegatura.

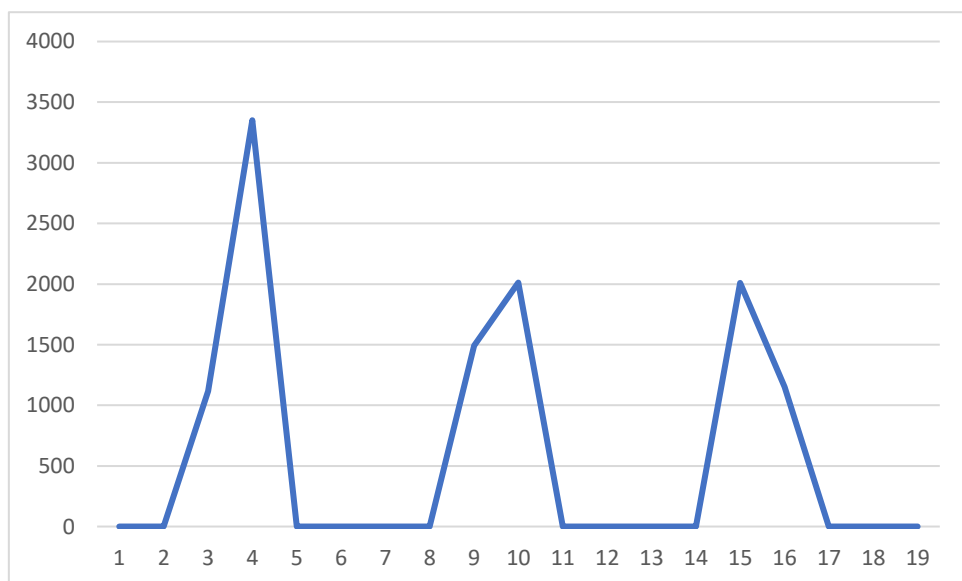
In questo passaggio della produzione si ha come unico input il consumo elettrico, quindi tutta l'analisi sarà focalizzata su questo. Nel processo di cottura si possono distinguere due fasi: una di accensione, in cui il forno raggiunge la temperatura di 450°C, e quella in cui mantiene la temperatura. Durante l'accensione la potenza istantanea è pressoché costante nel tempo (vedi figura 7) quindi come si è fatto per la fase di taglio, si prende il valore medio e una volta moltiplicato per il periodo di tempo necessario per arrivare a temperatura (15 min) si ottiene il consumo energetico in una fase di accensione.

Quando il forno mantiene semplicemente la temperatura il grafico della potenza istantanea è caratterizzato da una serie di picchi (vedi figura 8). Infatti, il forno si attiva solamente quando la temperatura scende sotto un certo valore e poi stacca nuovamente quando questa torna a 450°C.

In questo caso si è calcolata l'area sotto una sezione di grafico (assumendo il picco triangolare) e una volta riferito al tempo si è ottenuto il valore della potenza istantanea media.



*Figura 7 funzione potenza istantanea fase accensione*



*Figura 8 funzione potenza istantanea fase "a regime"*

Durante la giornata si sono considerati 3 cicli completi di cottura e 2 fasi accensione, questo perché nonostante i forni vengano spenti e riaccesi dopo ogni ciclo essendo ben coibentati perdono poca temperatura e le seguenti fasi di accensione hanno una durata molto inferiore alla prima (<5 min)

In questo modo si è ottenuto il consumo elettrico legato ad un ciclo = 1.7 kWh

Dovendo riferire il consumo all'unità di prodotto bisognerebbe ora dividere per il numero di pezzi, ma poiché questo non è costante si sono considerati due possibili scenari: uno ottimistico in cui il forno lavora alla massima capienza (170 pezzi) e uno pessimistico di 50 pezzi. Quest'ultimo ragionamento verrà ripreso anche nella fase di burattatura e lavaggio.

Ricaviamo ora il nostro dato per entrambi gli scenari:

$$\text{consumo elettrico unitario ideale} = \frac{1.70}{170} \text{ kWh} = 10 \text{ Wh}$$

$$\text{consumo elettrico unitario pessimistico} = \frac{1.70}{50} \text{ kWh} = 34 \text{ Wh}$$

### 3. **Piegatura:**

non trattato vedi pag. 18

### 4. **Burattatura:**

questa è una lavorazione di finitura superficiale, che permette di lavorare contemporaneamente diversi pezzi. I prodotti dopo la piegatura vengono aggiunti ai coni abrasivi nel barile metallico (buratto) dove azionato il motore inizia il processo abrasivo. Il grafico della potenza istantanea è costante nel tempo, quindi come visto prima è facile ottenere un valore medio da moltiplicare poi per il tempo di esercizio (2 ore) per ricavare il consumo elettrico nelle due ore. A questo punto si sono fatte le stesse considerazioni, viste per la cottura, legate alla dimensione del lotto. Infatti, anche in questo processo la potenza elettrica non dipende dal numero di pezzi inseriti, ma rimane costante visto che è dovuta al lavoro fatto dal motore per mettere in movimento il buratto con tutti i coni dentro (il peso dei pezzi è trascurabile).

In questa fase si sono considerati anche i flussi dovuti all'acqua dei serbatoi che viene regolarmente ritirata e smaltita, ai coni ceramici aggiunti regolarmente in seguito alla loro usura e ai lucidanti aggiunti durante la lavorazione. Particolare attenzione va rivolta ai "fanghi" che sono i residui ottenuti dopo il filtraggio dell'acqua, di questi abbiamo considerato solamente i metalli e non metalli presenti in percentuali maggiori nel residuo secco.

Schematizzando tutti i flussi per la burattatura:

- Consumo elettrico caso ideale (200 pezzi)  $\longrightarrow$  16.29 Wh
- Consumo elettrico caso pessimistico (50 pezzi)  $\longrightarrow$  50 Wh
- Lucidanti  $\longrightarrow$  0,344 g
- Coni abrasivi  $\longrightarrow$  2,6 g



- Acqua smaltita → 0,03 l
- Fanghi di burattatura → 2,4g

Si ricorda che ogni valore è sempre riferito all'unità di prodotto studiato

L'analisi dei fanghi da burattatura sarà ripresa più avanti.

#### 5. Molatura, spazzolatura e lucidatura:

queste tre fasi anche se sono distribuite nella produzione e non una di seguito all'altra, saranno analizzate insieme visto che sono eseguite tutte nella stessa postazione di lavoro, vengono solamente cambiati i dischi abrasivi.

Anche in questo caso la potenza istantanea utilizzata per la mola e l'aspirazione rimane costante nel tempo senza variazioni significative. Unica accortezza è di dividere i risultati ottenuti dallo strumento per due, dato che per ogni tavolo ci sono due postazioni di lavoro, moltiplicato questo valore per il tempo che un pezzo passa in totale in questa stazione (10 min) si ottiene il consumo elettrico unitario.

Per quanto riguarda altri dati si è considerata solo la polvere d'ottone accumulata in seguito all'abrasione, si sono trascurati i dischi abrasivi consumati e i filtri del sistema di aspirazione, perché quest'ultimo dato non si è riusciti ad ottenerlo nemmeno tramite l'azienda.

Schema dei dati per la molatura:

- Consumo elettrico unitario → 82,25 Wh
- Polvere d'ottone → 0,05 g

#### 6. Lavaggio:

tutte le vasche di lavaggio non sono di proprietà dell'azienda. Quindi si sono considerati solo i consumi elettrici del reparto, anche qui la potenza istantanea per riscaldare l'acqua e acidi è costante quindi la si ricava facilmente tramite la media dei valori.

$$\text{Potenza media istantanea} = 1680 \text{ W}$$

I pezzi compiono due lavaggi, della durata di 30 minuti, prima e dopo la saldatura, quindi si considera un unico lavaggio di un'ora.

Anche in questo passaggio si sono presi in considerazione due scenari uno ottimistico (150 pezzi) e uno pessimistico (50 pezzi)

Schematizzando:

- Consumo unitario caso ottimistico → 11,2 Wh
- Consumo elettrico unitario caso pessimistico → 33,5 Wh

## 7. Saldatura:

nel reparto ci sono undici tavoli di saldatura, per ognuno di questi lavorano due operatrici in contemporanea. Il consumo energetico è tutto imputabile alle due stufette/ ventilatori che dovrebbero convogliare i fumi verso l'aspiratore. Queste stufette hanno una potenza di targa di 1800/2000 W. I ventilatori vanno tutto il giorno (8h). Ma dato che la maggior parte del consumo è dovuto alla resistenza per scaldare l'aria, si è assunto come tempo di funzionamento 5h, in modo che si tenga conto del periodo estivo in cui saranno utilizzate solo con la funzione di ventilatori.

Conoscendo il tempo che il pezzo trascorre in questo reparto (3' 15") si può ottenere il consumo elettrico, dopo aver fatto il rapporto:

$$5 \div 8 = x \div 195 \text{ s} \longrightarrow x = 122 \text{ s (tempo equivalente)}$$

$$\text{Consumo elettrico} \longrightarrow \frac{3600 \text{ Wh}}{3600 \text{ s}} * 122 \text{ s} = 122 \text{ Wh}$$

In questa fase produttiva si tiene anche conto del GPL utilizzato per la saldatura, il dato su base annua è stato ottenuto dividendolo per il numero di pezzi prodotti in un anno.

$$\text{Consumo per pezzo di GPL} \longrightarrow 0,15 \text{ g}$$

Poi ci sono le stecche da saldatura la cui composizione è 45% argento (Ag), 30% rame (Cu), 25% zinco (Zn), nell'analisi su Simapro si è tenuto conto di queste percentuali.

$$\text{Consumo stecca da saldatura} \longrightarrow 0,0375 \text{ g}$$

## 8. Montaggio:

durante la fase di montaggio si hanno tre contributi che influiscono sul consumo energetico:

- I forni
- Il piano riscaldato del tavolo
- Dispensatore di colla

Il forno ha una fase di accensione e una di regime ma in questo caso essendo la temperatura di esercizio molto più bassa ed essendo una sola la fase di accensione giornaliera, dai calcoli risulta che nell'arco della giornata il contributo dell'accensione può essere trascurato. Quindi come potenza istantanea si è assunta quella di targa per il forno a regime (800 W)

Per il tavolo vale il discorso fatto per le stufette e si assume che d'estate non sia necessario per la vernice tenerlo acceso, quindi si è fatta la proporzione come prima ipotizzando un tempo di esercizio di 5 ore e sapendo che il pezzo dovrebbe passare

sul tavolo 4 minuti. Moltiplicando il tempo ottenuto dal rapporto per la potenza di targa (0,9 KW) si ottiene il consumo elettrico a pezzo.

Il dispensatore di colla rimane acceso per tutto l'orario lavorativo, ha una potenza di targa di 10 W, quindi in questo caso come intervallo di tempo si assumono i 4 minuti che il pezzo passa all'interno del reparto.

Al consumo elettrico va aggiunto il contributo della colla bicomponente utilizzata in questa fase, ora è possibile definire lo schema dei flussi anche per questa fase:

- Consumo elettrico unitario legato ai forni —————> 16 Wh
- Consumo elettrico unitario legato al piano riscaldato —————> 37,5 Wh
- Consumo elettrico unitario legato al dispensatore di colla —————> 0,67 Wh
- Quantità di colla impiegata per ogni pezzo —————> 0,0023 g

#### 9. **Imballaggio:**

questa è l'ultima fase che viene effettuata sul prodotto, i pezzi prima di essere spediti vengono imballati in un foglio di plastica (21 x26 cm) con cui vengono contemporaneamente confezionati 12 pezzi. Il tutto viene poi inserito in degli scatoloni prima di essere spedito. Analizzando i dati forniti su base annua si ottiene che per ogni pezzo vengono utilizzati:

- Plastica —————> 9,6 g
- Carta per imballaggi —————> 0,5 g

### 4.3.3 Fasi produttive per l'accessorio in zama

L'accessorio è stato scelto seguendo i criteri illustrati sopra, questo è costituito da una base rettangolare in zama su cui viene montato il logo della Santoni in ottone.

1. **Stampaggio e preparazione dello stampo in gomma:** in questa prima fase la zama solida viene fusa e nella stessa macchina avviene poi lo stampaggio centrifugo in degli stampi circolari di gomma siliconica. Lo stampo viene preparato con dei modelli fatti in ottone e i canali di stampaggio vengono incisi a mano dall'operatore. Gli scarti dello stampaggio vengono reintrodotti nel serbatoio e fusi nuovamente, mentre gli stampi in gomma hanno un ciclo di vita che dura 70 stampaggi tenendo conto che da uno stampo (da 4 kg) si ottengono 10 pezzi, uno stampo prima di terminare la sua funzione produce 700 pezzi. La macchina funziona a ciclo continuo durante le otto ore lavorative e anche se si interrompe lo stampaggio questa continua a tenere la zama fusa alla giusta temperatura. Inoltre, questa è preimpostata per accendersi 3 ore prima dell'orario di lavoro in modo da fondere completamente la zama solida caricata la sera precedente dagli operatori. Collegato alla macchina c'è un impianto di aspirazione dei fumi.
2. **Molatura:** i pezzi che arrivano dallo stampaggio vengono sottoposti ad una prima molatura per eliminare le imperfezioni dovute allo stampaggio
3. **Foratura:** ora i pezzi vengono forati per preparare l'incastro del logo, questa fase non è stata considerata nell'analisi perché i flussi erano trascurabili
4. **Burratura:** questa fase non dipende dalla tipologia di pezzi che vengono lavorati, quindi sarà identica a quella analizzata nel capitolo precedente.
5. **Taglio CNC:** questo passaggio interessa solamente il logo in ottone e non la base in zama stampata, il macchinario e il processo sono del tutto uguali a quelli descritti per il prodotto in ottone, come tutti i passaggi seguenti che quindi verranno elencati per completezza ma non se ne ripeterà la descrizione.
6. **Molatura, spazzolatura e lucidatura:** questo passaggio sarà analizzato insieme alla molatura del punto 2 perché la lavorazione viene eseguita sulla stessa stazione e i tempi saranno sommati come era stato fatto anche precedentemente per l'ottone.
7. **Saldatura:** la descrizione del processo è del tutto uguale a quella fatta per l'ottone, variano solo i tempi di esecuzione.
8. **Lavaggio:** del tutto uguale alla fase vista prima
9. **Montaggio:** rispetto al caso dell'ottone non si tiene conto del distributore di colla e del forno, visto che non la si utilizza nel montaggio, l'unico contributo sarà dato dal piano del tavolo riscaldato.
10. **Imballaggio:** rispetto al caso analizzato sopra variano le dimensioni del foglio di plastica e il numero di pezzi che vengono confezionati completamente.

#### 4.3.4 Analisi dell'inventario per l'accessorio in zama

##### 1. Stampaggio Zama:

il macchinario per lo stampaggio della zama è il più energivoro dell'intera produzione ma questo è bilanciato dal grande numero di pezzi prodotti in un'unità di tempo. Tutto o quasi il consumo è imputabile alla fase in cui si deve fondere il materiale solido, infatti lo stampaggio e l'aspirazione hanno una potenza istantanea circa venti volte inferiore a quella legata alla fusione. Ora vediamo il grafico della potenza istantanea (figura 9)

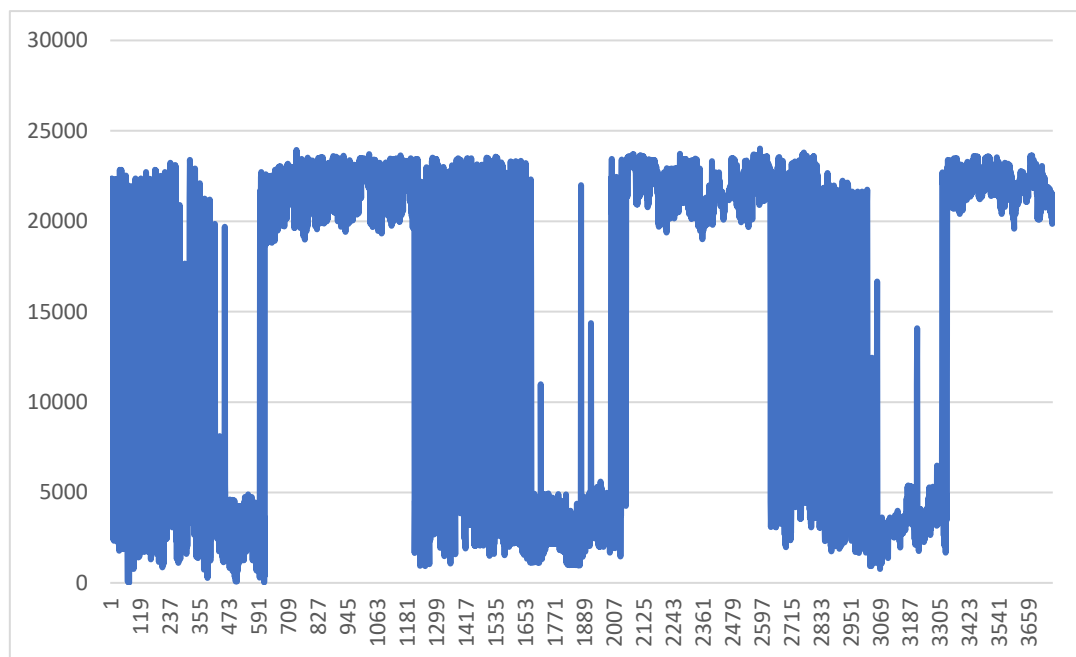


Figura 9 Funzione potenza istantanea fusione zama

Preso un ciclo all'interno di esso si possono distinguere 3 fasi:

- Fusione della zama, quello in cui la potenza si mantiene costante tra i 23000 e 20000 W
- Fase transitoria, in cui si hanno continue variazioni della potenza perché la macchina non fornisce più calore in maniera continuativa
- Fase di stampaggio, intervallo di tempo nel quale la zama ha raggiunto la temperatura ottimale e il consumo energetico della macchina è imputabile solamente alla fase di stampaggio vera e propria e all'aspirazione dei fumi.

Ogni ciclo ha una durata di circa 25 minuti, poi il serbatoio di zama liquida si abbassa e l'operatore inserisce del materiale solido (lingotti o scarti dello stampaggio) e così si ritorna alla fase di fusione della zama ed inizia un nuovo ciclo.

Per il calcolo del consumo elettrico si è fatta la media fase per fase e poi riferita ai tre intervalli in questo modo si è ottenuto un consumo di 5,8 kWh per ogni ciclo.

Poi si è ipotizzato un numero di 20 “cicli” giornalieri, ma prima di ottenere il valore di consumo energetico giornaliero è stato necessario considerare il contributo dato dalle tre ore, antecedenti l’orario lavorativo, che servono per fondere la zama caricata la sera. Queste tre ore le si è considerate tutte nella prima fase del ciclo, cioè “fusione della zama”, ipotizzando che l’azienda abbia ottimizzato i tempi. Non avrebbe senso accendere il macchinario tre ore prima se per fondere completamente la zama precaricata servisse solamente 1 ora, ad esempio.

Calcolato il consumo giornaliero, è interessante notare come un terzo del contributo sia dovuto alle tre ore di fusione iniziali, si è riferita la grandezza all’unità dividendo per il numero di pezzi prodotto. È stato ipotizzato che ogni minuto escano 10 pezzi.

Consumo elettrico unitario → 0,038 kWh

## 2. Molatura, spazzolatura e lucidatura:

come per l’ottone queste fasi verranno analizzate contemporaneamente, anche il tempo in cui il pezzo è sottoposto a questa lavorazione è stato considerato uguale a quello del pezzo in ottone (10 min), quindi il consumo elettrico unitario sarà del tutto uguale a quello del caso dell’accessorio in ottone.

Quello che cambia sono gli scarti di lavorazione, le polveri, perché essendo ora lavorati due materiali se ne avrà una parte costituita da zama e una dall’ottone, queste quantità sono state ottenute facendo un rapporto sulle aree dell’oggetto (il 90 % zama, 10% ottone) che riferiti alla quantità totale di scarti ci forniscono la composizione delle polveri. Riassumendo i flussi:

- Consumo unitario elettricità → 82,25Wh
- Polveri zama → 0,045 g
- Polveri ottone → 0,005 g

La zama siccome non è disponibile nel database di Simapro è stata a sua volta divisa negli elementi puri che la costituiscono (95% zinco, 4% alluminio, 1% rame)

## 3. Burattatura:

questa fase è del tutto uguale a quella analizzata per l’accessorio in ottone [vedi pag.21], quindi si riporteranno i dati dei flussi per completezza e facilità di lettura:

- Consumo elettrico caso ideale (200 pezzi) → 16.29 Wh

- Consumo elettrico caso pessimistico (50 pezzi) → 50 Wh
- Lucidanti → 0,344 g
- Coni abrasivi → 2,6 g
- Acqua smaltita → 0,03 l
- Fanghi di burattatura → 2,4g

#### 4. Taglio CNC:

in questa fase viene lavorato solamente l'ottone, come flussi avremo quindi gli stessi del caso già analizzato nel paragrafo dell'ottone le quantità di acqua e olio lubrificante rimarranno le stesse, quello che cambierà saranno gli scarti di materia prima e il consumo elettrico per via di un tempo di lavorazione differente.

Il consumo elettrico lo si ottiene facilmente utilizzando la stessa potenza istantanea (584 W) vista prima moltiplicata per il tempo di lavorazione del pezzo (2 min)

Il valore degli scarti di materiale è stato ottenuto per via geometrica, conoscendo le forme e le dimensioni del logo e quelle della lastra da cui li si è ottenuti, nonché il numero di loghi ottenuti.

Schematizzando come fatto per ogni processo:

- Consumo elettrico unitario → 19,5 Wh
- Scarti ottone → 14 g
- Acqua rabbocco → 0,000875 l
- Olio lubrificante → 0,00005 l
- Acqua smaltita ogni anno dai serbatoi → 0,000025 l

#### 5. Saldatura:

Le considerazioni sono le stesse fatte nel paragrafo dell'ottone unica cosa che cambia è il tempo di lavorazione (75 s) e quindi il consumo elettrico unitario.

Risulta immediato ricavare lo schema dei flussi:

- Consumo elettrico → 50 Wh
- Consumo per pezzo di GPL → 0,15 g
- Consumo stecca da saldatura → 0,0375 g

Naturalmente la composizione della stecca è invariata (45% Ag, 30% Cu, 25% Zn)

#### 6. Lavaggio:

questa fase è identica a quella analizzata per l'ottone. Anche qui si riportano i due scenari uno ottimistico e uno pessimistico:

- Consumo unitario caso ottimistico —————> 11,2 Wh
- Consumo elettrico unitario caso pessimistico —————> 33,5 Wh

#### 7. **Montaggio:**

il reparto è chiaramente lo stesso analizzato con l'accessorio in ottone, ma in questo caso non si hanno i contributi dei e del sistema che distribuiva la colla, perché la base di zama e il logo in ottone vengono unite in maniera meccanica senza fare uso di colle.

Quindi si terrà conto solamente del contributo del tavolo, che è sempre in funzione:

- Consumo elettrico al pezzo —————> 6,25 Wh

#### 8. **Imballaggio:**

questa è l'ultima fase che i pezzi subiscono in azienda prima di essere spediti. L'imballaggio per l'accessorio in zama che abbiamo studiato viene fatto, arrotolando i pezzi in un foglio di plastica a lotti di venti e poi inseriti in dei cartoni. Calcolando i materiali impiegati in relazione ad un unico pezzo di ottiene:

- Quantità plastica —————> 5,75 g
- Quantità carta da imballaggi —————> 0,5 g



## 4.6 MODELLAZIONE DEI RISULTATI

Una volta acquisiti tutti i dati dei flussi, presso l'azienda Santoni, si è passati alla loro elaborazione mediante il programma dedicato Simapro8.

Questo software opera secondo una metodologia caratterizzata dall'impostazione di processi singoli concatenati tra di loro in modo da riprodurre la linea del sistema produttivo in esame. Le singole operazioni, in tal modo, costituiranno dei sottoinsiemi il cui impatto può essere studiato separatamente da quello dell'intero sistema. Tale flessibilità permette le simulazioni necessarie per lo studio dell'impatto ambientale e per ipotizzare miglioramenti dei rendimenti del sistema produttivo in esame.

Nello specifico una volta aperto un nuovo progetto sul software si sono creati due assembly, sotto la voce "product stages", uno chiamato prodotto in ottone e l'altro prodotto in zama. Sotto questi sono state create tante finestre quanti i processi che si volevano analizzare.

The screenshot shows the Simapro8 software interface. The main window is titled "LCA Explorer" and contains a hierarchical tree structure on the left and a table on the right. The tree structure is organized into "Product stages" and "Others". Under "Product stages", there are two main categories: "Prodotto Ottone" and "Prodotto Zama". Each category lists various processes such as "Burattatura", "Cottura", "Lavaggio", "Montaggio", and "Taglio CNC". The table on the right has columns for "Name", "Type", and "Category". It lists two assemblies: "prodotto ottone" and "Prodotto ottone (reale)".

| Name                    | Type     | Category               |
|-------------------------|----------|------------------------|
| prodotto ottone         | Assembly | Others\Prodotto Ottone |
| Prodotto ottone (reale) | Assembly | Others\Prodotto Ottone |

Figura 10 Struttura generata

Prima di inserire i dati dei flussi di input e output per ogni fase produttiva, si sono creati dei dataset per quei flussi che dovevano essere personalizzati per l'azienda Santoni o che non erano presenti nel database. Come ad esempio per l'energia che è stata creata modificando il mix energetico italiano per corrente a basso voltaggio, tenendo conto della percentuale di energia elettrica autoprodotta dalla Santoni mediante pannelli fotovoltaici propri (figura 11).

Swiss data are calculated values based on the electricity transported in this voltage level (36796 GWh) and the total low voltage power line length in Switzerland (cables and aerial lines - 128646 km). Lifetime is assumed to be 40 years. See Itten/Frischkecht 2012, Tab. 4.1 and Tab. 4.3.

(Insert line here)

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

| Name   | Amount | Unit | Distribution |
|--|--------|------|--------------|
| Electricity, low voltage (IT) market for   Alloc Rec, U  | 0,0144 | kWh  | Undefined    |
| Electricity, low voltage (IT) electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted   Alloc Rec, U  | 0,1000 | kWh  | Undefined    |
| Electricity, low voltage (IT) electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted   Alloc Rec, U | 0,1000 | kWh  | Undefined    |
| Electricity, low voltage (IT) electricity production, photovoltaic, 570kWp open ground installation, multi-Si   Alloc Rec, U                 | 0,1000 | kWh  | Undefined    |
| Electricity, low voltage (IT) electricity voltage transformation from medium to low voltage   Alloc Rec, U                                   | 0,6856 | kWh  | Undefined    |

(Insert line here)

Outputs

Emissions to air

| Name                | Sub-compartment | Amount  | Unit | Distribution | SD <sup>1</sup> /2 or 2*SD/Min | Max | Comment  |
|---------------------|-----------------|---------|------|--------------|--------------------------------|-----|--|
| Sulfur hexafluoride |                 | 6,27E-9 | kg   | Lognormal    | 1,5234                         |     | (3,2,5,4,2,na)<br>Literature value (estimation). SF6 (sulphur hexafluoride) is used as quenching and insulation gas in gas-insulated switchgear. |

Figura 11 Mix energetico per Santoni

Lo stesso è stato fatto per la zama, il prodotto finito in zama, quello in ottone e per i fanghi da burattatura. Sotto la voce materiali si sono create dataset personalizzate ottenute inserendo gli elementi puri, nel caso dei fanghi e della zama, tenendo conto delle percentuali legate al tipo di composizione o di lega.

Vediamoli ora alcuni esempi

Accessorio zama (fig. 12):

la creazione di questo dataset tiene conto del rapporto in peso tra la zama e l'ottone presenti nel prodotto finito (10:1), così conoscendo il peso dell'oggetto finito è possibile ricavare il peso dei due materiali.

- L'ottone è stato preso dal dataset Brass {GLO} market for Alloc, Rec U

La zama è stata suddivisa secondo la composizione della sua lega (95% Zn, 4% Al, 1% Cu), e si è considerato un trasporto su ruote con un camion euro 3

- Zinco si è preso, Zinc {GLO} market for Alloc, Rec U
- Come alluminio, Aluminium, primary, ingot {GLO} market for Alloc, Rec U
- Per il rame, Copper {GLO} market for Alloc, Rec U
- Trasporto, Transport, Freight, lorry 16-32 metric ton EURO3 {GLO} market for Alloc, Rec U

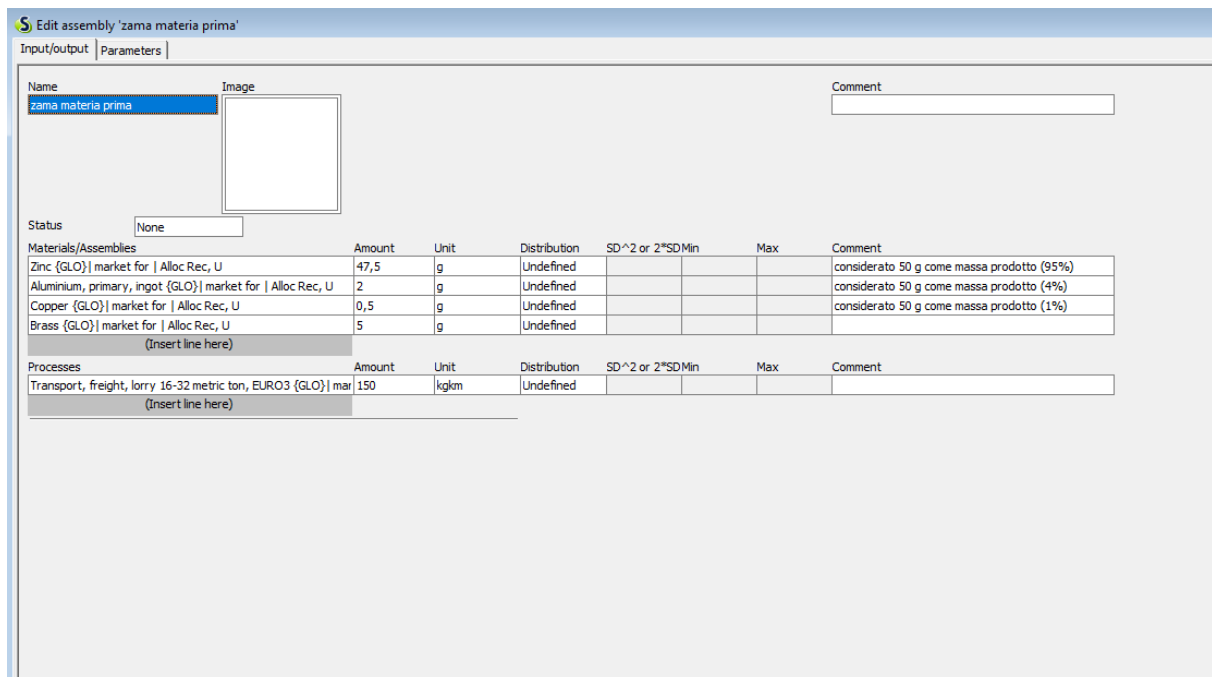


Figura 12 Dataset zama prodotto finito

### Fanghi da burattatura (fig. 13):

L'analisi dei fanghi da burattatura è stata ottenuta dai dati ricavati dall'analisi del rifiuto eseguita dal C.I.A LAB

Per prima cosa si è calcolata la quantità di fanghi riferita ad un singolo prodotto, da questo valore si è ricavato il peso della sostanza secca, che altro non è che il residuo dei fanghi dopo un processo di riscaldamento. L'analisi forniva le percentuali dei metalli e non metalli presenti nel residuo secco, di questi si sono presi solo gli elementi in percentuale maggiore:

- Zinco 0,97%
- Rame 0,68%
- Alluminio 0,45%
- Ferro 0,11 %

Tutti gli elementi erano già stati considerati nell'esempio precedente, tranne per il ferro per cui si è preso Pig iron {GLO} market for Alloc Rec U.

Input/output | Parameters

Name: Fanghi burattatura Image:  Comment:

Status:

| Materials/Assemblies  | Amount | Unit | Distribution | SD <sup>^2</sup> or 2*SDMin | Max | Comment |
|---|--------|------|--------------|-----------------------------|-----|---------|
| Zinc {GLO}   market for   Alloc Rec, U                      | 0,013  | g    | Undefined    |                             |     |         |
| Copper {GLO}   market for   Alloc Rec, U                    | 0,0094 | g    | Undefined    |                             |     |         |
| Aluminium, primary, ingot {GLO}   market for   Alloc Rec, U | 0,0062 | g    | Undefined    |                             |     |         |
| Pig iron {GLO}   market for   Alloc Rec, U                  | 0,0015 | kg   | Undefined    |                             |     |         |
| (Insert line here)  |        |      |              |                             |     |         |
| Processes   | Amount | Unit | Distribution | SD <sup>^2</sup> or 2*SDMin | Max | Comment |
| (Insert line here)  |        |      |              |                             |     |         |

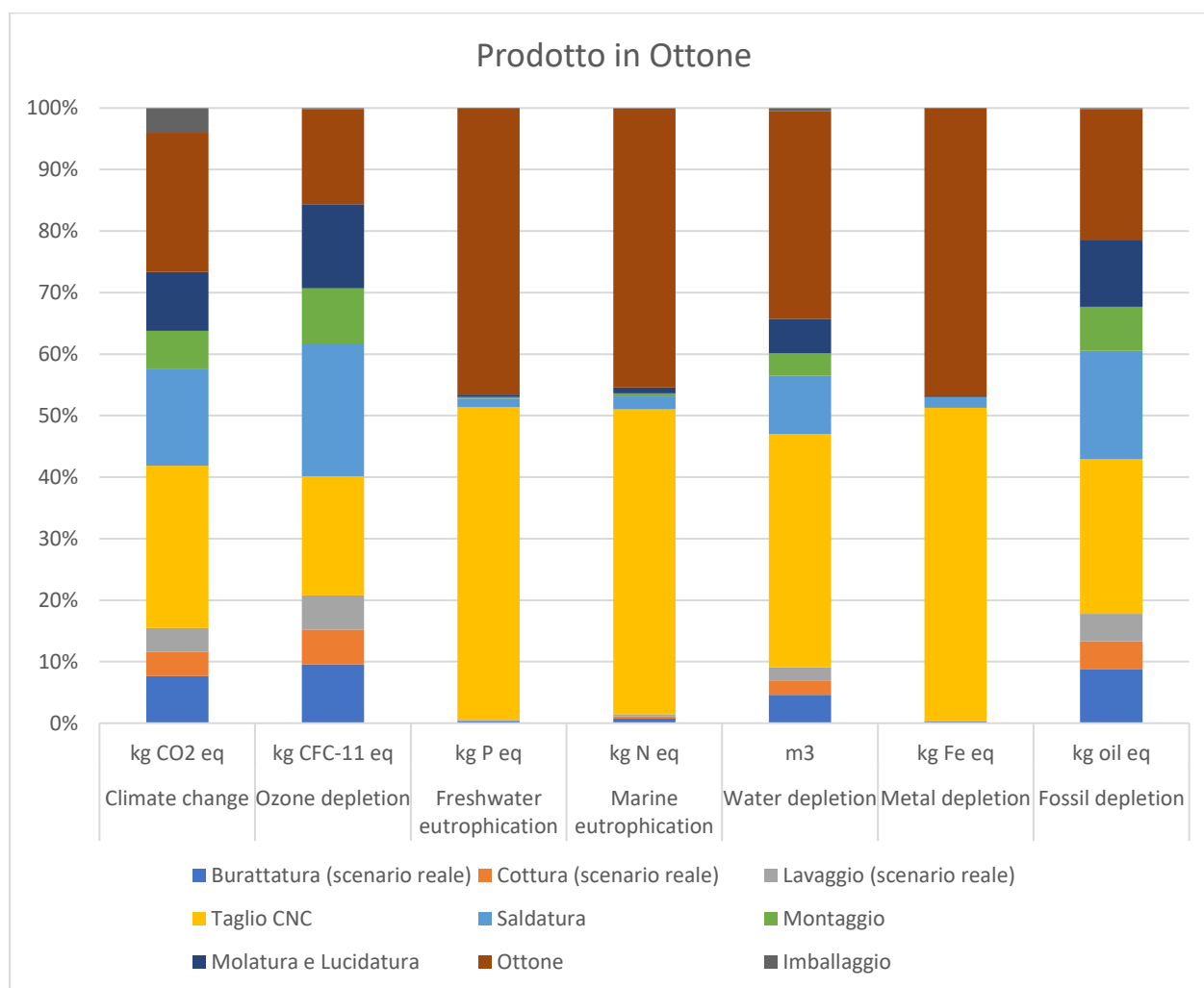
Figura 13 Dataset fanghi da burattatura

Una volta che tutti i dati utili erano disponibili si è proceduto ad inserirli per ogni fase produttiva seguendo gli schemi dei flussi ottenuti e riportati nel paragrafo precedente, prendendoli dal dataset EcoInvent, Alloc Rec U. Completato questo procedimento si sono inserite le fasi produttive appena modulate nei due assembly, prodotto in ottone e prodotto in zama. È stato possibile, dopo aver specificato il metodo di calcolo (ReCipe Midpoint), ottenere i risultati finali dell'analisi di impatto ambientale (figura 14 e 21). Il fatto di aver sviluppato singolarmente le varie fasi dei processi produttivi da il vantaggio di poterli analizzare una alla volta partendo dal risultato complessivo, vedendo i singoli contributi che le caratterizzano.

## 4.7 RISULTATI ANALISI

Una volta inseriti i dati ed elaborati con Simapro8 è possibile ottenere i risultati dei due Assembly, prodotto in Ottone e prodotto in Zama, riferiti alle categorie di impatto scelte. I risultati nei grafici sono forniti in percentuale, rispettivamente prodotto ottone (figura 14) e prodotto in zama (figura 21)

### 4.7.1 Prodotto in ottone



*Figura 14 Risultati prodotto in ottone*

I colori indicano le varie stazioni produttive inserite all'interno del programma, mentre le categorie di impatto sono rappresentate lungo l'asse delle ascisse

Analizzando il grafico si nota come per la CO<sub>2</sub> equivalente il contributo è sostanzialmente ripartito tra le varie fasi, così come per l'assottigliamento dello strato

di ozono e il fossil depletion. Mentre per le altre categorie di impatto il contributo è imputabile principalmente alla fase di taglio e alla materia prima dell'oggetto finito (ottone).

Per una maggiore comprensione della situazione studiata viene inserito un grafico concettualmente identico a quello sopra riportato che mostri il reale peso che ha ogni singola categoria di impatto.

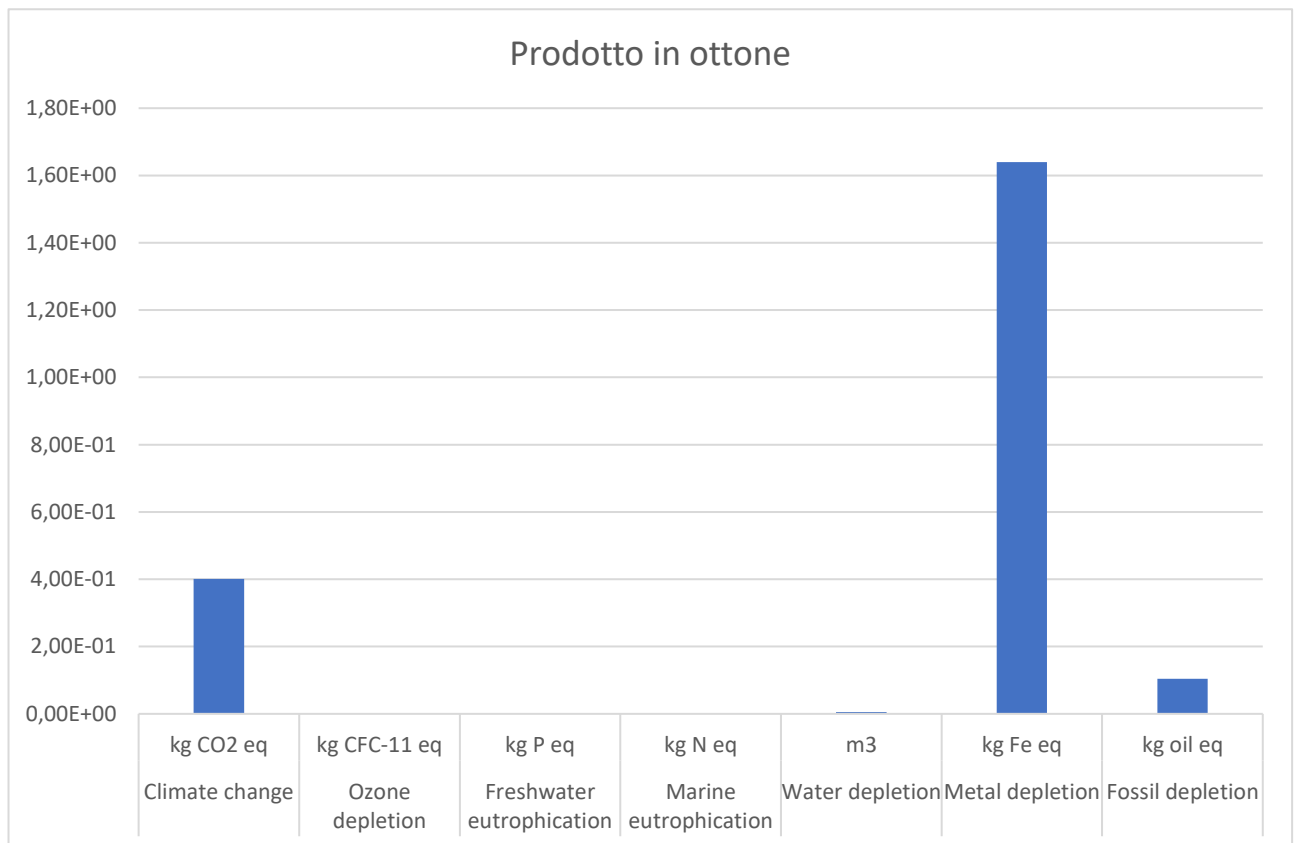


Figura 15 Impatti totali prodotto in ottone

La figura 15 mostra come la produzione del prodotto in ottone impatta principalmente sul consumo dei metalli (metal depletion), in misura molto minore ma comunque significativa sul cambiamento climatico (CO<sub>2</sub> eq.) e sull'impoverimento dei giacimenti dei combustibili fossili. Al contrario l'impatto sulle altre categorie scelte è trascurabile.

Ora analizziamo singolarmente le fasi produttive più rilevanti ai fini dello studio, che interessano il prodotto in ottone, viste nei paragrafi precedenti e in figura 14.

## Taglio CNC

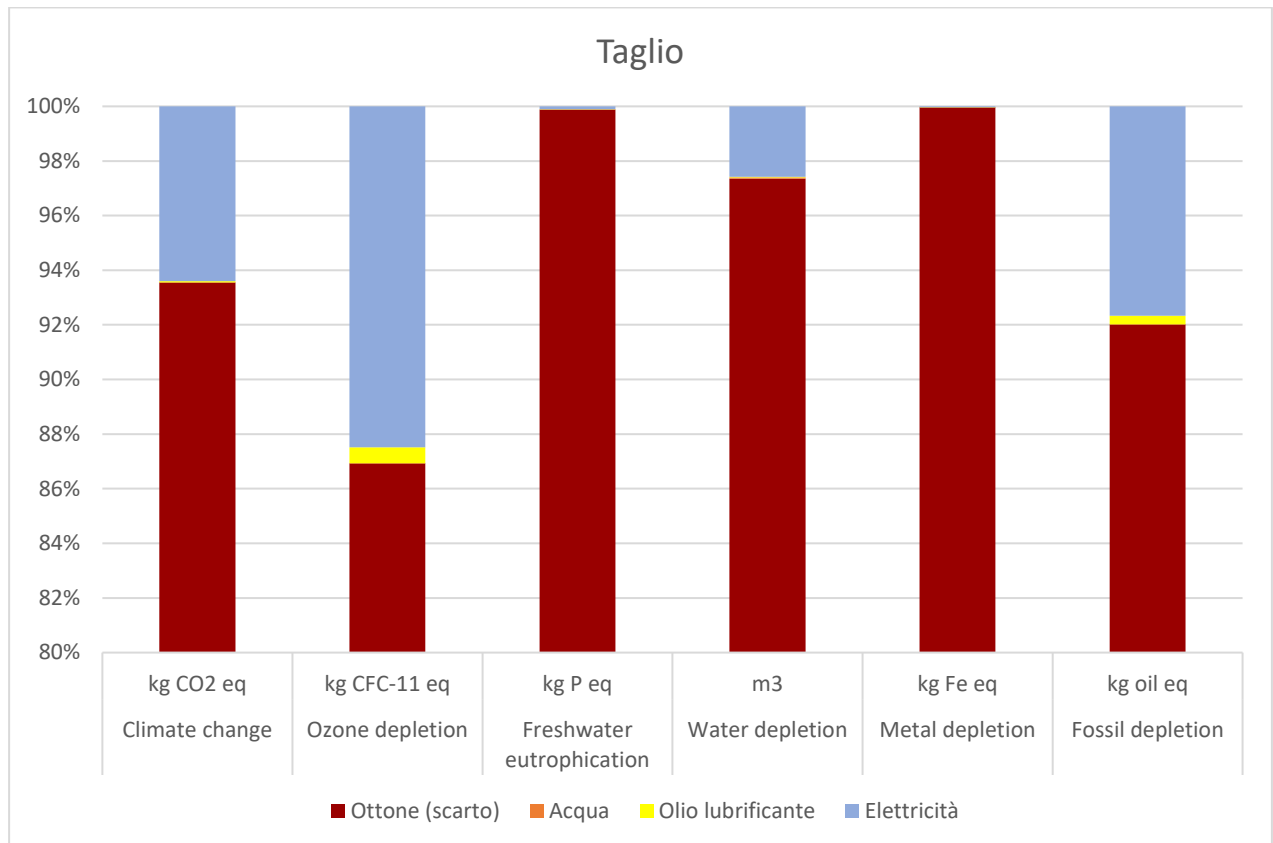


Figura 16 grafico taglio CNC

Analizzando nello specifico la fase di taglio si vede che l'impatto maggiore su tutte le categorie è imputabile all'ottone come scarto di lavorazione, questo evidenzia l'importanza di ridurre al minimo gli sprechi di materia prima non solo da un punto di vista economico ma anche da quello di sostenibilità ambientale. La possibilità di recuperare questi scarti non risolve completamente il problema perché questo passaggio richiede ulteriori lavorazioni che hanno un peso sull'impatto ambientale.

Quindi si sottolinea ancora, come sia importante per un'impresa interessata al concetto di sostenibilità la minimizzazione degli scarti, soprattutto di materiali impattanti come l'ottone.

## Burattatura

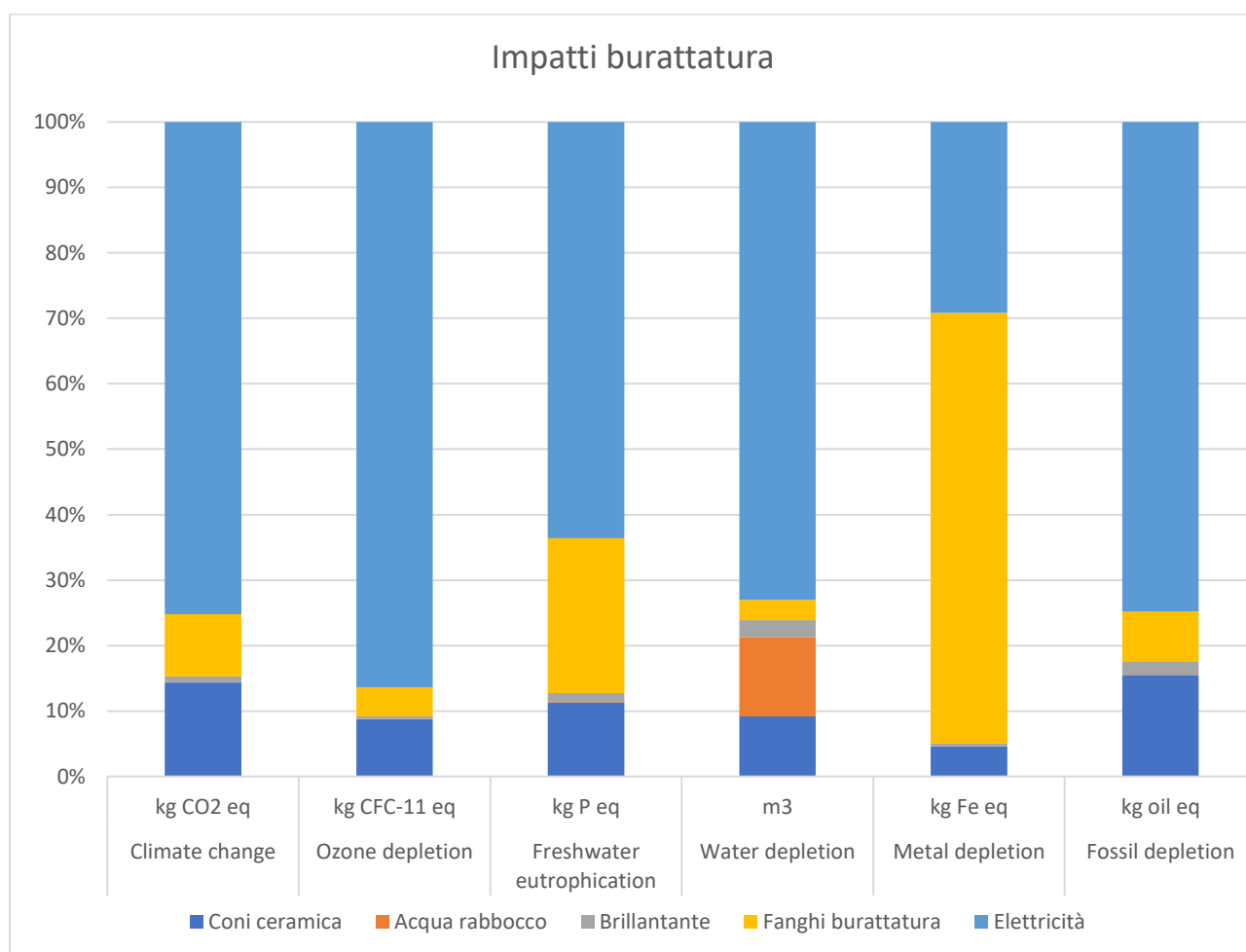


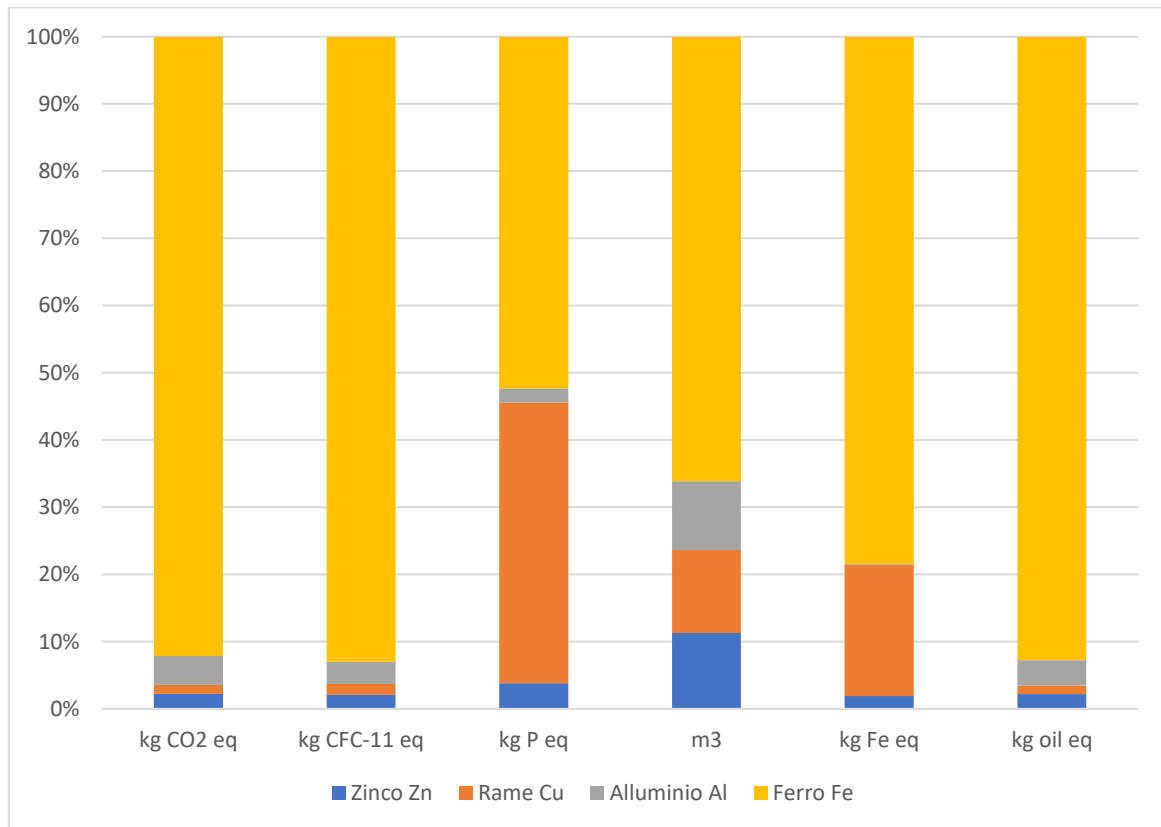
Figura 17 Impatto fase burattatura

In questa fase il consumo elettrico assume un ruolo dominante sia per quanto riguarda i kg di CO2 eq sia per il fossil depletion, in entrambi i casi siamo intorno al 75%. Non sono irrilevanti i contributi dovuti dei coni abrasivi ceramici (10%) e dei fanghi da burattatura che anzi hanno il peso maggiore nella voce metal depletion. Questi verranno analizzati nello specifico nel prossimo grafico (figura 18) per evidenziare i contributi dei singoli materiali che li compongono.

Prima di continuare è importante sottolineare come questo risultato e quello per le lavorazioni, cottura e lavaggio, siano stati ottenuti considerando lo scenario pessimistico per quanto riguarda il consumo elettrico.



## Fanghi di burattatura

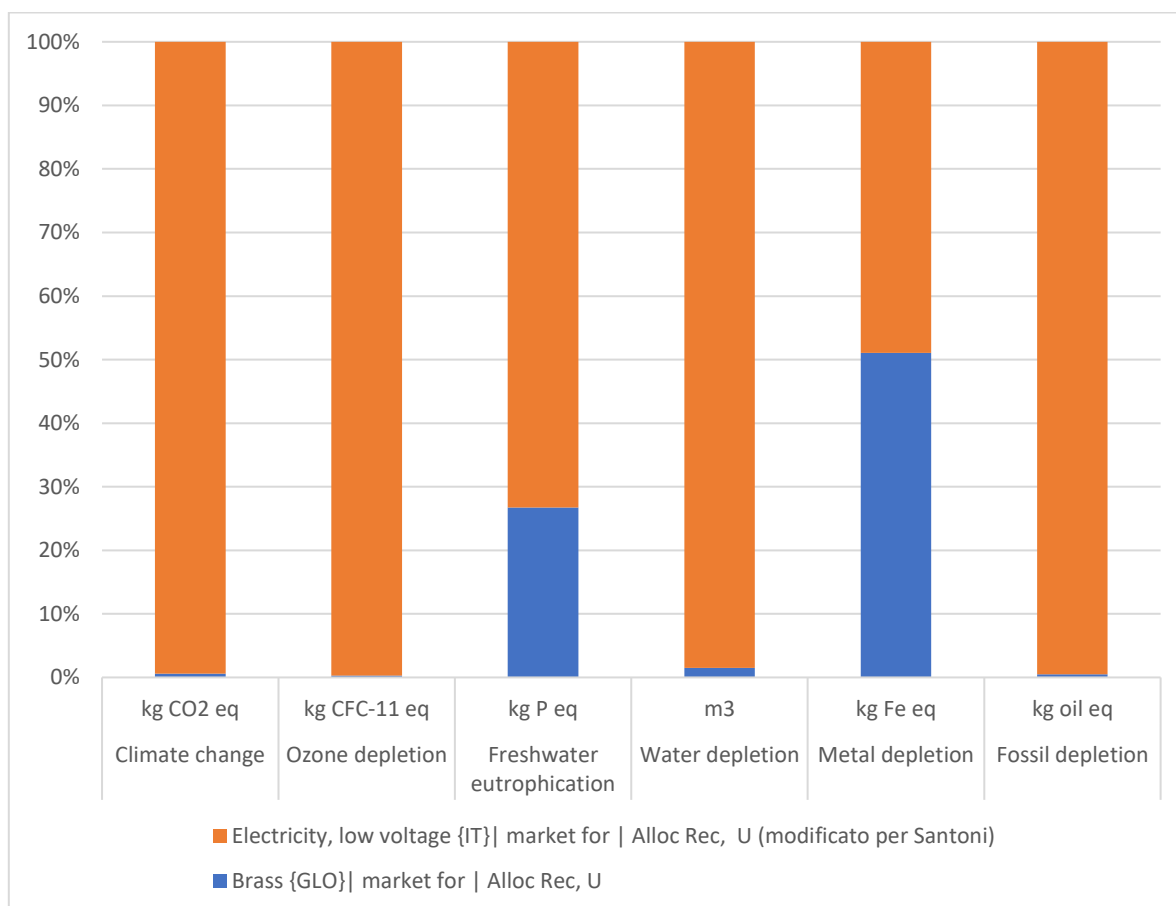


*Figura 18 Analisi impatto fanghi da burattatura*

Ottenuto il grafico dell'analisi dei fanghi da burattatura si nota immediatamente come sia il ferro l'elemento che più impatta in ottica ambientale nonostante esso sia in percentuale minore rispetto ad altri, nella sostanza secca (fanghi a cui si è tolta tutta l'acqua), come visto quando si è costruito il dataset per i fanghi su Simapro.

Torniamo ora all'analisi delle fasi produttive.

## Molatura, spazzolatura e lucidatura

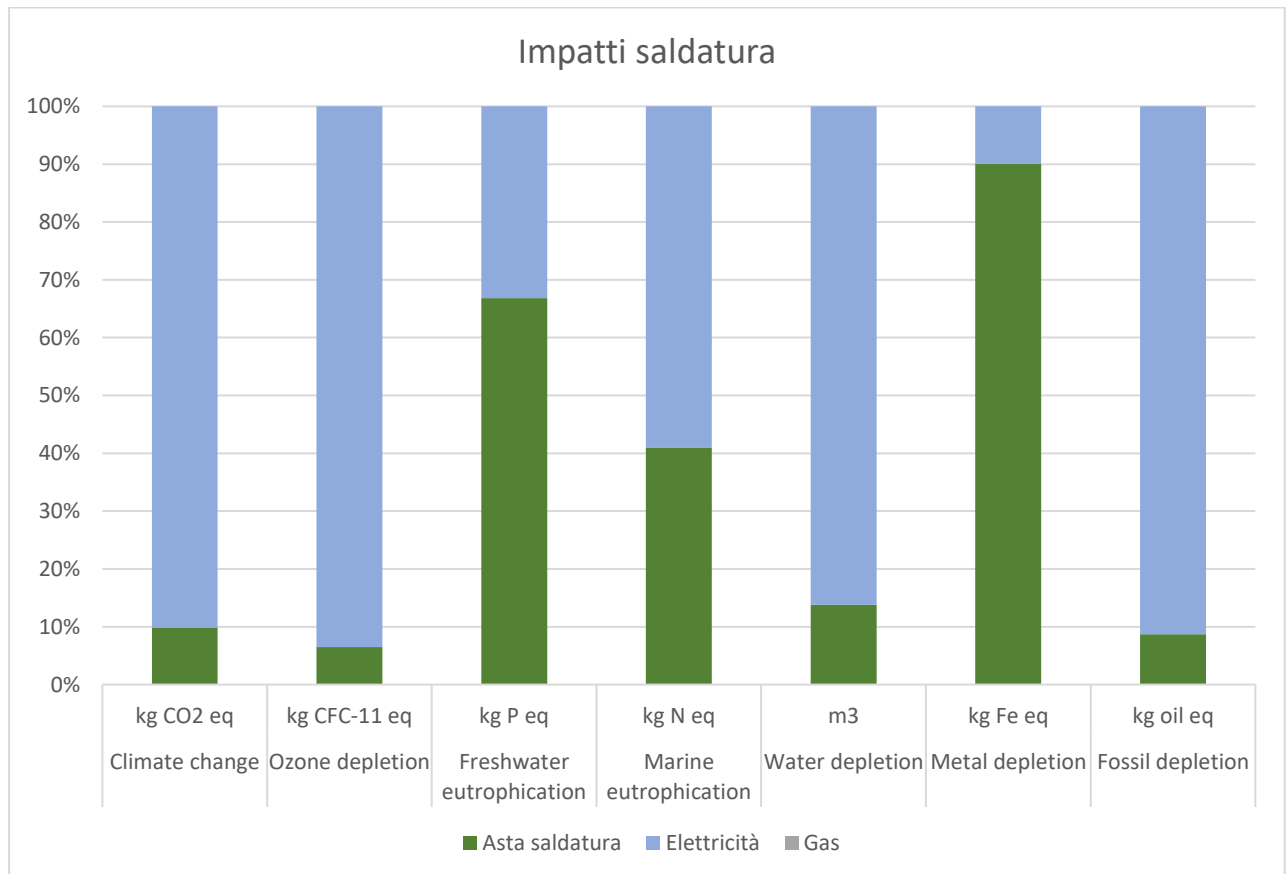


*Figura 19 Analisi impatto molatura*

Come ci si aspettava l'impatto del processo è completamente dovuto al consumo di energia elettrica. Solamente nella voce metal depletion compare il contributo della polvere di ottone, generata dal processo abrasivo.

Il grafico mostra che gli scarti, cioè l'ottone, hanno un peso anche nella voce freshwater eutrophication, ma come si è visto nella figura 15 questa è trascurabile all'interno dell'analisi fatta, quindi questo contributo come altri in precedenza non sono stati evidenziati e considerati.

## Saldatura



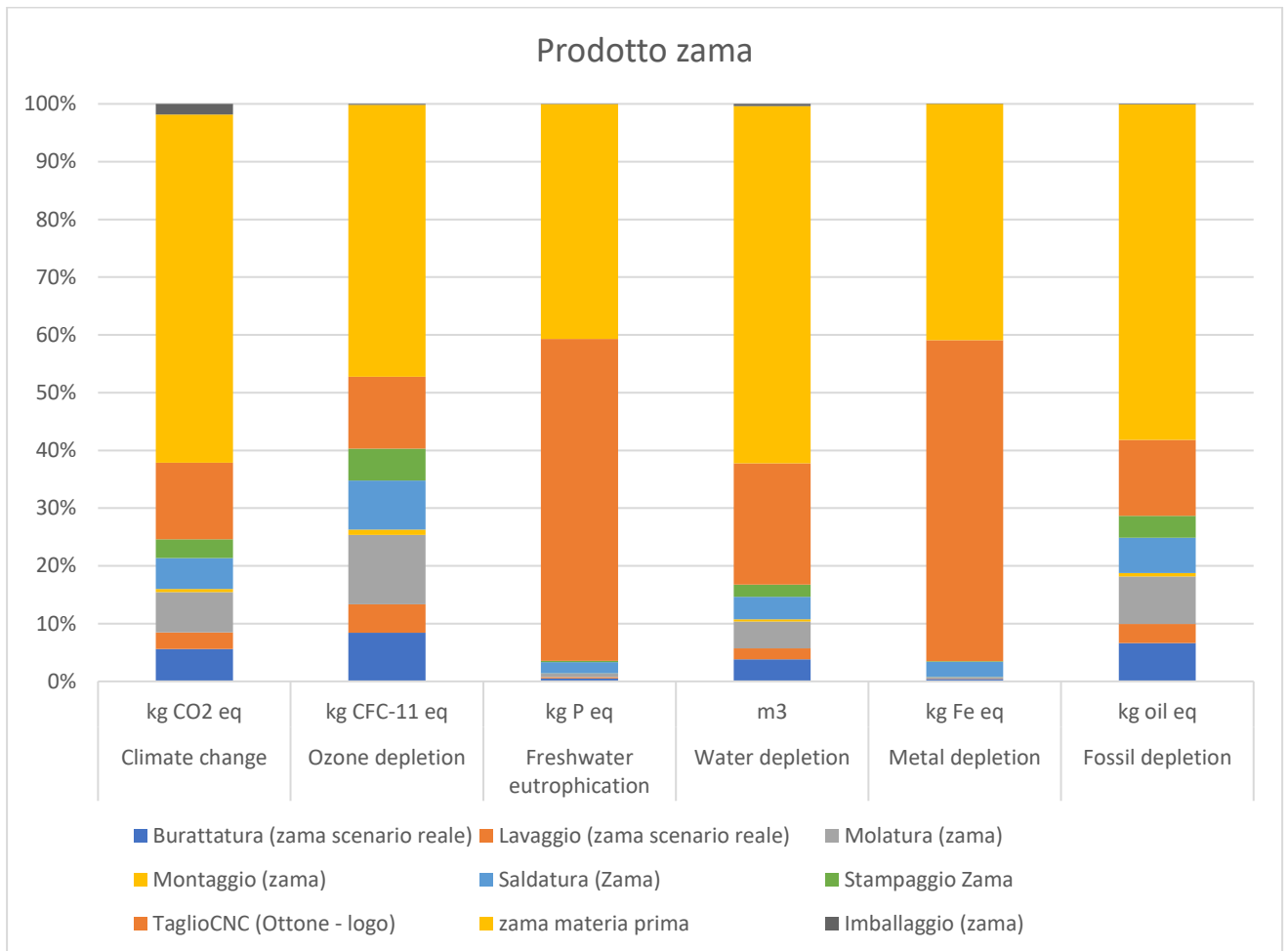
*Figura 20 Analisi impatto saldatura*

I risultati dell'analisi sulla saldatura sono molto simili a quelli ricavati prima per la molatura, cioè l'impatto sulle categorie climate change e fossil depletion è dovuto quasi interamente al consumo elettrico, mentre il metal depletion dipende per il 90% dalla stecca di saldatura che viene impiegata.

Si ricorda che il consumo elettrico, in questa fase, è interamente imputabile alle due stufette/ventilatori presenti sulla postazione di lavoro. E questo porterà a delle considerazioni che verranno trattate nel prossimo paragrafo "Problematiche e Considerazioni".

Delle lavorazioni, cottura, lavaggio e montaggio non sono stati mostrati i grafici perché sono caratterizzate da un unico contributo, quello elettrico. Quindi non avrebbe senso analizzare singolarmente queste lavorazioni.

## 4.7.2 Prodotto in zama



*Figura 21 Analisi prodotto zama*

Nell'analisi del processo produttivo per il pezzo in zama vediamo subito che come prima i processi con un maggior impatto ambientale sono quelli in cui si hanno scarti di materia prima e logicamente il prodotto finito stesso (zama materia prima). Dal grafico vediamo che tra i processi quello con impatto maggiore è senza dubbio il taglio, con cui si otteneva il logo quindi gli scarti sono di ottone. Poi seguono molatura, saldatura e stampaggio zama che più o meno hanno impatti confrontabili uno con l'altro.

In questo paragrafo non si ripeteranno le analisi dei singoli processi già viste sopra che sono identiche al caso dell'ottone, quali la saldatura, il lavaggio, la burattatura e quelle che hanno come unico contributo il consumo elettrico vedi ad esempio lo stampaggio della zama.

Come fatto prima verrà mostrato un grafico che rappresenti il valore delle varie categorie di impatto che nella figura 21 non si possono vedere

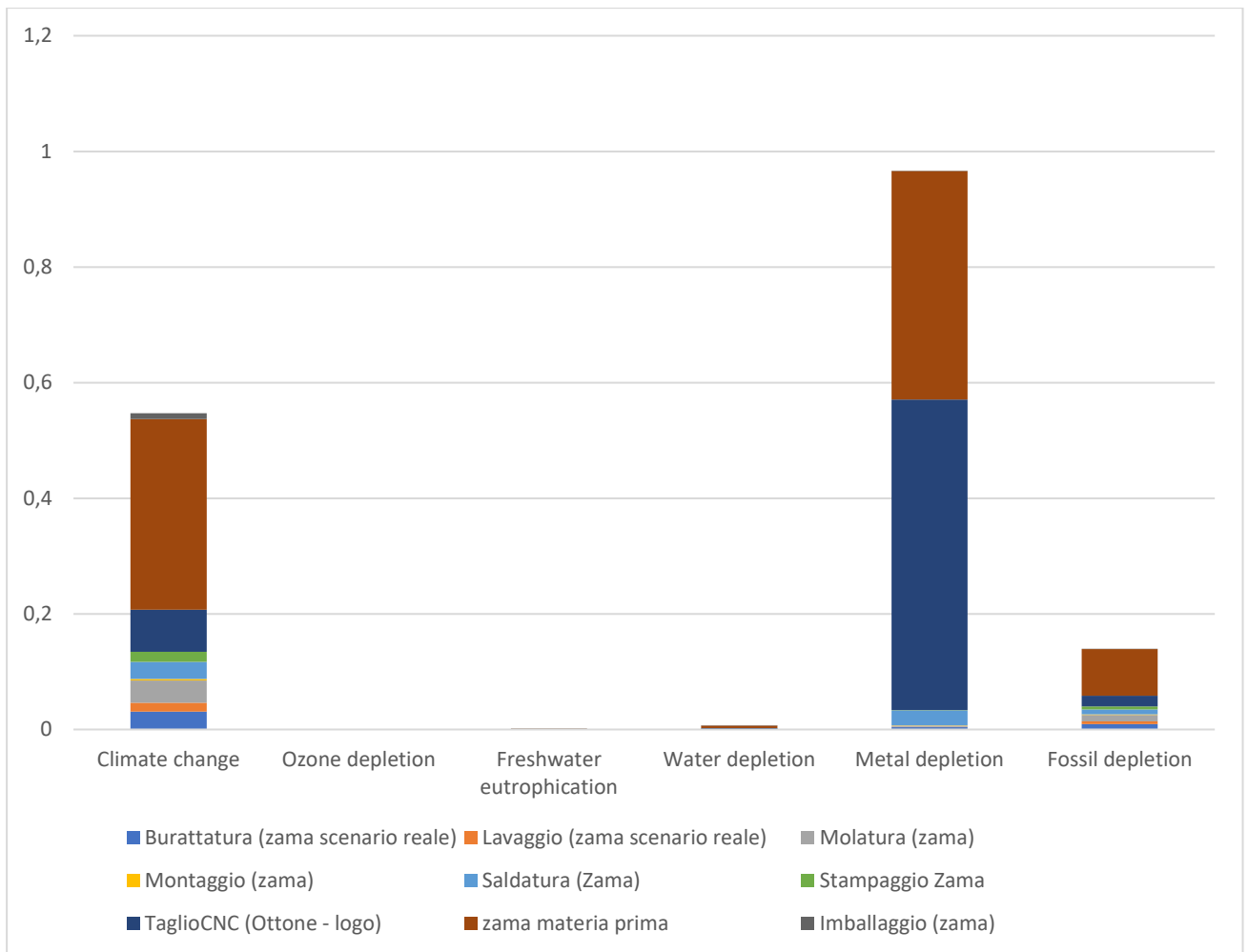


Figura 22 Grafico analisi processo produttivo zama

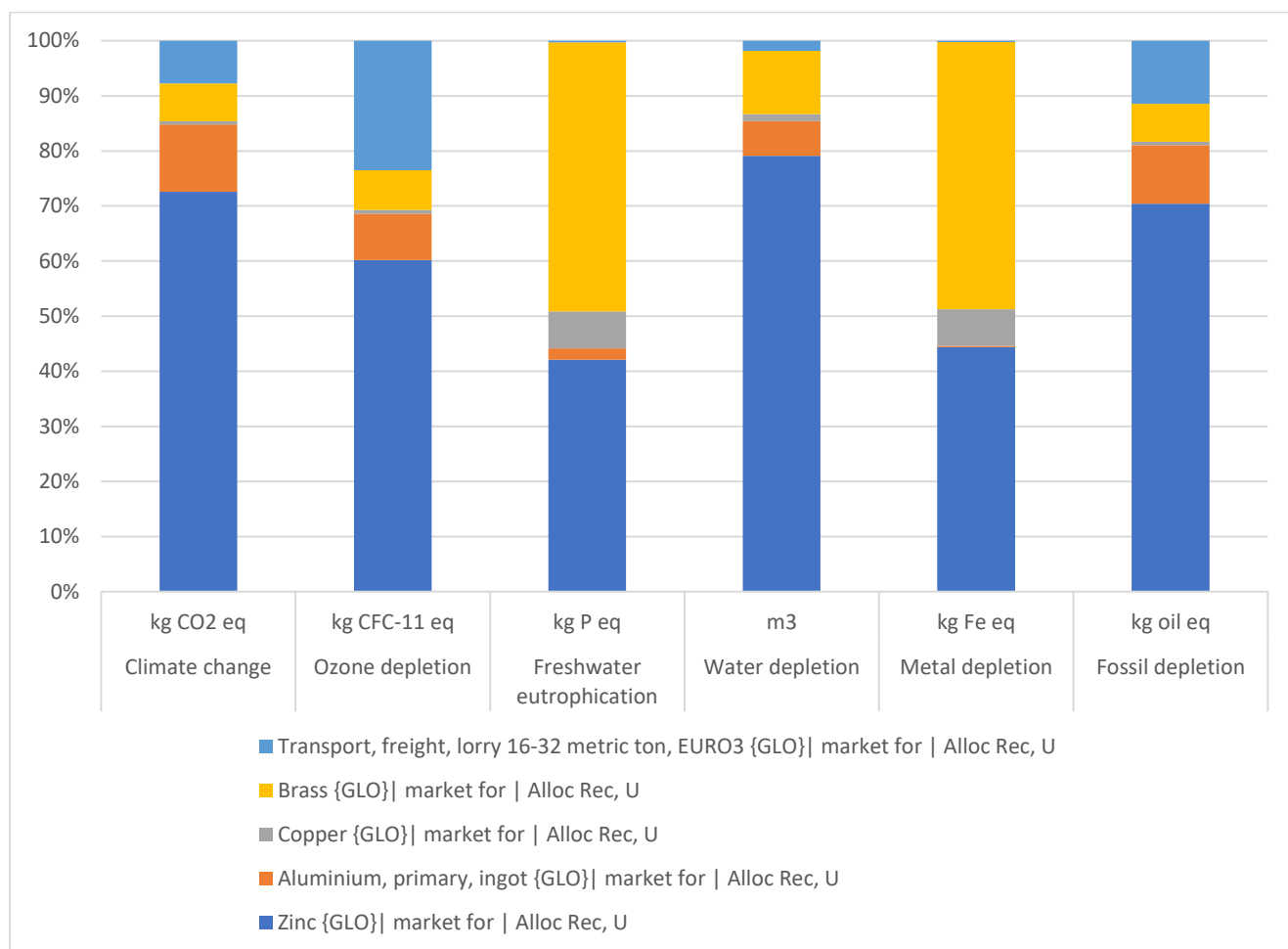
Il grafico mostra un andamento molto simile a quello ricavato dall'analisi del processo produttivo dell'ottone, anche se in questo caso il peso del metal depletion è leggermente inferiore, a "vantaggio" di un aumento della categoria climate change.

Come prima le voci ozone depletion, freshwater eutrophication e water depletion sono trascurabili ai fini dell'analisi e quindi non saranno fatte considerazioni su esse.

Passiamo ora ad analizzare i processi e il prodotto finito nello specifico:

- Accessorio in zama (zama materia prima)
- Taglio CNC
- Molatura

## Accessorio in zama



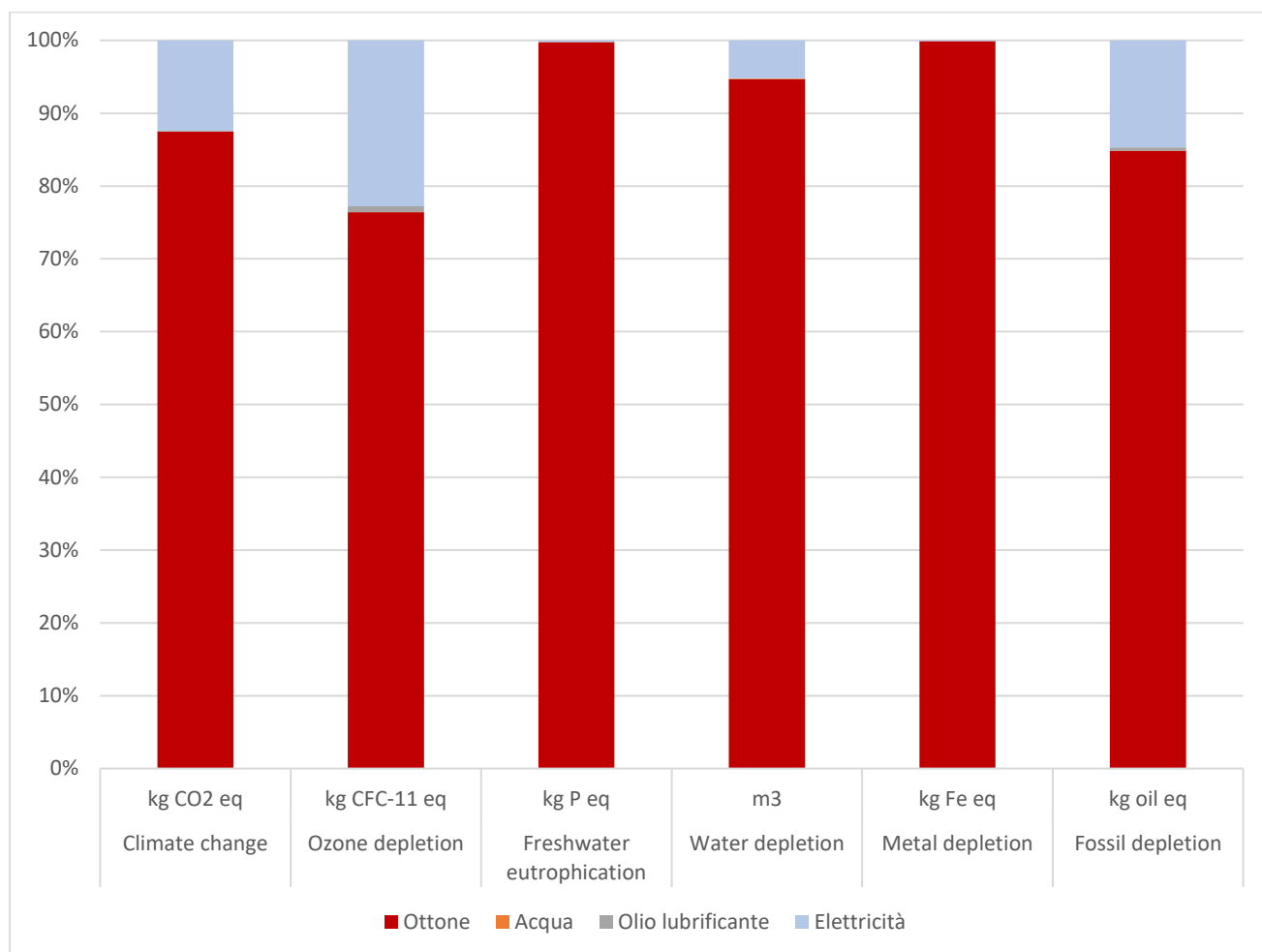
*Figura 23 Analisi accessorio in zama*

La figura 23 rappresenta in maniera grafica i diversi impatti delle materie prime che costituiscono il prodotto finito. Zinco, alluminio e rame sono gli elementi puri che compongono la lega zama, mentre l'ottone (brass) è il materiale di cui è costituito il logo presente sul prodotto finito.

Analizzando le singole voci risulta che lo zinco e l'alluminio (quindi la zama) hanno un impatto maggiore per quanto riguarda gli indicatori climate change e fossil depletion, mentre quando si va ad analizzare il metal depletion, torna rilevante la presenza dell'ottone anche se questo è in un rapporto di peso molto inferiore alla zama.

Della zama stessa il materiale più impattante è sicuramente lo zinco in tutte le categorie considerate ma questo è anche dovuto al fatto che sia in percentuale maggiore nella lega (95%)

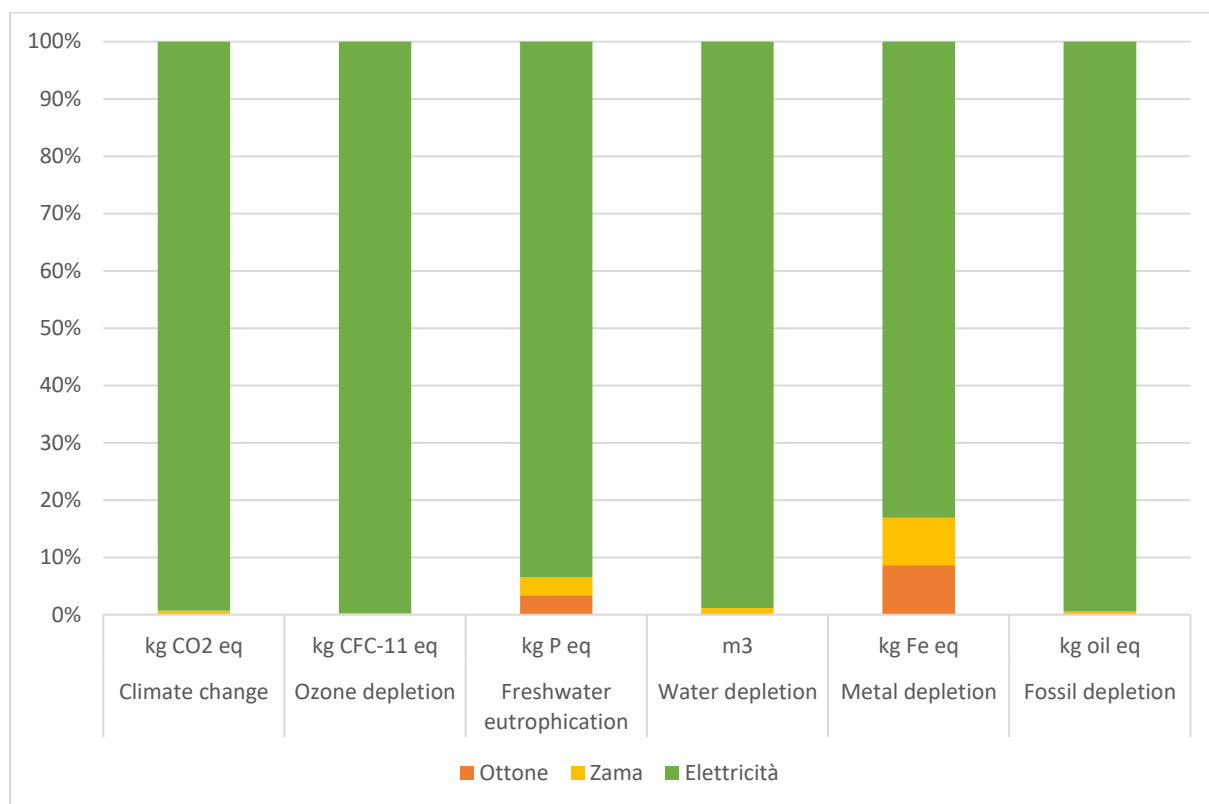
## Taglio CNC



*Figura 24 Impatto taglio CNC*

Le considerazioni da fare su questo processo in seguito all'analisi d'impatto sono le stesse fatte nel taglio per l'accessorio in ottone, in questo caso l'impatto legato all'ottone è ancora più grande per via dello spreco maggiore di materiale e per il fatto che essendo il processo più rapido il consumo elettrico sarà minore, quindi in percentuale aumenterà l'impatto legato all'ottone.

## Molatura



*Figura 25 Analisi impatto molatura accessorio in zama*

Come ci si aspettava l'impatto della fase è quasi completamente dovuto all'energia elettrica assorbita dal processo. Facendo un confronto con la figura 19 (molatura nell'accessorio in ottone) si vede come sia diminuito il peso che hanno le polveri residue, questo ci porta a dire che come materiale la zama è meno impattante dell'ottone.

Ricordiamo che nel caso dell'accessorio le polveri residue dopo la molatura sono costituite per il 90% da zama e 10% da ottone.



## 4.8 PROBLEMATICHE E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi ha più volte evidenziato il grande impatto ambientale legato all'ottone. Partendo dal fatto che questo materiale non può essere sostituito, l'unica possibilità per limitare l'inquinamento legato all'utilizzo di questo materiale è cercare di minimizzare quanto più possibile gli scarti di materiale.

La possibilità di recuperare questi scarti non risolve completamente il problema, infatti per riottenere il materiale sotto una forma utilizzabile, esso dovrà subire ulteriori lavorazioni, con i conseguenti impatti ambientali annessi che si vanno ad aggiungere a quelli già accumulati in precedenza.

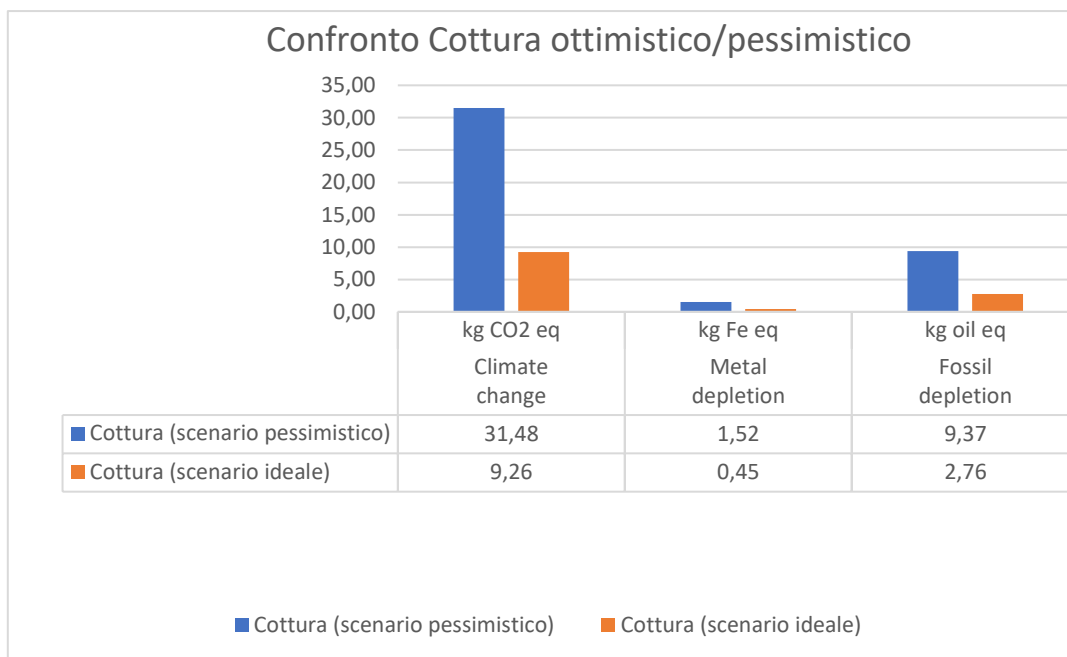
Questo discorso non è fatto per sminuire la pratica del riciclo e del recupero degli scarti, tutt'altro, ma serve per sensibilizzare ad un più attento utilizzo della materia prima e ad una progettazione mirata anche alla minimizzazione degli scarti, questo oltre ad apportare benefici dal punto di vista dell'impatto ambientale, potrebbe portare giovamenti anche economici

Se questo percorso di minimizzazione degli scarti è difficilmente attuabile su pezzi quali il telaio dell'accessorio in ottone studiato, perché con forme complesse derivanti da commesse specifiche del cliente, potrebbe essere più facilmente applicato quando si ottengono particolari, come il logo dell'accessorio in zama, dove con una diversa disposizione delle "L" probabilmente si sarebbe ottenuto un numero maggiore di pezzi dalla stessa lastra.

In lavorazioni come la cottura, la burattatura e il lavaggio, durante la fase di analisi dell'inventario si è riscontrato come il consumo elettrico riferito all'unità di prodotto dipenda dal lotto di cui esso fa parte. Si prenda per semplicità come esempio il lavaggio, riscaldare il volume di acqua e acidi per un determinato intervallo di tempo comporta lo stesso consumo elettrico sia che nel bagno ci siano 1,10 o 200 pezzi. Questo implica che il consumo elettrico unitario del pezzo dipende dal numero di altri accessori con cui subisce il lavaggio. Ipotizzando un consumo di 1 kWh per un ciclo da un'ora, un pezzo può avere un consumo unitario di 100 Wh se fa parte di un lotto di 10 pezzi, oppure di 10 Wh se fa parte di un lotto di 100 pezzi.

Siccome il flusso di pezzi non è regolare nell'analisi abbiamo creato due possibili scenari uno ottimistico in cui il lotto è costituito dalla capienza massima della macchina, forno o bagno di lavaggio, e uno pessimistico in cui si è fissato un lotto da 50 pezzi.

Nelle figure è mostrato il confronto tra lo scenario ideale e pessimistico, i dati sono riferiti alla produzione di 2000 pezzi



*Figura 26 Confronto tra i due scenari per la Cottura*

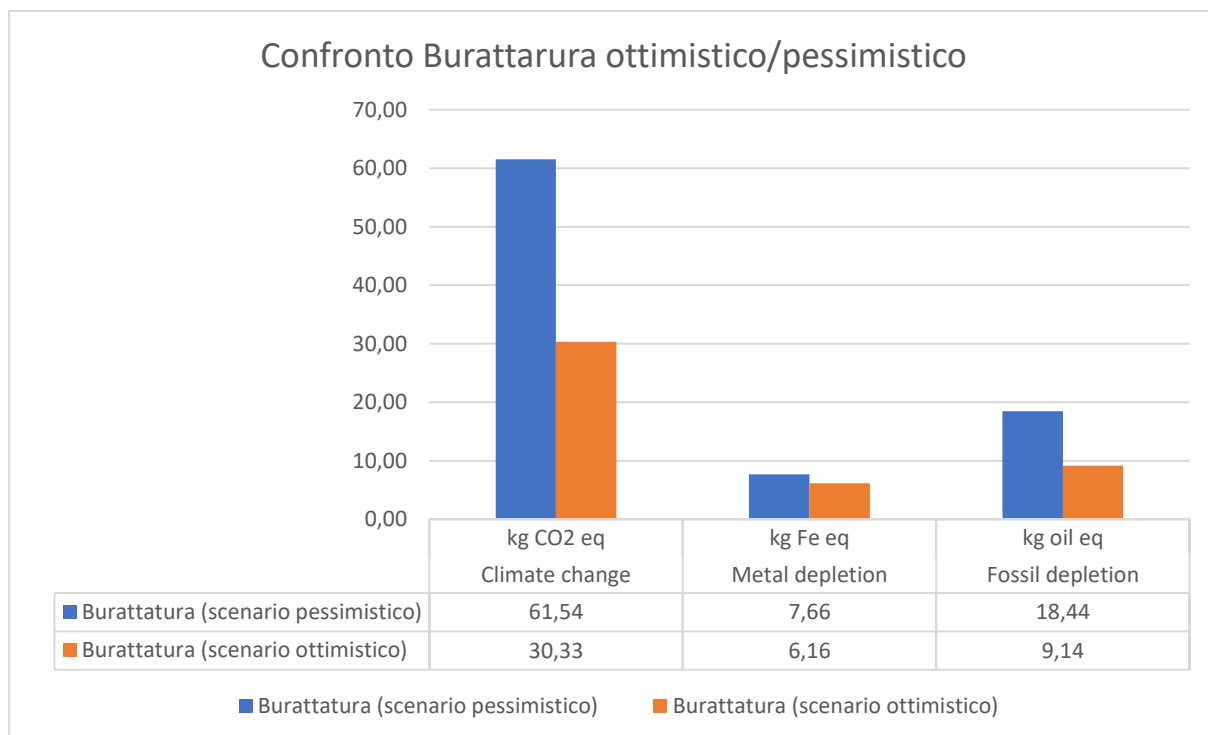


Figura 27 Confronto scenari Burattatura

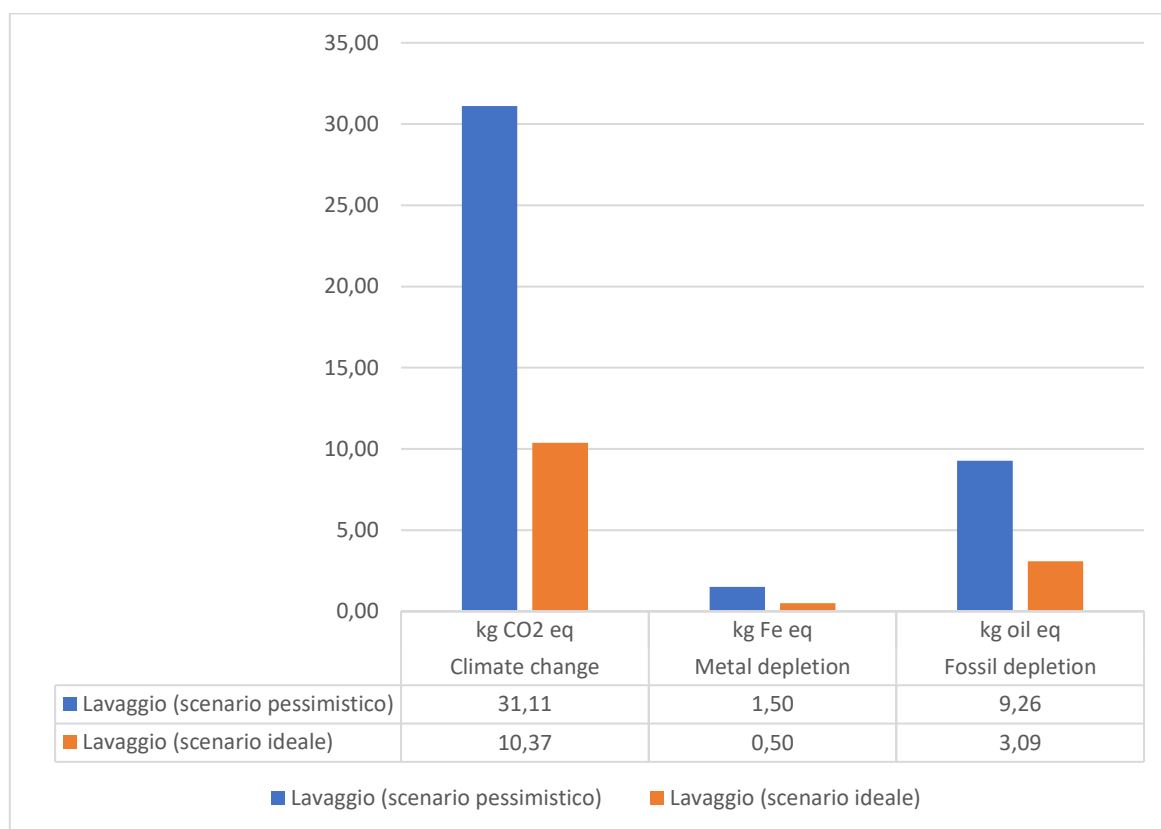


Figura 28 Confronto tra i due scenari per il lavaggio

Questa considerazione potrebbe interessare l'azienda e portarla a fare un'analisi per valutare se convenga far attendere i pezzi e lavorare sempre sopra una quantità minima, oppure non convenga fermare la linea e subire in certi momenti un consumo maggiore.

L'ultima problematica riscontrata riguarda il reparto di saldatura, e in particolare le stufette/ventilatori presenti nel banco di lavoro. Queste presentano un doppio problema, il flusso d'aria che muovono, toglie i fumi prodotti in prossimità delle operatrici, ma piuttosto che convogliarli nell'aspirazione è più probabile che li disperda nell'ambiente di lavoro. Inoltre, il loro consumo elettrico è elevato, come si può notare dai dati e dalla figura 20. Questo potrebbe spingere l'azienda a valutare un ripensamento del sistema di aspirazione più efficace che permetta l'eliminazione di queste stufette.

In appendice sono riportati i risultati dell'analisi in forma numerica che non sono stati inseriti all'interno del testo per non appesantire la lettura.

## **5. CONCLUSIONI**

In questo lavoro di tesi, mediante l'applicazione della metodologia Life Cycle Assessment (LCA), si è valutato l'impatto ambientale di due accessori per il settore moda, uno in ottone e uno in zama, prodotti da un'azienda del territorio marchigiano. Particolare attenzione è stata posta ai processi produttivi interni, che sono stati esaminati attraverso misure dirette dei consumi energetici.

L'analisi ha permesso di analizzare e studiare tutte le fasi produttive interne all'azienda in modo da evidenziarne le maggiori criticità, e di individuare le lavorazioni e i flussi più impattanti da un punto di vista ambientale.

Dai risultati si è notato come l'impatto maggiore legato alla produzione degli accessori sia imputabile alle materie prime che compongono i prodotti finiti (ottone e zama) e di conseguenza le lavorazioni più "critiche" dal punto di vista ambientale sono quelle in cui si hanno scarti significativi di materia prima (es. il taglio).

Lavori futuri potranno consistere nella realizzazione di analisi LCA delle altre linee della loro produzione, come lo stampaggio dell'ottone, per pressofusione o stampaggio a caldo e all'analisi del trattamento galvanico, processo che interessa la maggior parte dei prodotti e che sicuramente rappresenta un elemento "sensibile" da un punto di vista ambientale. Tale processo è stato escluso dall'analisi contenuta nel presente lavoro, in quanto effettuata esternamente all'azienda. Interessante sarebbe anche l'analisi ambientale di tutti quei sistemi non direttamente legati alla produzione, come l'impianto di riscaldamento, i servizi e tutto il reparto uffici.

In conclusione, la Santoni srl è sicuramente un'azienda con un particolare interesse al miglioramento da un punto di vista ambientale dei suoi processi, spinta anche da una sempre maggior attenzione della clientela a questi temi e da un settore, quello moda, che negli ultimi anni si sta avvicinando sempre più ad un concetto di produzione sostenibile.

## 6. APPENDICE

| Impact category           | Unit         | Burratura | Cottura  | Lavaggio | Taglio CNC | Saldatura | Montagg. | Molatura Lucidatur. | Ottone   | Imballo  | totale   |
|---------------------------|--------------|-----------|----------|----------|------------|-----------|----------|---------------------|----------|----------|----------|
| Climate change            | kg CO2 eq    | 3,08E-02  | 1,57E-02 | 1,56E-02 | 1,06E-01   | 6,27E-02  | 2,51E-02 | 3,83E-02            | 9,06E-02 | 1,62E-02 | 4,01E-01 |
| Ozone depletion           | kg CFC-11 eq | 3,57E-09  | 2,10E-09 | 2,07E-09 | 7,22E-09   | 8,05E-09  | 3,35E-09 | 5,09E-09            | 5,76E-09 | 6,79E-11 | 3,73E-08 |
| Freshwater eutrophication | kg P eq      | 7,64E-06  | 3,30E-06 | 3,26E-06 | 1,27E-03   | 3,58E-05  | 5,27E-06 | 1,09E-05            | 1,17E-03 | 3,42E-07 | 2,51E-03 |
| Marine eutrophication     | kg N eq      | 4,81E-06  | 2,13E-06 | 2,10E-06 | 3,09E-04   | 1,29E-05  | 3,39E-06 | 5,85E-06            | 2,83E-04 | 4,26E-07 | 6,24E-04 |
| Water depletion           | m3           | 2,49E-04  | 1,24E-04 | 1,22E-04 | 2,06E-03   | 5,15E-04  | 1,97E-04 | 3,04E-04            | 1,84E-03 | 2,58E-05 | 5,43E-03 |
| Metal depletion           | kg Fe eq     | 3,83E-03  | 7,59E-04 | 7,51E-04 | 8,36E-01   | 2,75E-02  | 1,21E-03 | 3,75E-03            | 7,66E-01 | 2,53E-05 | 1,64E+00 |
| Fossil depletion          | kg oil eq    | 9,22E-03  | 4,69E-03 | 4,63E-03 | 2,63E-02   | 1,84E-02  | 7,48E-03 | 1,14E-02            | 2,22E-02 | 1,79E-04 | 1,04E-01 |

Figura 29 : Risultati Analisi produzione articolo in Ottone

| Impact category           | Unit         | Burratura | Cottura  | Lavaggio | Taglio CNC | Saldatura | Montagg. | Molatura Lucidatur. | Ottone   | Imballo  | totale   |
|---------------------------|--------------|-----------|----------|----------|------------|-----------|----------|---------------------|----------|----------|----------|
| Climate change            | kg CO2 eq    | 3,08E-02  | 1,56E-02 | 3,83E-02 | 2,89E-03   | 2,93E-02  | 1,76E-02 | 7,25E-02            | 3,30E-01 | 9,94E-03 | 5,47E-01 |
| Ozone depletion           | kg CFC-11 eq | 3,57E-09  | 2,07E-09 | 5,09E-09 | 3,86E-10   | 3,61E-09  | 2,35E-09 | 5,28E-09            | 1,99E-08 | 6,79E-11 | 4,24E-08 |
| Freshwater eutrophication | kg P eq      | 7,64E-06  | 3,26E-06 | 8,56E-06 | 6,07E-07   | 2,88E-05  | 3,69E-06 | 8,19E-04            | 5,97E-04 | 3,42E-07 | 1,47E-03 |
| Water depletion           | m3           | 2,49E-04  | 1,22E-04 | 3,03E-04 | 2,27E-05   | 2,53E-04  | 1,38E-04 | 1,36E-03            | 4,01E-03 | 2,58E-05 | 6,48E-03 |
| Metal depletion           | kg Fe eq     | 3,83E-03  | 7,51E-04 | 2,21E-03 | 1,40E-04   | 2,59E-02  | 8,49E-04 | 5,37E-01            | 3,95E-01 | 2,53E-05 | 9,66E-01 |
| Fossil depletion          | kg oil eq    | 9,22E-03  | 4,63E-03 | 1,14E-02 | 8,62E-04   | 8,50E-03  | 5,24E-03 | 1,83E-02            | 8,08E-02 | 1,79E-04 | 1,39E-01 |

Figura 30: Risultati analisi produzione articolo in Zama

## 7. BIBLIOGRAFIA

- UNI EN ISO 14040 – Gestione ambientale, Valutazione del ciclo di vita, Principi e quadro di riferimento, (2006)
- UNI EN ISO 14044 – Gestione ambientale, Valutazione del ciclo di vita, Requisiti e linee guida, (2006)
- G.Rebitzer, T. Ekvall, R. Frishknecht, D.Hunkeler, G.norris, T.Rydberg, W.P.Schmidt, S,Suh, B.P. Weidema, D.W. Pennington – Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications (2004)
- U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation LCAccess – LCA 101 (2001)
- European Environment Agency – Life Cycle Assessment, A guide to approaches, experiences and information sources (1997)
- Robert U.Ayres, Udo E.Simonis – Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable Development (1994)
- Shinichiro Nakamura, Yasushi Kondo – Waste Input-Output Analysis, Concepts and Application to Industrial Ecology (2008)
- Pré – Introduction to LCA with SimaPro (2016)
- Pré – SimaPro Database Manual, Methods Library (2015)
- Forbes R. McDougall, Peter R. White, Marina Franke, Peter Hindle – Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory – 2nd edition (2001)
- Pré – SimaPro Tutorial (2016)
- Claudio Favi, Michele Germani, Marco Mandolini, Marco Marconi – PLANTLCA: A lifecycle approach to map and characterize resource consumptions and environmental impacts of manufacturing plants
- HT Manuale d'uso PQA 824 (2015)
- ENEA: P.Masoni, E. Scimia – Life Cycle Assessment: sviluppo di indicatori specifici per l'Italia per la fase di valutazione d'impatto