



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in INGEGNERIA MECCANICA

(L-9 - Classe delle lauree in Ingegneria industriale di cui al D.M. 270/2004)

sede di ANCONA

VALUTAZIONE DI IMPATTI AMBIENTALI DI PRODOTTI NEL SETTORE OIL & GAS

Assessment of environmental impacts of products in the oil & gas sector

Relatore: Chiar.mo

Prof. **GERMANI MICHELE**

Correlatore:

Dott.ssa **FEDERICA CAPPELLETTI**

Tesi di Laurea di:

SPALAZZI ANDREA

A.A. 2022/2023

Sommario

1. Introduzione.....	5
2. Ecosostenibilità	6
2.1. Economia Circolare.....	7
2.2. Ecodesign	8
2.3. Obiettivi ambientali: contesto attuale.....	9
2.4. Analisi LCA	11
2.5. Limiti dell'analisi LCA	15
3. Caso di Studio: impatti ambientali valvola settore oil&gas	16
3.1. L'impresa: IMI Critical Engineering	18
3.2. Valvola.....	20
3.3. Dati di Studio e Analisi di quest'ultimi	21
3.3.1. Confronto generale	21
3.3.2. Confronto con Trasporto	25
3.3.3. Analisi degli impatti per le lavorazioni delle componenti principali.....	34
4. Conclusioni.....	41
5. Ringraziamenti	42
Bibliografia	43

Indice figure

Figura 1 - Logo agenda 2030.....	9
Figura 2 - Riassunto del Piano per la Transizione Ecologica	10
Figura 3 - Schema fasi analisi LCA.....	13
Figura 4 - Logo del programma analisi LCA SimaPro	14
Figura 5 - Valvola	16
Figura 6 - Logo IMI Critical Engineering.....	18
Figura 7 - Logo IMI Orton	20
Figura 8 – Climate Change.....	21
Figura 9 - Non-Cancer Human Health Effects	22
Figura 10 - Cancer Human Health Effects.....	22
Figura 11 - Resource Use, energy carries	23
Figura 12 - Resource Use, Minerals and Metals	23
Figura 13 - Ecotoxicity Freshwater.....	24
Figura 14 - Climate Change, Primary Data, con trasporti caso migliore	26
Figura 15 - Climate Change, Primary Data, con trasporti caso peggiore	26
Figura 16 - Non Cancer Human Health Effects, Primary Data, con trasporti caso migliore	27
Figura 17 - Non Cancer Human Health Effects, Primary Data, con trasporti caso peggiore	27
Figura 18 - Cancer Human Health Effects, Primary Data, con trasporti caso migliore	28
Figura 19 - Cancer Human Health Effects, Primary Data, con trasporti caso peggiore	28
Figura 20 - Resource Use, Energy Carriers, Primary Data, con trasporti caso migliore	29
Figura 21 - Resource Use, Energy Carriers, Primary Data, con trasporti caso peggiore	29
Figura 22 - Resource Use, Mineral and Metals, Primary Data, con trasporti caso migliore	30
Figura 23 - Resource Use, Mineral and Metals, Primary Data, con trasporti caso peggiore	30
Figura 24 - Ecotoxicity Freshwater, Primary Data, con trasporti caso migliore	31
Figura 25 - Ecotoxicity Freshwater, Primary Data, con trasporti caso peggiore	31
Figura 26 - Climate Change, Customized Dataset, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring.....	34
Figura 27 - Non Cancer Human Health Effects, Customized Dataset, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring	35
Figura 28 - Cancer Human Health Effects, Customized Dataset, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring	35
Figura 29 - Resource Use, Energy Carriers, Customized Dataset, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring	36
Figura 30 - Resource Use, Minerals And Metals, Customized Dataset, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring	36
Figura 31 - Ecotoxicity Freshwater, Customized Dataset, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring	37
Figura 32 - Climate Change, Primary Data, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring.....	37
Figura 33 - Non Cancer Human Health Effects, Primary Data, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring	38
Figura 34 - Cancer Human Health Effects, Primary Data, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring	38
Figura 35 - Resource Use, Energy Carriers, Primary Data, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring	39

Figura 36 - Resource Use, Minerals And Metals, Primary Data, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring 39

Figura 37 - Ecotoxicity Freshwater, Primary Data, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring..... 40

Indice tabelle

Tabella 1 - Rapporto Customized Dataset su Primary Data	25
Tabella 2 - Impatto ambientale Unitario per differenti mezzi di trasporto	25
Tabella 3 - Rapporto Caso Migliore su Caso Peggior	32
Tabella 4 - Rapporto Trasporto materie sul Totale e Rapporto Trasporto prodotto finale (nel caso migliore e peggiore) su Totale, Primary Data, Parte 1 (body)	32
Tabella 5 - Rapporto Trasporto materie sul Totale e Rapporto Trasporto prodotto finale (nel caso migliore e peggiore) su Totale, Primary Data, Parte 2 (disc)	33
Tabella 6 - Rapporto Trasporto materie sul Totale e Rapporto Trasporto prodotto finale (nel caso migliore e peggiore) su Totale, Primary Data, Parte 3 (Seal Ring)	33

1. Introduzione

Negli ultimi anni le tematiche riguardanti l'ecosostenibilità e gli impatti ambientali hanno ottenuto una sempre maggiore visibilità nell'opinione pubblica e nelle istituzioni. Di conseguenza molte imprese hanno cercato di convertire il loro processo di produzione in uno più sostenibile per l'ambiente e per fare ciò sono ricorsi a metodi che tenessero conto degli impatti ambientali da loro causati.

Questa tesi si inserisce nell'ambito dell'eco-design e delle varie norme che lo regolano. In particolare, in questo lavoro viene adottata la metodologia Life Cycle Assessment (LCA). La parte sperimentale consiste nel calcolare, avvalendosi di questa metodologia, i vari indici di impatto ambientale con i diversi gradi di dettaglio per una valvola oil&gas. Questi indici sono stati ottenuti sia mediante il programma di analisi degli impatti ambientali SimaPro sia mediante un modello di analisi sviluppato dal DIISM. L'obiettivo di questo lavoro di tesi consiste nel confrontare tra loro i dati ottenuti con le due modalità allo scopo di verificare l'affidabilità dei modelli sviluppati dal DIISM. L'obiettivo del progetto consiste nella realizzazione di un programma di analisi LCA specifico per l'impresa IMI Orton.

Si fa presente che, per motivi di riservatezza espressamente richiesti dalla società committente, alcuni dati anche conseguenti all'analisi non sono stati pubblicati nel presente elaborato.

Più specificatamente la presente tesi è stata così organizzata:

- Il secondo capitolo è diretto ad analizzare i temi dell'ecosostenibilità nonché le varie organizzazioni e istituzioni che regolano questa tematica. Sempre in questo capitolo vengono introdotti e spiegati il concetto dell'analisi LCA, gli strumenti per effettuare tale analisi, le regole a cui è sottoposta, i suoi punti di forza e gli eventuali limiti.
- Il terzo capitolo si divide in due parti, la prima parte è dedicata ad una spiegazione generale del caso di studio poi viene preliminarmente analizzata l'impresa IMI Critical Engineering e successivamente viene descritta la valvola protagonista del processo oggetto di studio. Nella seconda parte del terzo capitolo vengono mostrati i risultati ottenuti mediante il programma SimaPro e quelli ottenuti autonomamente con i metodi sviluppati dal gruppo di ricerca del DIISM. Questi risultati vengono poi confrontati tra loro.
- Nel quarto capitolo vengono tratte alcune conclusioni sul lavoro svolto e sul confronto dei dati analizzati.

2. Ecosostenibilità

Per ecosostenibilità si intende quella pratica ecologista che mira ad effettuare attività che portino il beneficio dell'ecosistema. Nello specifico è ecosostenibile ciò che porta ad agire in modo tale che il consumo sia tale da far ricevere alla generazione successiva la stessa quantità di risorse che ha avuto la generazione precedente. Se si vuole prendere in considerazione la definizione di Herman Daly [1] un sistema si definisce ecosostenibile se:

- La velocità con cui si sfruttano le risorse è inferiore a quella con cui si rigenerano,
- L'immissione di particelle tossiche ed inquinanti nell'ambiente non supera la sua capacità di assimilarle,
- L'esaurimento di risorse non rinnovabili si compensa passando a risorse rinnovabili [2].

Il termine ecosostenibile o ecocompatibile viene utilizzato anche nel marketing per evidenziare prodotti o servizi che affermano di produrre un impatto ridotto o minimo sull'ecosistema o sull'ambiente.

2.1. Economia Circolare

L'economia circolare è un modello di produzione che consiste nel riutilizzo, riparazione, ricondizionamento e riciclo dei materiali e prodotti esistenti il più a lungo possibile.

In questo modo si può estendere il ciclo di vita dei prodotti, contribuendo a ridurre i rifiuti al minimo. Infatti, una volta che il prodotto ha terminato la sua funzione, i materiali di cui è composto vengono riutilizzati, laddove possibile, con il riciclo. Questo consente di riutilizzarli all'interno del ciclo produttivo generando ulteriore valore.

I principi dell'economia circolare contrastano con il tradizionale modello economico lineare, fondato invece sul tipico schema “estrarre, produrre, utilizzare e gettare”. Il modello economico tradizionale dipende dalla disponibilità di grandi quantità di materiali ed energia facilmente reperibili e a basso prezzo.

Un vantaggio dell'economia circolare è la riduzione delle emissioni annuali totali di gas a effetto serra. Secondo l'Agenzia Europea dell'Ambiente, i processi industriali e l'uso dei prodotti sono responsabili del 9,10% delle emissioni di gas serra nell'UE, mentre la gestione dei rifiuti rappresenta il 3,32%.

Creare prodotti più efficienti e sostenibili fin dall'inizio aiuterebbe a ridurre il consumo di energia e risorse, poiché si stima che oltre l'80% dell'impatto ambientale di un prodotto sia determinato dalle scelte fatte durante la fase di progettazione. Inoltre, un altro vantaggio è rappresentato dal fatto che il passaggio a prodotti più affidabili che possono essere riutilizzati, aggiornati e riparati potrebbe ridurre la quantità di rifiuti [3].

2.2. Ecodesign

Ecodesign ed economia circolare sono due elementi cardine di un modello economico sostenibile. Infatti, come detto precedentemente, una progettazione basata sull'impiego efficiente di risorse e materiali, permette di ridurre l'impatto ambientale legato alla produzione, ma contribuisce anche a ridurre la quantità di rifiuti generati, intervenendo su durabilità, riparabilità, possibilità di aggiornamento e riciclabilità dei prodotti stessi. I principi dell'ecodesign si applicano a tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto, con l'intento di ridurre l'impatto ambientale complessivo: dall'approvvigionamento e impiego delle materie prime, che devono essere biodegradabili o riciclabili e non tossiche; alla loro lavorazione nel processo produttivo e alla distribuzione, che devono rispettare la direttiva dell'UE sull'Ecodesign (Direttiva 2009/125/CE [4]), in termini di efficienza energetica (ridotto consumo energetico nella fasi produttive) e di ridotto impatto ambientale. Anche il consumo del prodotto e la possibilità di riutilizzo concorrono nel definirlo eco e sostenibile: il ciclo di vita del prodotto deve poter essere allungato il più possibile, attraverso il riciclo e/o il riutilizzo dei suoi componenti. In alternativa il prodotto dovrà risultare biodegradabile al 100% [5] .

Ad oggi molte aziende hanno riconosciuto l'importanza dell'impatto ambientale dei loro prodotti ed hanno iniziato a progettarli tenendo conto delle possibili conseguenze sull'ambiente. Questo ha richiesto l'identificazione dei principali problemi ambientali relativi al prodotto durante l'intero ciclo di vita. Per fare ciò molte imprese ed organizzazioni hanno sviluppato metodi e strumenti per aiutare l'industria a raggiungere obiettivi di ecosostenibilità.

2.3. Obiettivi ambientali: contesto attuale

Nell'ambito dell'ecosostenibilità a livello internazionale una delle maggiori organizzazioni che ha sollecitato un'azione da parte della comunità internazionale è l'O.N.U. con la sua 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. Tale progetto ingloba 17 Obiettivi (vedi Figura 1) per lo Sviluppo Sostenibile in un grande programma d'azione per un totale di 169 traguardi. L'avvio ufficiale degli Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile ha coinciso con l'inizio del 2016, guidando il mondo sulla strada da percorrere nell'arco dei prossimi 15 anni: i Paesi, infatti, si sono impegnati a raggiungerli entro il 2030.



Figura 1 - Logo agenda 2030

Sempre a livello internazionale il concetto più ampio di efficienza delle risorse è stato affrontato in numerose iniziative e ambiti quali OCSE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico), UNEP-IRP (United Nations Environment Programme – International Resource Panel), G7 e G20 [6].

A livello di legislatura, all'interno dell'Unione Europea è stato creato il Green Deal [7], che si prefigge di trasformare l'UE in un'economia moderna, efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva, garantendo che:

- nel 2050 non siano più generate emissioni nette di gas a effetto serra;
- la crescita economica venga dissociata dall'uso delle risorse.

La Commissione Europea ha adottato una serie di proposte per trasformare le politiche dell'UE in materia di clima, energia, trasporti e fiscalità in modo da ridurre le emissioni nette di gas a effetto serra di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990. Nell'ambito energetico la Commissione propone di portare al 40% l'obiettivo vincolante delle energie rinnovabili nel mix energetico dell'UE ed entro il 2030 una riduzione complessiva del 36-39 % del consumo di energia finale e primaria [8].

Nel contesto italiano si ha il Piano Nazionale di Transizione Ecologica [9], il quale si prefigge di attuare gli obiettivi del Green Deal in Italia (vedi Figura 2).

Più precisamente, le tematiche delineate e trattate nel Piano sono suddivise in:

1. Decarbonizzazione,
2. Mobilità sostenibile,
3. Miglioramento della qualità dell'aria,
4. Contrasto al consumo di suolo e al dissesto idrogeologico,
5. Miglioramento delle risorse idriche e delle relative infrastrutture,
6. Ripristino e rafforzamento della biodiversità,
7. Tutela del mare,
8. Promozione dell'economia circolare, della bioeconomia e dell'agricoltura sostenibile.

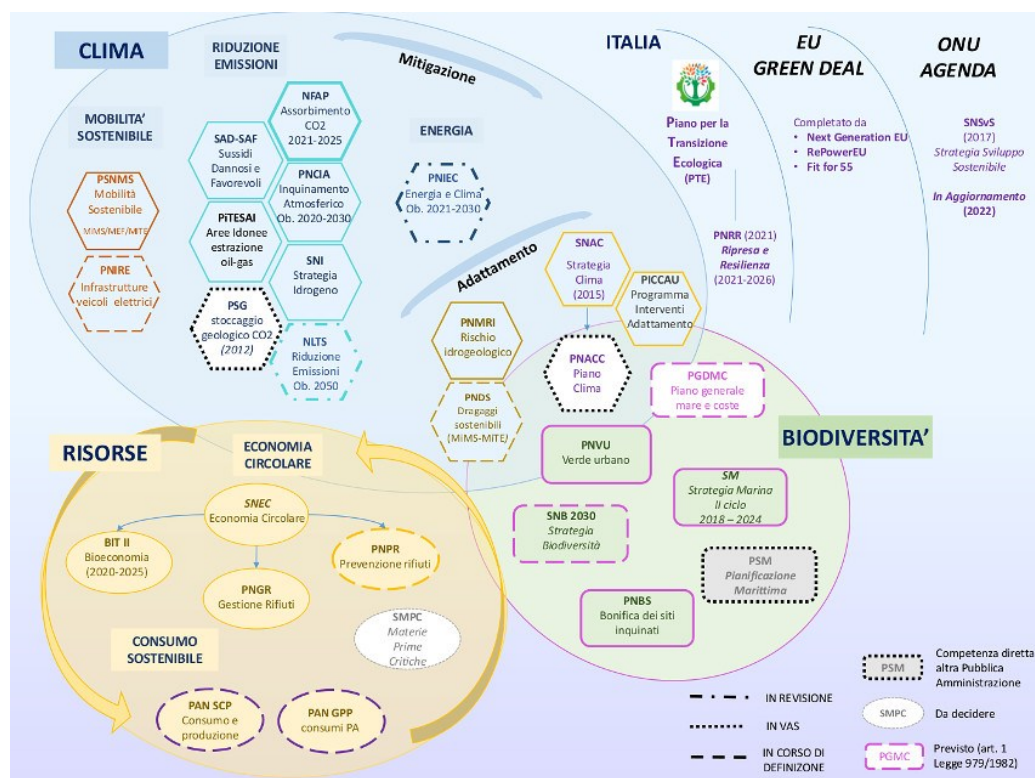


Figura 2 - Riassunto del Piano per la Transizione Ecologica

2.4. Analisi LCA

Il Life Cycle Assessment (LCA) è una metodologia analitica e sistematica che valuta l'impronta ambientale di un prodotto o di un servizio, lungo il suo intero ciclo di vita “dalla culla alla tomba” oppure, in una più corretta logica di circolarità, "dalla culla alla culla".

Il calcolo spazia infatti dalle fasi di estrazione delle materie prime che costituiscono il prodotto, alla sua produzione, distribuzione, uso e dismissione finale, restituendo i diversi valori di impatto ambientale associati al suo ciclo di vita.

Ugualmente, tramite le tecniche di LCA, si può calcolare l'impronta ambientale di un servizio, contabilizzando l'impronta di tutto ciò che serve per la sua erogazione.

Al termine dei calcoli, il valore di impronta ambientale di un prodotto/servizio viene così restituito secondo diverse “categorie di impatto”, che rappresentano tutti i diversi impatti che lo stesso genera nei vari comparti ambientali.

Una delle categorie di impatto considerate è l'aumento dell'effetto serra antropogenico (Global Warming Potential - 100 years), misurato sulla base della quantità di emissioni di CO_2eq in atmosfera generate dai consumi di energia e materie prime all'interno del ciclo vitale di un prodotto o di un servizio. In questo modo è possibile identificare le fasi più critiche dal punto di vista ambientale, consentendo così all'impresa di intervenire per migliorare il processo produttivo. L'analisi LCA può essere eseguita in qualsiasi punto del ciclo produttivo, in particolar modo durante la fase di ecodesign.

A livello internazionale la metodologia LCA è regolamentata dalle norme ISO della serie 14040 [10] [11], in base alle quali uno studio di Life Cycle Assessment (LCA) viene strutturato sulla base delle seguenti fasi di lavoro:

- definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dell'analisi (ISO 14041),
- compilazione di un inventario degli input e degli output di un determinato sistema (ISO 14041),
- valutazione del potenziale impatto ambientale correlato a tali input e output (ISO 14042),
- interpretazione dei risultati (ISO 14043).

Nello specifico la fase di definizione dell'obiettivo consiste innanzitutto nel definire la motivazione e il contesto dello studio, il tipo di pubblico a cui è

destinata l'analisi e l'applicazione che si intende perseguire, mentre per definire il campo di applicazione del lavoro occorre identificare e analizzare i seguenti aspetti:

- Il sistema o i sistemi da analizzare.
- La funzione del sistema e dell'unità funzionale oggetto di studio, per identificarne gli aspetti qualitativi e quantitativi. Tale funzione è l'unità di riferimento per tutti i dati in ingresso e in uscita;
- Il confine del sistema, che consiste nell'individuare le fasi e i processi da includere nell'analisi. Analisi svolte sullo stesso sistema con confine differente, infatti, conducono a risultati diversi e non confrontabili. Un'analisi del ciclo di vita deve tradizionalmente includere tutte le fasi: dall'acquisizione delle materie prime sino al trattamento al termine della vita utile.
- Le modalità di gestione dei casi di multifunzionalità, che richiede una precisa gerarchia di applicazione dei diversi approcci utilizzabili. In un processo produttivo caratterizzato dalla produzione di diversi prodotti, ad esempio, è necessario prendere in considerazione i soli input e output associati alla singola funzione di interesse.
- Le categorie di impatto e i rispettivi metodi da utilizzare per la valutazione degli impatti, la cui analisi è indispensabile ad assicurare che la loro scelta non sia influenzata dai risultati dello studio. La scelta di tali categorie deve essere coerente con l'obiettivo della ricerca e va effettuata in modo tale da comprendere tutti i possibili effetti del sistema analizzato sull'ambiente. Le categorie possono fare riferimento ai materiali e alle risorse consumate dal sistema (ad esempio l'impoverimento delle risorse minerali, fossili o idriche e il consumo di suolo) o riferirsi agli impatti causati dall'emissione di sostanze nell'ambiente.
- La qualità dei dati, infine, è l'ultimo aspetto da considerare durante la fase di definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione. Infatti, è necessario che i dati da utilizzare siano rappresentativi (in termini tecnologici, spaziali e temporali) del sistema oggetto di analisi e appropriati in termini di completezza e incertezza. È preferibile utilizzare dati primari specifici dei processi analizzati e solo in assenza di questi è possibile fare riferimento a dati secondari.

La fase di analisi dell'inventario prevede la raccolta e l'acquisizione dei dati e la conseguente creazione del modello del sistema oggetto di analisi da svolgere, in accordo con quanto definito nella fase precedente. Questa è tipicamente la fase che richiede i maggiori sforzi di tutta l'analisi e consente di verificare i limiti dello studio.

La fase della valutazione dell'impatto prende i dati e le informazioni ottenute dalla fase di analisi dell'inventario e ne valuta i potenziali danni sull'ambiente e sulla salute umana. Questa fase si suddivide in due fasi principali: la fase di classificazione, che prevede l'assegnazione di ciascun flusso elementare (risultato dell'analisi di inventario) alla o alle rispettive categorie di impatto, in funzione degli effetti che può provocare sull'ambiente e quella di caratterizzazione, che permette il calcolo dei risultati dell'indicatore di categoria. Dopo la classificazione, occorre calcolare l'impatto totale come somma dei singoli effetti potenziali valutati tramite un fattore di conversione (cosiddetto fattore di caratterizzazione) associato ad ogni sostanza che permette di esprimere i diversi contributi con un riferimento comune.

Si passa, infine, alla fase di interpretazione, che consiste nella realizzazione di una valida correlazione tra i risultati dell'analisi di inventario e della valutazione degli impatti per proporre utili raccomandazioni in conformità con gli scopi e gli obiettivi dello studio. Questa fase comprende l'identificazione dei punti critici ovvero un'analisi dei contributi più rilevanti dei potenziali impatti che permette ad esempio di valutare la necessità di incrementare la qualità dei dati così come di individuare gli aspetti su cui focalizzarsi per migliorare le prestazioni del sistema. Successivamente all'identificazione dei punti critici si ha la fase di valutazione in cui si valuta l'inventario in termini di completezza, affidabilità dei risultati e controllo sulla coerenza con l'obiettivo di valutazione dei dati (vedi Figura 3) [12].

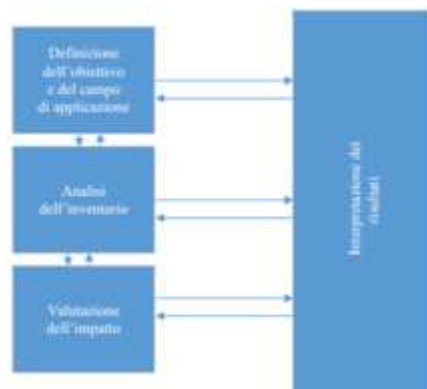


Figura 3 - Schema fasi analisi LCA

Per l'analisi LCA si ricorre all'utilizzo di software e banche dati; questi sono strumenti che consentono di modellare il prodotto in modo parametrico e flessibile; questi programmi hanno determinati indicatori di impatto che vengono calcolati sulla base del modello costruito. Tra i vari software per l'analisi LCA, uno dei più famosi e utilizzati è il SimaPro realizzato su commissione del governo dei Paesi Bassi. Questo programma utilizza numerosi database europei in modo da avere un ampio campionamento di processi e materiali ed offrire una

modellazione degli impatti del prodotto che si vuole prendere in esame la più precisa possibile. Tra i database presenti su SimaPro, uno dei più utilizzati è Ecoinvent 3.6 sviluppato dallo “Swiss Center for Lyfe Cycles Inventories” ed è proprio quello impiegato per la realizzazione di questa tesi. Il programma oltre che selezionare i dati dai vari database, permette anche di modificare e inserire direttamente i valori che dovessero rendersi necessari. Sono anche disponibili diverse tipologie di valutazione dei danni ambientali, le quali sono:

- ReCiPe
- CML 2 baseline
- CML 2001
- EPD
- (EF) Enviromental Footprint

Per l’analisi di studio qui proposta si è usata la valutazione Enviromental Footprint 3.0. [13]



Figura 4 - Logo del programma analisi LCA SimaPro

2.5. Limiti dell'analisi LCA

Il principale limite dell'analisi LCA è la scarsa applicabilità nel campo degli impatti locali. Gli indici che si utilizzano sono, infatti, prevalentemente su scala globale o comunque molto ampia.

Un altro problema che l'analisi LCA presenta è che non tiene conto dell'attività industriale di per sé, ma soltanto dei processi e delle materie prime utilizzati.

Oltre a tali limiti si deve anche tenere in considerazione il fatto che essendo la valutazione degli impatti basata sui dati raccolti, la loro qualità incide profondamente sui risultati ottenuti. Qualora non fossero disponibili dati diretti, infatti, occorre fare ricorso a quelli già presenti su database, che però potrebbero non essere particolarmente adeguati al sistema che si intende analizzare.

Un ulteriore e importante limite dell'LCA, infine, è dato dal fatto che non dà alcuna valutazione sulla qualità ed economicità del prodotto analizzato.

3. Caso di Studio: impatti ambientali valvola settore oil&gas

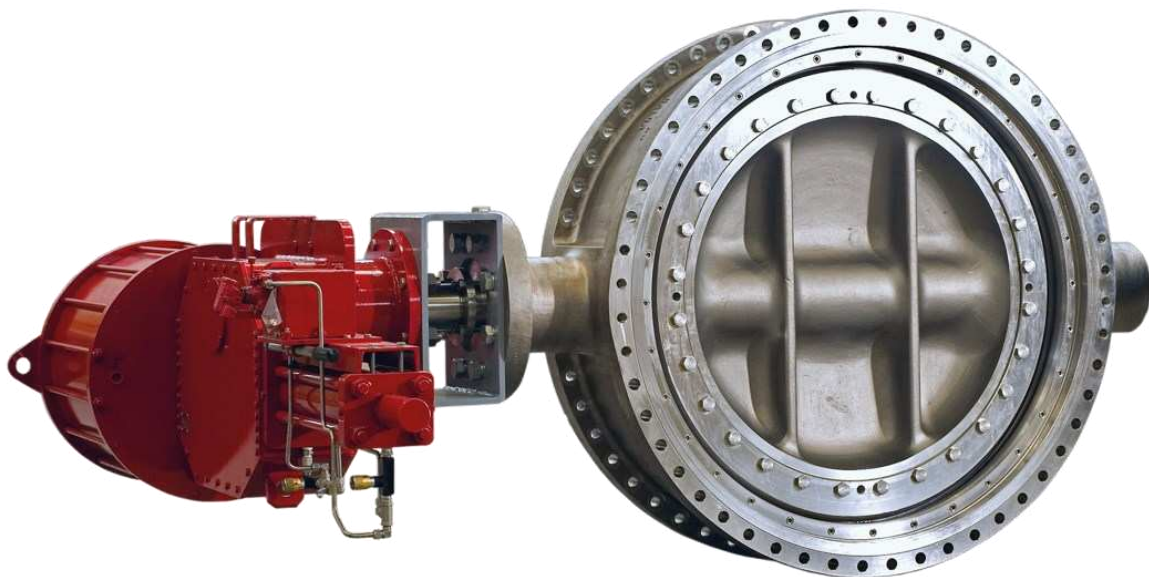


Figura 5 - Valvola

L'obiettivo del caso di studio consiste nell'analizzare gli impatti ambientali della valvola di diametro 8" (vedi Figura 5), impiegata nel settore oil&gas, con un programma di analisi LCA già in commercio e confrontare i dati così ottenuti con quelli ricavati con modelli matematici al fine di realizzare, su commissione dell'azienda stessa, un programma di analisi LCA appositamente modellato ai prodotti dell'impresa IMI Orton. Il confronto tra i dati, quindi, ha il duplice scopo di verificare l'affidabilità di questi ultimi e, di conseguenza, dei modelli matematici usati per generarli e di verificare il vantaggio per l'impresa nell'utilizzo di un programma LCA appositamente creato per il suo catalogo, rispetto a quelli comunemente già in commercio.

L'analisi LCA è stata effettuata utilizzando tre diversi gradi di dettaglio e, nello specifico:

- “*General*”, che consiste nell'utilizzo del database con i dati più generici possibili,
- “*Manufacturing Details*”, che consiste nell'utilizzo del database con alcuni indicatori personalizzati a livello statale,

- “*Customized Dataset*”, simile a quello precedente ma con indicatori specifici dell’esatta posizione dello stabilimento.

Per quanto riguarda l’analisi effettuata con il programma SimaPro v9.1, è stato utilizzato il metodo Enviromental Footprint 3.0 e il database “Ecoinvent 3.6 allocation cut-off by allocation”.

I parametri scelti per la modellazione sono stati: Climate Change espresso in [Kg CO₂ eq], Non-cancer human health effects espresso in [CTUh], Cancer human health effects espresso in [CTUh], Resource use, energy carriers espresso in [MJ], Resource use, minerals and metals espresso in [Kg Sb eq] ed Ecotoxicity freshwater espresso in [CTUe].

Le fasi selezionate per l’analisi sono state: il trasporto delle materie prime, la produzione nello stabilimento di Orton e il trasporto del prodotto. Non si sono considerati i consumi della fase d’uso perché molto piccoli e trascurabili e non si è considerato lo smaltimento perché essendo un prodotto con una lunga vita e distribuito in diversi paesi del mondo con regole e metodi di smaltimento diversi, non è stato possibile delineare con esattezza la fine vita del prodotto.

Il lavoro è stato suddiviso in una prima fase nella quale i dati forniti dall’impresa sono stati inseriti su SimaPro ed è stata effettuata la modellazione nei tre gradi di dettaglio sopra descritti. Successivamente sono stati estratti i valori e inseriti in un foglio Excel. A questo punto sono stati aggiunti i dati del trasporto non inclusi nella modellazione di SimaPro. Si è proceduto infine ad estrarre i grafici comparativi dei valori nei suddetti tre gradi di dettaglio con quelli ottenuti con i modelli matematici appositamente costruiti per l’impresa.

L’obiettivo del confronto era quello di verificare l’affidabilità dei dati ricavati dai modelli matematici con quelli presi dal programma e, inoltre, di evidenziare le differenze tra i dati ottenuti da SimaPro e quelli ricavati indipendentemente.

3.1. L'impresa: IMI Critical Engineering



Figura 6 - Logo IMI Critical Engineering

IMI critical è un'azienda internazionale con sede a Birmingham nel Regno Unito. La famiglia di aziende specializzate di IMI Critical progetta, produce e assiste valvole e attuatori su misura che controllano con precisione il flusso di vapore, gas e liquidi in condizioni estreme di pressione e temperatura, nonché in condizioni operative intensamente abrasive o corrosive. Le valvole IMI sono presenti in tutto il mondo in moltissimi impianti, dall'ambito della produzione di petrolio e gas, all'ambito energia, dai prodotti petrolchimici e metallici a quelli farmaceutici e cosmetici, includendo alimenti e bevande, acqua e servizi igienici, paste di legno e carta, etanolo e zucchero. I prodotti IMI sono utilizzati anche su navi e sottomarini. [14]

Fondata nel 1927 come Imperial Chemical Industries (ICI), dall'unione di quattro società fondatrici, tre delle quali sono Kynoch, Eley e Nobel Industries, il sito di Birmingham è diventato la sede centrale e la principale base produttiva di ICI Metals Division. La moderna IMI ha iniziato la sua vita a Birmingham nel 1962 quando, in occasione del centenario della fondazione dell'azienda originaria, la società è stata rinominata IMI Ltd. Le ambizioni e l'identità distinta di IMI hanno portato alla quotazione in borsa nel 1966, con la società madre ICI che ha mantenuto una partecipazione di maggioranza fino al 1978 quando ICI ha venduto la sua quota rimanente e IMI è diventata una società pubblica completamente indipendente. Nel 2003, IMI si è trasferita nella nuova sede internazionale di Lakeside - Birmingham Business Park, comoda per i rapidi collegamenti internazionali offerti dal vicino aeroporto di Birmingham. Negli ultimi anni, IMI Plc ha concentrato la propria attività su tre divisioni operative, IMI Critical Engineering, IMI Precision Engineering e IMI Hydronic

Engineering. Attualmente l'impresa si sta concentrando su un miglioramento della sicurezza negli ambiti di lavoro più rischiosi e in una diminuzione degli impatti ambientali dei suoi prodotti. [15]

La valvola presa in considerazione per questa tesi è stata prodotta dallo stabilimento di IMI Orton, Italia.

3.2. Valvola



Figura 7 - Logo IMI Orton

Le valvole come quella analizzata sono utilizzate per applicazioni critiche ad alta pressione, a chiusura ermetica, ad alta temperatura o criogeniche e per la strozzatura e l'isolamento in impianti critici ad alta pressione. I fattori chiave di questo tipo di valvole sono il design a triplo eccentrico IMI Orton, che elimina l'attrito tra l'anello di tenuta del disco e la sede nel corpo, evitando così l'usura e le conseguenti perdite. Il risultato è una valvola con una vita utile più lunga, in cui tutti gli elementi di tenuta (anello di tenuta sul disco e disco, anello di tenuta sul corpo) sono completamente sostituibili con la valvola in linea. Altre caratteristiche importanti di questa valvola sono la facile manutenzione in linea, l'albero e il disco in un unico pezzo, che garantiscono migliore capacità di flusso e riducono la perdita di pressione.

Le tipiche applicazioni di questa valvola sono: impianti di liquefazione del "LNG", sistemi di carico delle navi metaniere, terminali di rigassificazione per la ricezione di LNG e strutture di supporto a terra per il settore aerospaziale. [16]

3.3. Dati di Studio e Analisi di quest'ultimi

In questo capitolo ci si prefigge lo scopo di analizzare i dati ottenuti da SimaPro con i “Primary data” ricavati dai modelli matematici appositamente creati dall'università.

3.3.1. Confronto generale

Si procede a confrontare i vari dati per tipo di indicatore e grado di dettaglio, escludendo i consumi legati al trasporto. I dati sono suddivisi oltre che per i diversi gradi di dettaglio anche per i componenti, in modo da poter evidenziare quali siano le componenti con i maggiori impatti. I risultati sono riportati in: Figura 8, Figura 9, Figura 10, Figura 11, Figura 12, Figura 13.

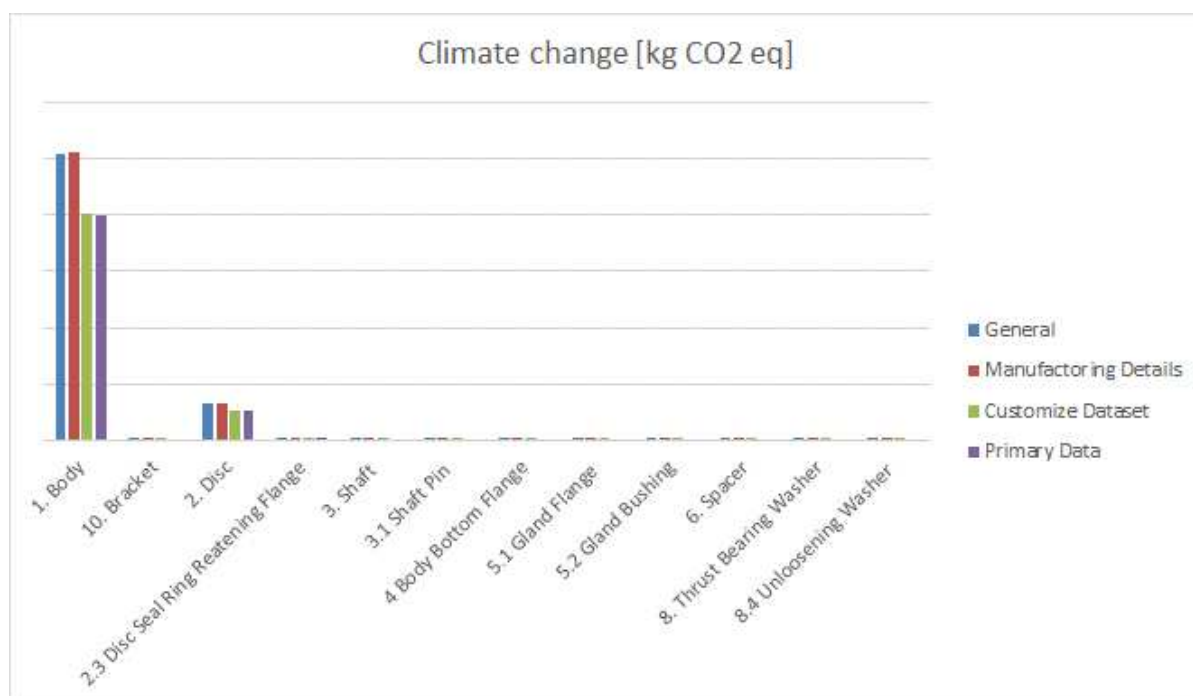


Figura 8 – Climate Change

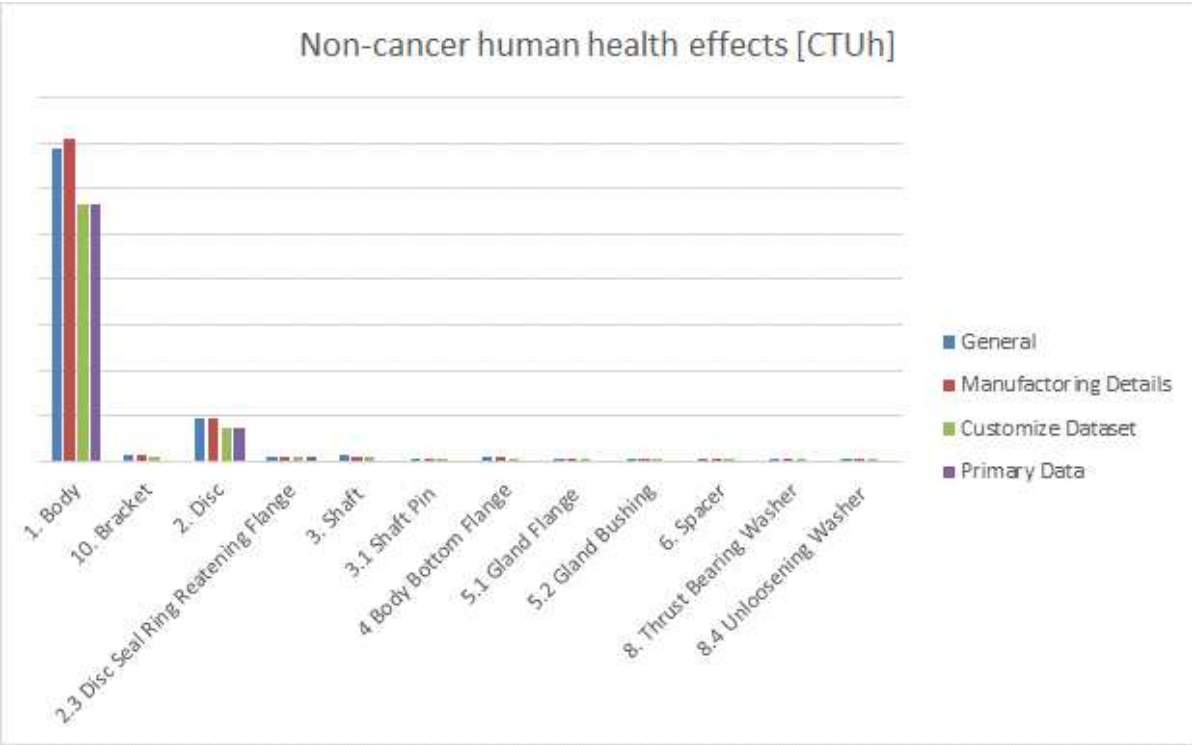


Figura 9 - Non-Cancer Human Health Effects

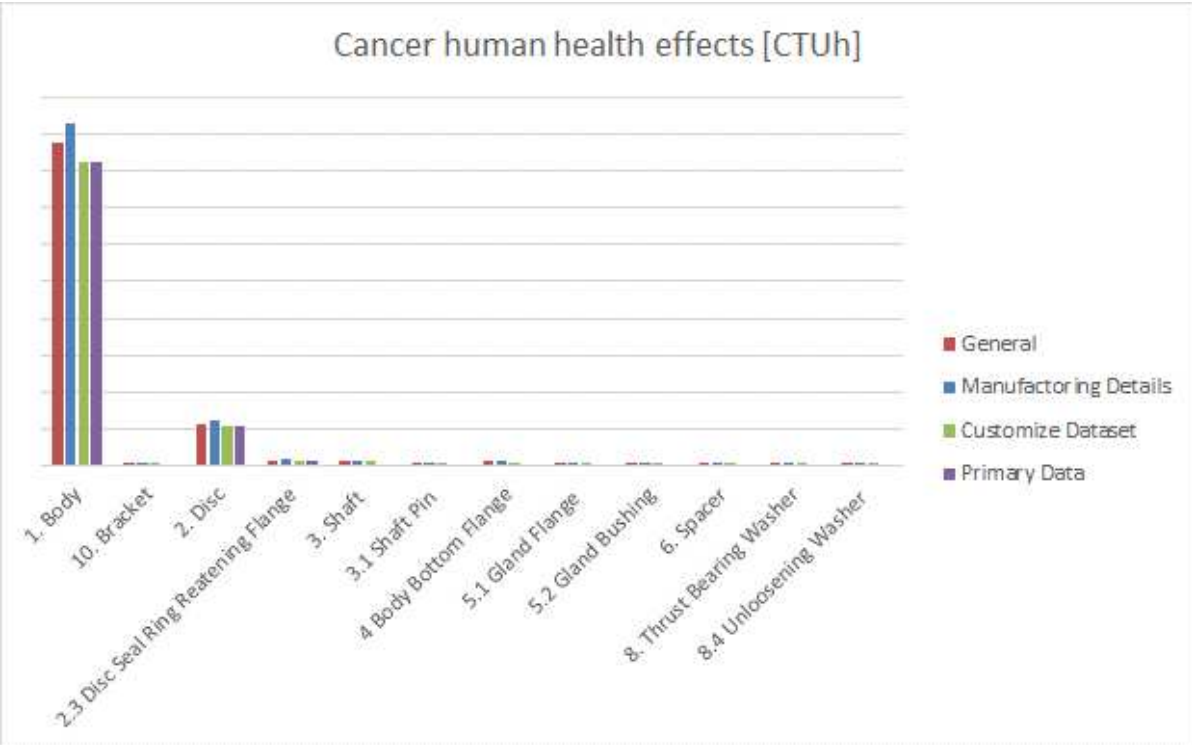


Figura 10 - Cancer Human Health Effects

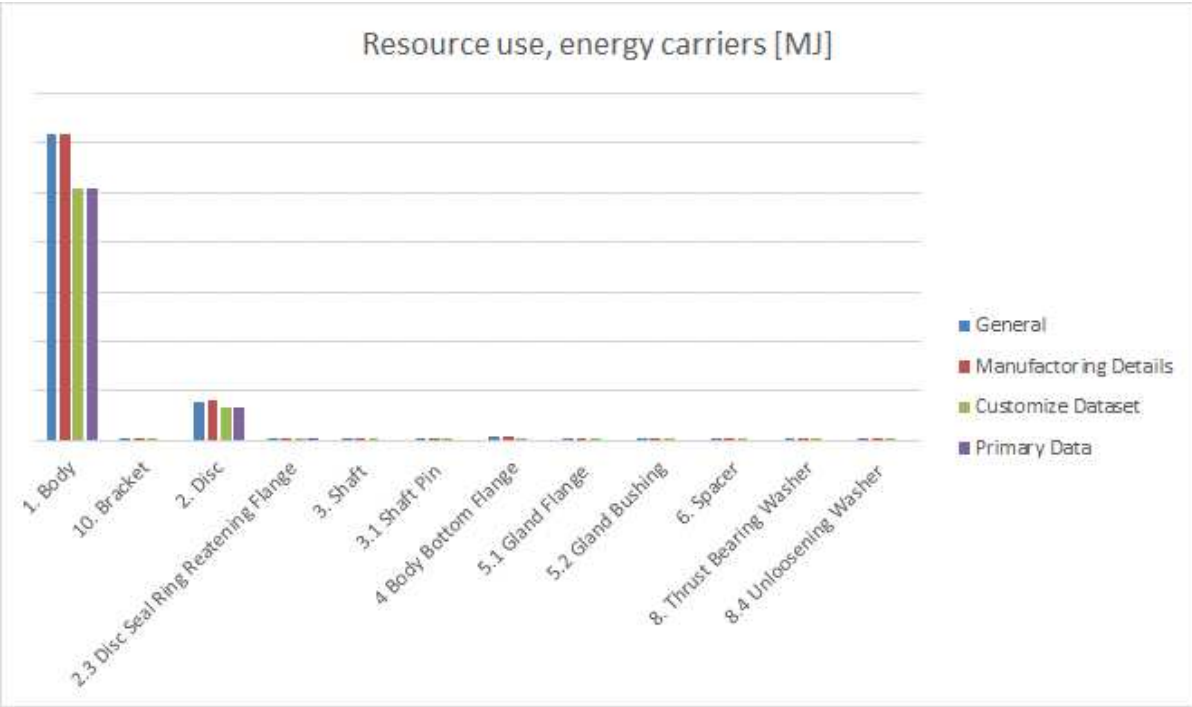


Figura 11 - Resource Use, energy carries

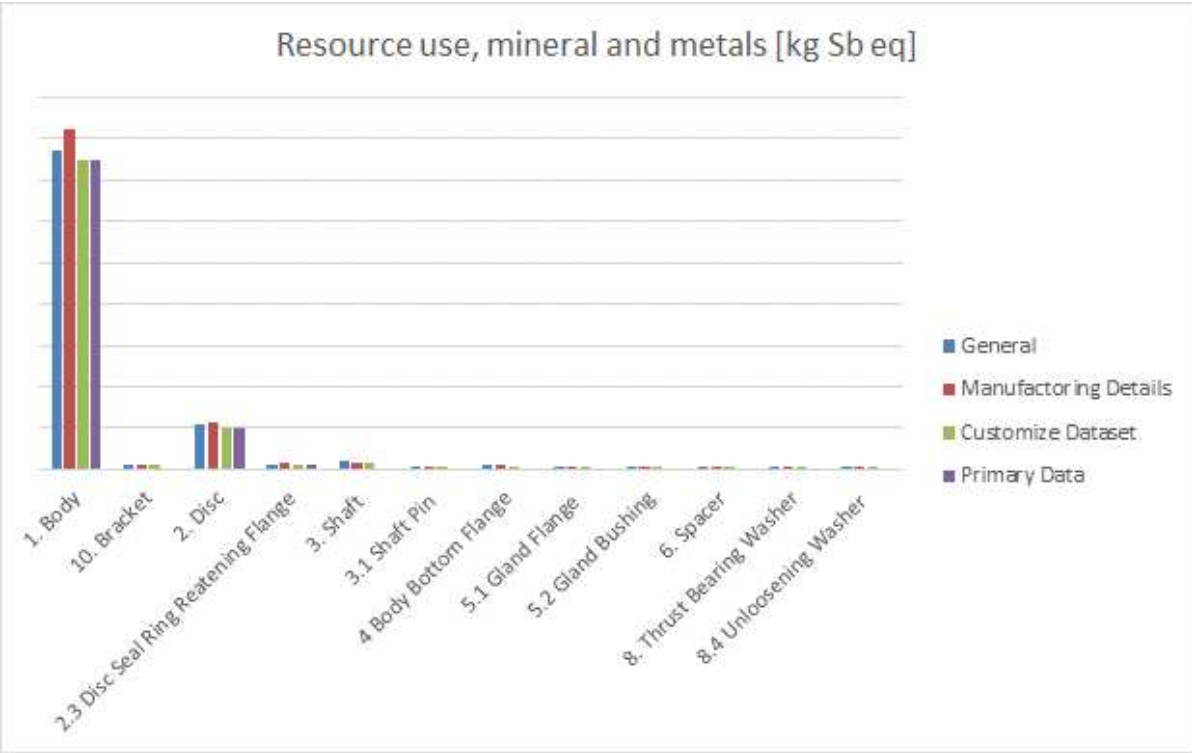


Figura 12 - Resource Use, Minerals and Metals

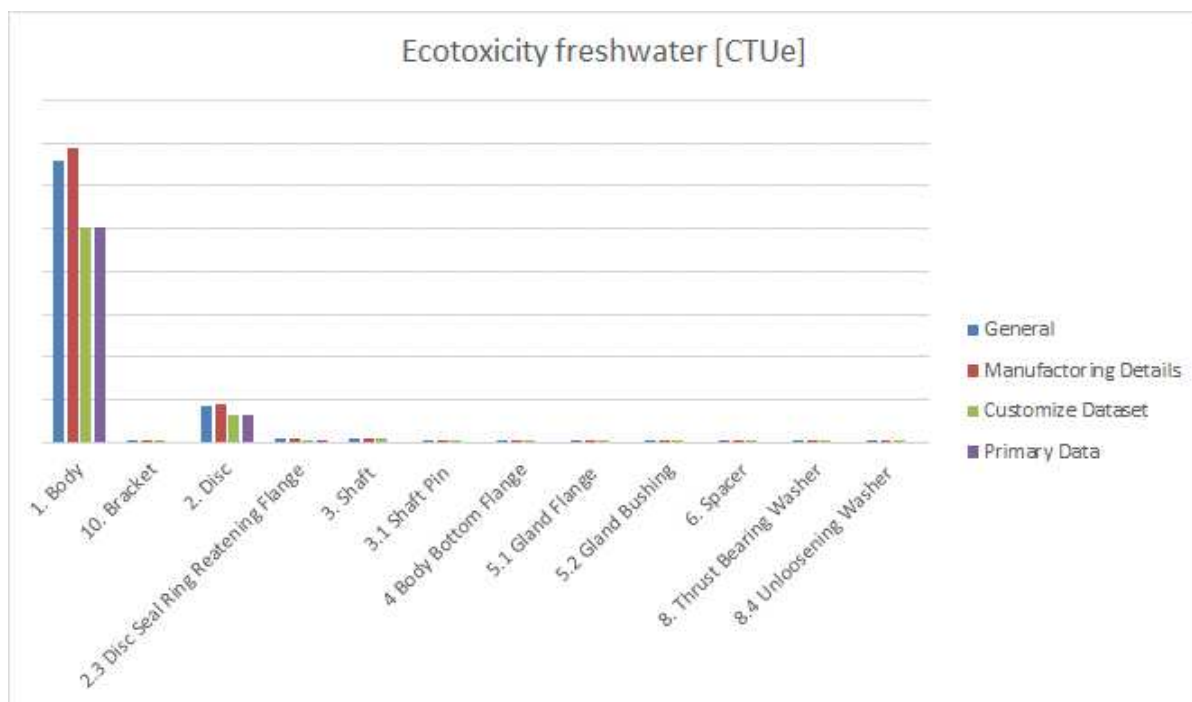


Figura 13 - Ecotoxicity Freshwater

Da questi dati si può evincere che le componenti con maggiori impatti ambientali sono il Body il Disc ed il Seal Ring Reatening Flange. Inoltre, confrontando i Primary data con i Customized Dataset si ottengono i seguenti rapporti (vedi Tabella 1).

Rapporto Customized Dataset su Primary Data			
	1. Body	2. Disc	2.3 Disc Seal Ring
Climate Change [Kg Co2 eq]	-0,5%	1,1%	2,2%
Non-cancer human health effects [CTUh]	-0,5%	-0,3%	-0,6%
Cancer human health effects [CTUh]	-0,1%	0,0%	-0,1%
Resurce use, energy carries [MJ]	-0,1%	2,2%	6,7%
Resurce use, minerals and metals [Kg Sb eq]	0,0%	1,0%	1,3%
Ecotoxicity freshwater [CTUe]	-0,6%	-0,6%	-1,5%

Tabella 1 - Rapporto Customized Dataset su Primary Data

Rapporto Customized Dataset su Primary Data			
	1. Body	2. Disc	2.3 Disc Seal Ring
Climate Change [Kg Co2 eq]	-0,5%	1,1%	2,2%
Non-cancer human health effects [CTUh]	-0,5%	-0,3%	-0,6%
Cancer human health effects [CTUh]	-0,1%	0,0%	-0,1%
Resource use, energy carriers [MJ]	-0,1%	2,2%	6,7%
Resource use, minerals and metals [Kg Sb eq]	0,0%	1,0%	1,3%
Ecotoxicity freshwater [CTUe]	-0,6%	-0,6%	-1,5%

Dall'analisi di tali rapporti si può dedurre che i "primary data" hanno valori verosimili data la loro somiglianza con i "customized dataset" ovvero il grado di dettaglio più preciso che abbiamo ottenuto da SimaPro.

3.3.2. Confronto con Trasporto

Si procede quindi ad effettuare un confronto con gli stessi parametri di quello precedente ma aggiungendo i consumi legati al trasporto. Tali consumi, essendo stati calcolati direttamente dall'Università, non sono stati presi in considerazione secondo diversi gradi di dettaglio ma solo come "primary data". Per il trasporto si tengono in considerazione il trasporto delle materie prime e dei semilavorati e il trasporto esterno. Solo per semplificazione, avendo molteplici trasporti esterni, si tengono in considerazione soltanto il caso migliore e il caso peggiore. Il calcolo per i consumi legati ai trasporti esterni è stato effettuato secondo la formula $Massa * Distanza * Impatto\ unitario\ relativo\ all'indice\ interessato$.

Gli impatti ambientali per i vari tipi di trasporto sono (vedi Tabella 2):

Tabella 2 - Impatto ambientale Unitario per differenti mezzi di trasporto

Unitary Impact for different Transports			
	Truck	Container Ship	Air
Climate change	3,81E-04	9,44E-06	3,81E-04
Non-cancer human health effects	4,13E-11	3,92E-13	4,13E-11
Cancer human health effects	5,52E-13	1,15E-13	5,52E-13
Ecotoxicity freshwater	8,00E-05	2,82E-06	8,00E-05
Resource use, energy carriers	5,35E-03	1,20E-04	5,35E-03
Resource use, mineral and metals	3,20E-10	7,26E-11	3,20E-10

Si può quindi dedurre che il trasporto con i maggiori impatti ambientali è quello aereo.

I grafici degli impatti ambientali considerando anche i trasporti sono quelli riportati in Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23, Figura 24, Figura 25.

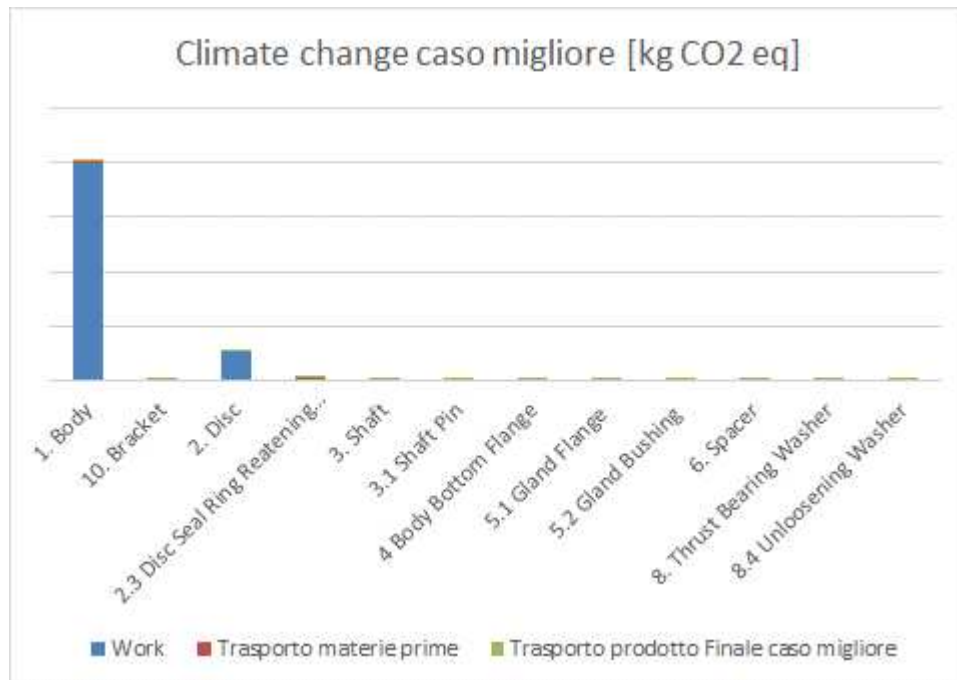


Figura 14 - Climate Change, Primary Data, con trasporti caso migliore

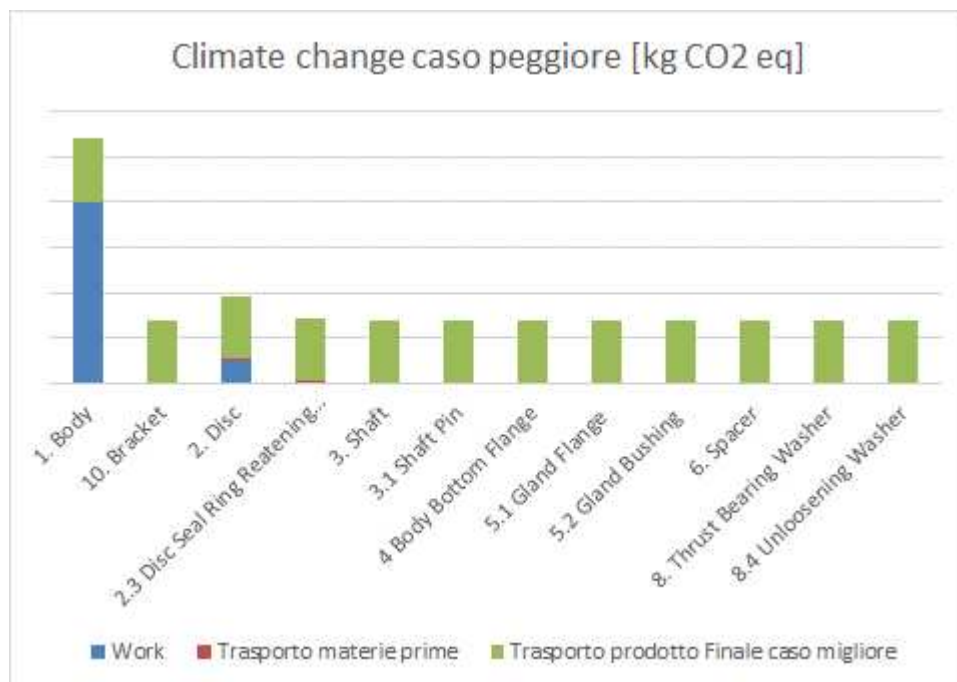


Figura 15 - Climate Change, Primary Data, con trasporti caso peggiore

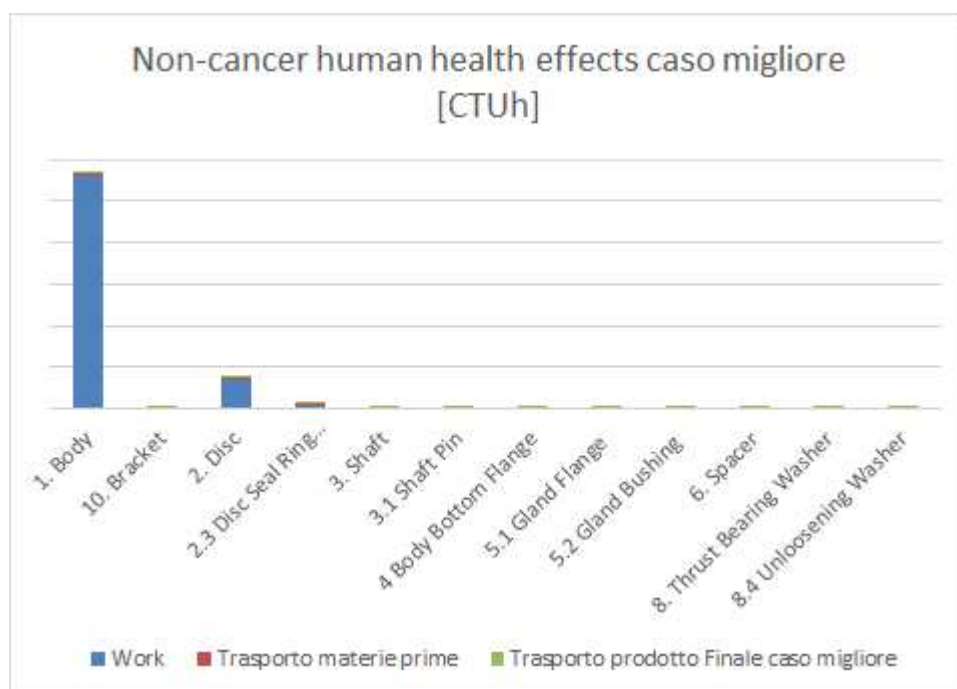


Figura 16 - Non Cancer Human Health Effects, Primary Data, con trasporti caso migliore

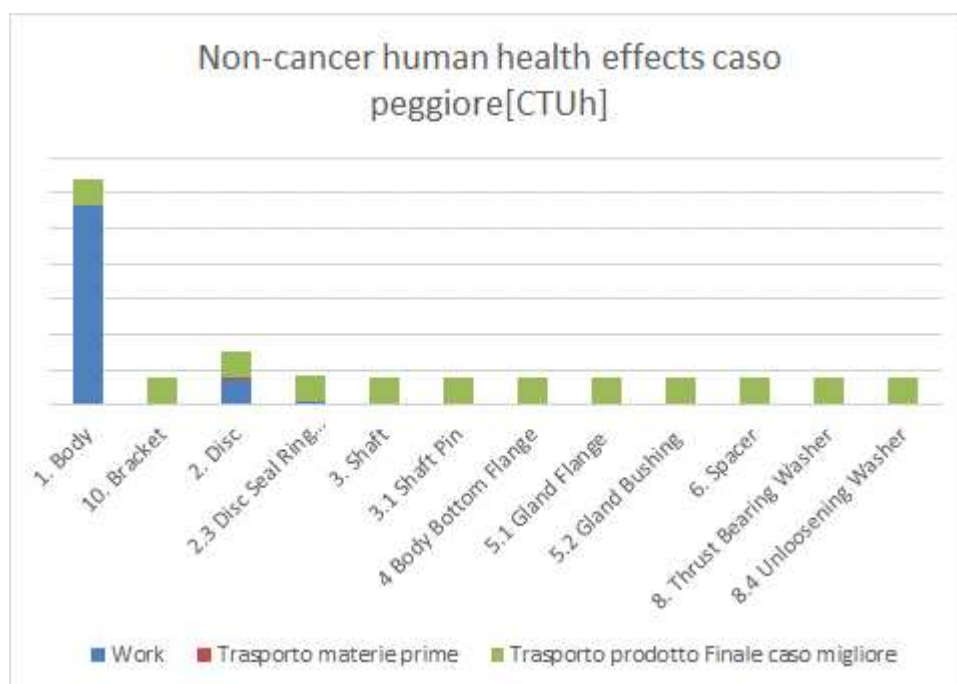


Figura 17 - Non Cancer Human Health Effects, Primary Data, con trasporti caso peggiore

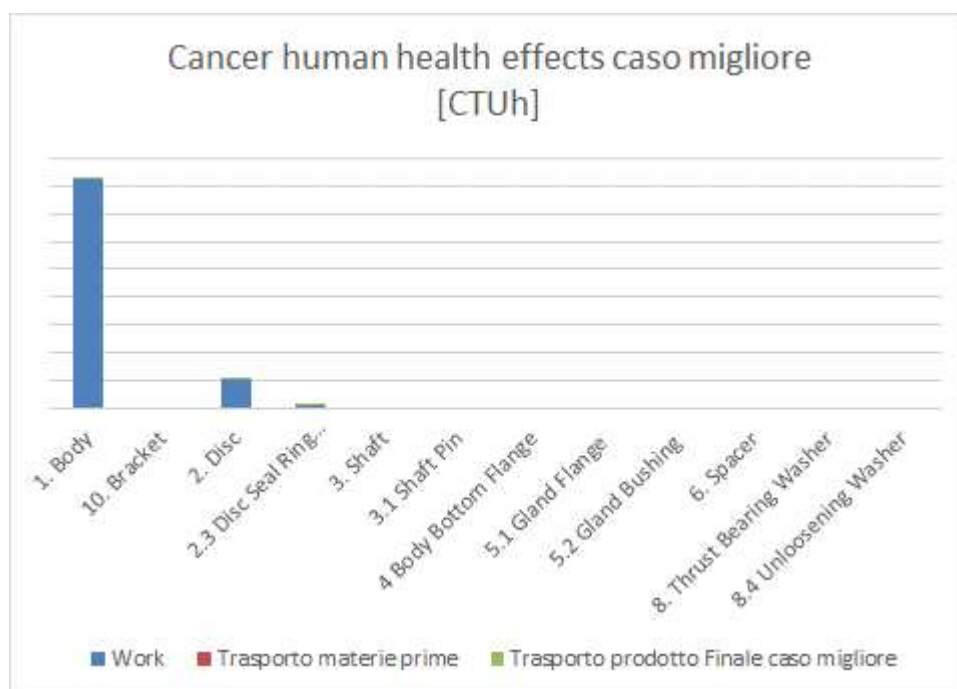


Figura 18 - Cancer Human Health Effects, Primary Data, con trasporti caso migliore

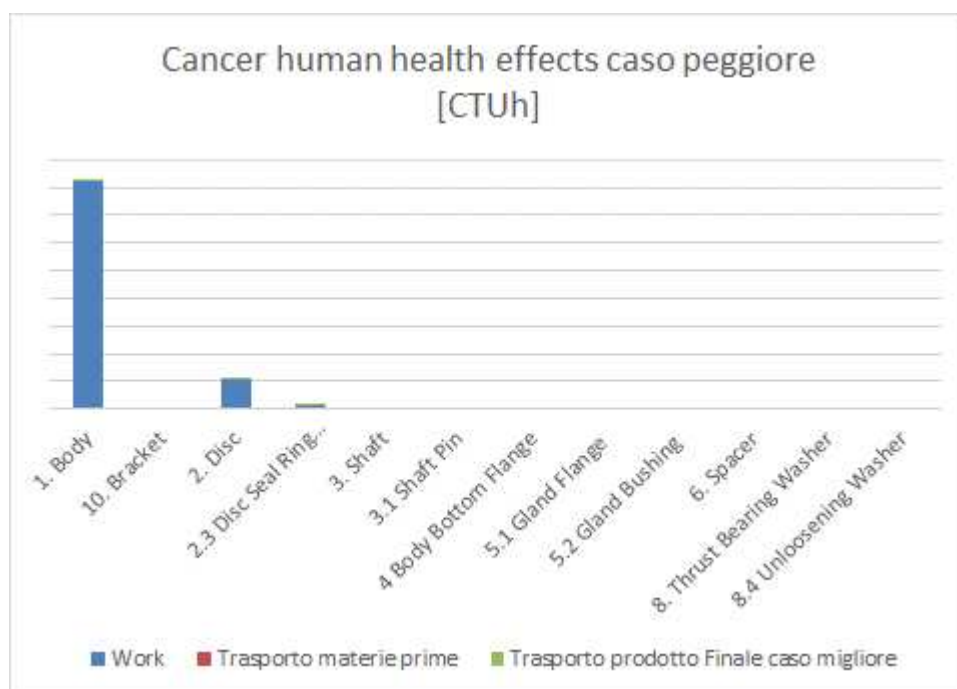


Figura 19 - Cancer Human Health Effects, Primary Data, con trasporti caso peggiore

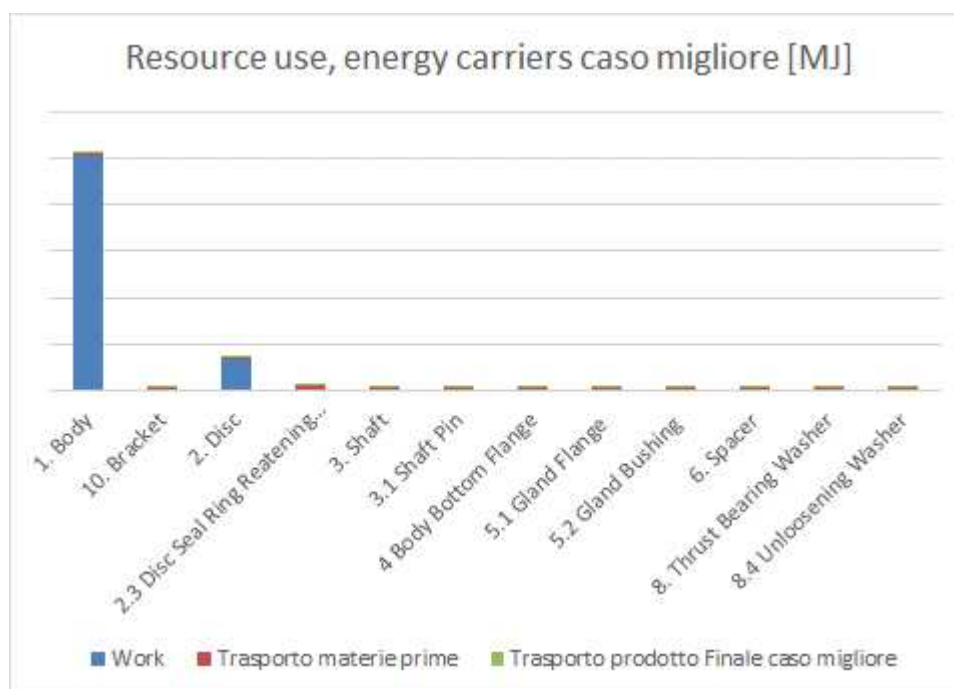


Figura 20 - Resource Use, Energy Carriers, Primary Data, con trasporti caso migliore

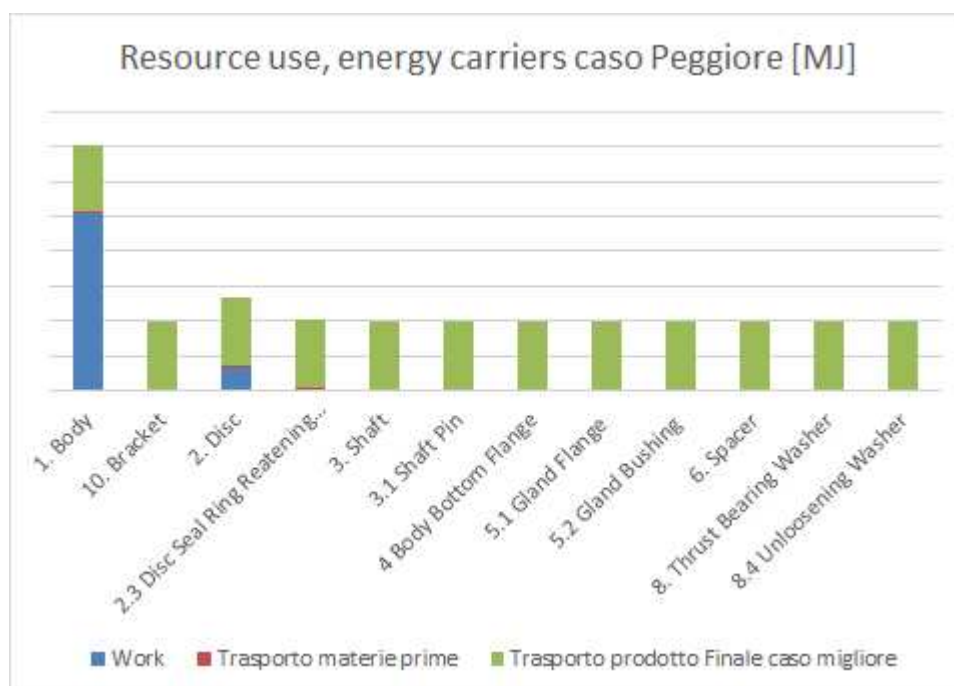


Figura 21 - Resource Use, Energy Carriers, Primary Data, con trasporti caso peggiore

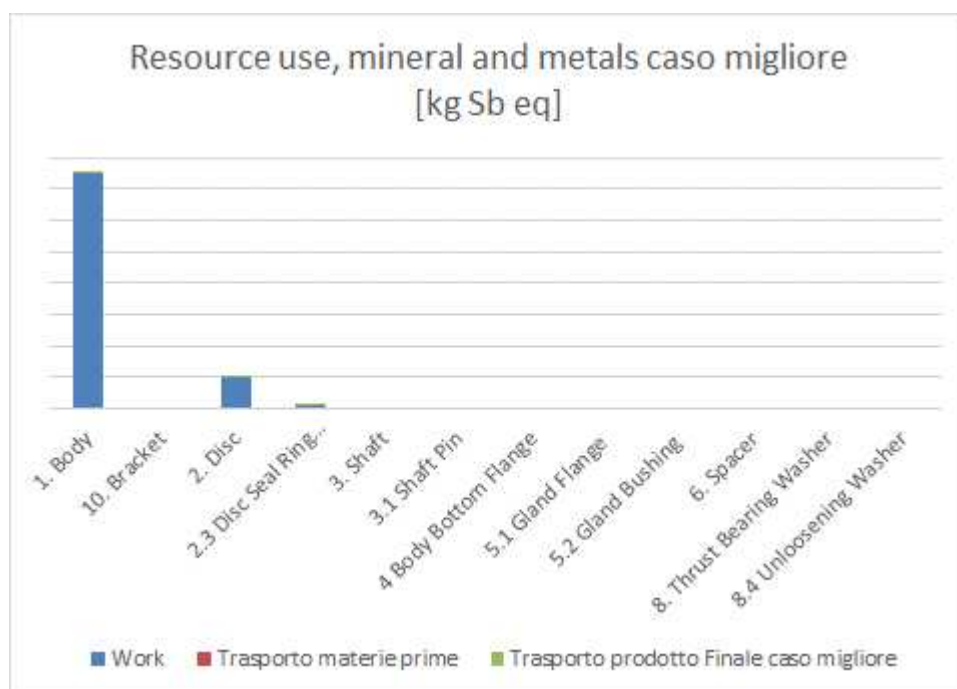


Figura 22 - Resource Use, Mineral and Metals, Primary Data, con trasporti caso migliore

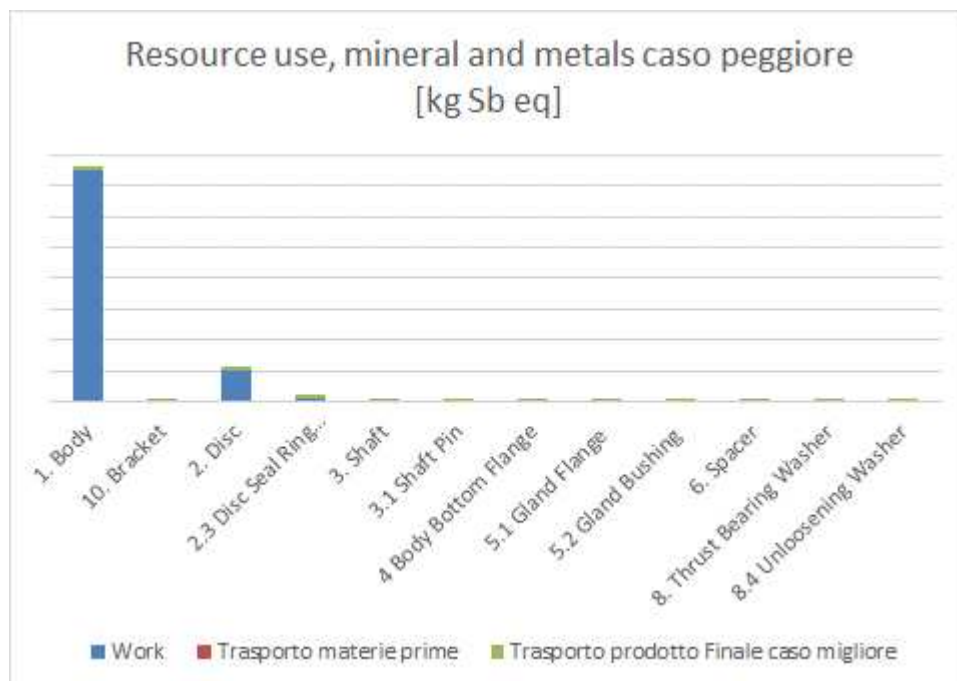


Figura 23 - Resource Use, Mineral and Metals, Primary Data, con trasporti caso peggiore

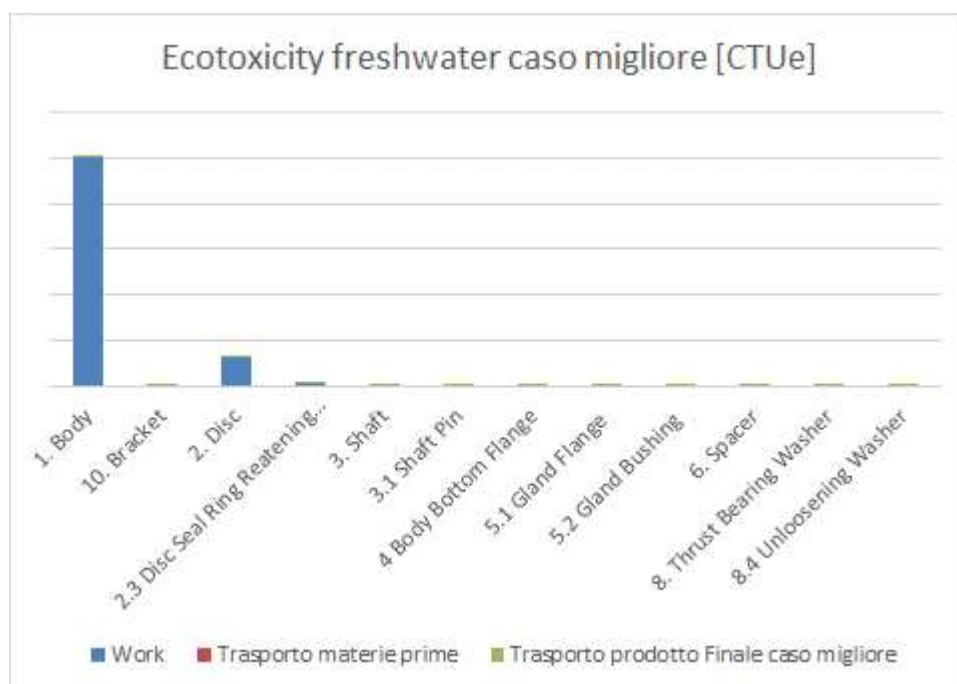


Figura 24 - Ecotoxicity Freshwater, Primary Data, con trasporti caso migliore

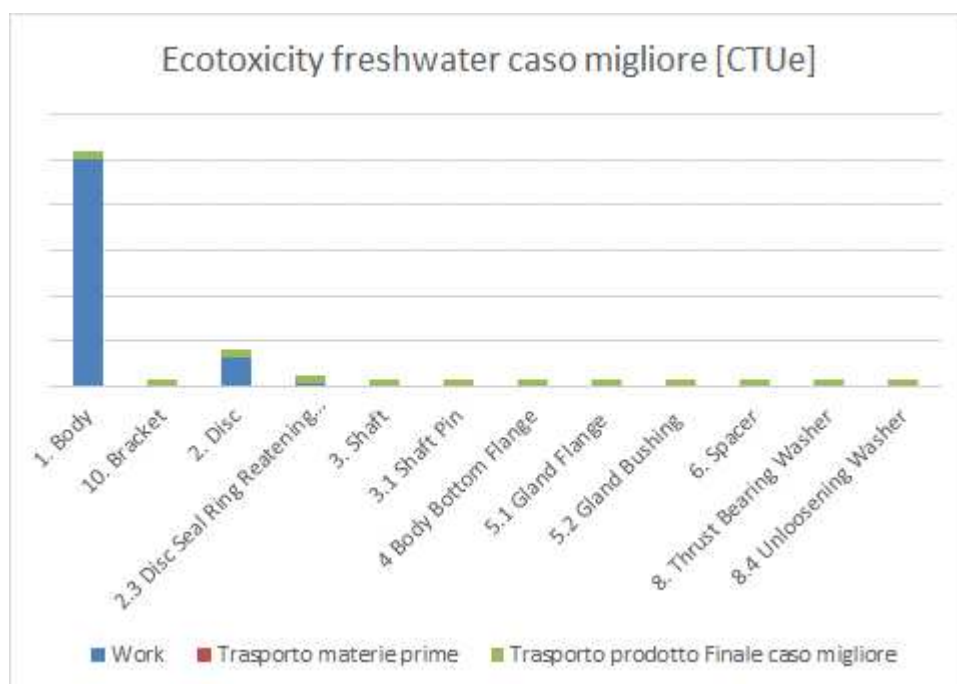


Figura 25 - Ecotoxicity Freshwater, Primary Data, con trasporti caso peggiore

Dall'analisi dei grafici si può evidenziare quanto notevole risulti la differenza tra i trasporti nel caso migliore e in quello peggiore.

Si può quindi calcolare il rapporto nella tabella sottostante, per evidenziare maggiormente questa differenza (vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Tabella 3 - Rapporto Caso Migliore su Caso Peggior

Rapporto Caso Migliore su Caso peggiore			
	Caso Migliore	Caso Peggior	Rapporto
Climate Change [Kg Co2 eq]	3,06E-01	6,91E+02	99,96%
Non-cancer human health effects [CTUh]	1,27E-08	7,49E-05	99,98%
Cancer human health effects [CTUh]	3,72E-09	1,00E-06	99,63%
Resurce use, energy carries [MJ]	3,88E+00	9,71E+03	99,96%
Resurce use, minerals and metals [Kg Sb eq]	2,35E-06	5,81E-04	99,60%
Ecotoxcity freshwater [CTUe]	9,13E-02	1,45E+02	99,94%

Altri rapporti che possono risultare interessanti sono quelli che si hanno confrontando i trasporti delle materie prime con quelli esterni, nei casi migliore e peggiore (vedi Tabella 4, Tabella 5,

Tabella 6):

Tabella 4 - Rapporto Trasporto materie sul Totale e Rapporto Trasporto prodotto finale (nel caso migliore e peggiore) su Totale, Primary Data, Parte 1 (body)

	1. Body	
Caso Migliore	Rapporto materie prime	Rapporto finale
Climate Change [Kg Co2 eq]	99,60%	99,98%
Non-cancer human health effects [CTUh]	99,65%	100,00%
Cancer human health effects [CTUh]	99,52%	81,85%
Resurce use, energy carries [MJ]	98,99%	99,98%
Resurce use, minerals and metals [Kg Sb eq]	99,96%	99,99%
Ecotoxcity freshwater [CTUe]	99,92%	100,00%
Caso Peggior	Rapporto materie prime	Rapporto finale
Climate Change [Kg Co2 eq]	99,70%	74,36%
Non-cancer human health effects [CTUh]	99,69%	88,29%
Cancer human health effects [CTUh]	99,52%	99,76%
Resurce use, energy carries [MJ]	99,27%	72,56%
Resurce use, minerals and metals [Kg Sb eq]	99,96%	98,47%
Ecotoxcity freshwater [CTUe]	99,93%	97,19%

Tabella 5 - Rapporto Trasporto materie sul Totale e Rapporto Trasporto prodotto finale (nel caso migliore e peggiore) su Totale, Primary Data, Parte 2 (disc)

2. Disc	
Rapporto materie prime	Rapporto finale
97,04%	99,89%
97,33%	99,98%
98,67%	49,98%
92,85%	99,89%
99,69%	99,95%
99,41%	99,99%
Rapporto materie prime	Rapporto finale
99,17%	28,13%
98,67%	49,98%
96,31%	98,15%
98,06%	27,14%
99,73%	89,69%
99,51%	81,76%

Tabella 6 - Rapporto Trasporto materie sul Totale e Rapporto Trasporto prodotto finale (nel caso migliore e peggiore) su Totale, Primary Data, Parte 3 (Seal Ring)

2.3 Disc Seal Ring	
Rapporto materie prime	Rapporto finale
67,94%	98,78%
80,86%	99,88%
97,66%	12,21%
42,23%	99,13%
97,48%	99,62%
95,12%	99,88%
Rapporto materie prime	Rapporto finale
98,88%	3,45%
97,66%	12,21%
72,84%	86,38%
97,45%	4,37%
98,70%	51,33%
98,28%	35,30%

In queste tabelle si è preso in considerazione soltanto le componenti di Body, Disc e Seal Ring dal momento che per le altre componenti gli impatti ambientali per le lavorazioni risultano minime e di conseguenza gli impatti ambientali dei trasporti incidono quasi per la totalità. Nei casi sopra riportati si ha un impatto dovuto ai trasporti molto basso; soprattutto nei casi di trasporto migliore, si può notare che i trasporti di materie prime risultano essere maggiori rispetto a quello

dei trasporti esterni nei casi migliori, ma risultano essere di uno o due ordini di grandezza più piccoli rispetto ai trasporti esterni nei casi peggiori. Infine, si può rilevare che per la componente del Body il rapporto tra il trasporto e il totale risulta sempre essere il più piccolo.

3.3.3. Analisi degli impatti per le lavorazioni delle componenti principali

Si procede, infine, ad analizzare i dati relativi agli impatti ambientali dei singoli procedimenti di lavorazione per le principali componenti della valvola. Questa analisi permette di evidenziare quali sono i principali processi di lavorazione e i rispettivi consumi.

I grafici per il grado di dettaglio customized dataset risultano essere i seguenti (vedi Figura 26, Figura 27, Figura 28, Figura 29, Figura 30, Figura 31):

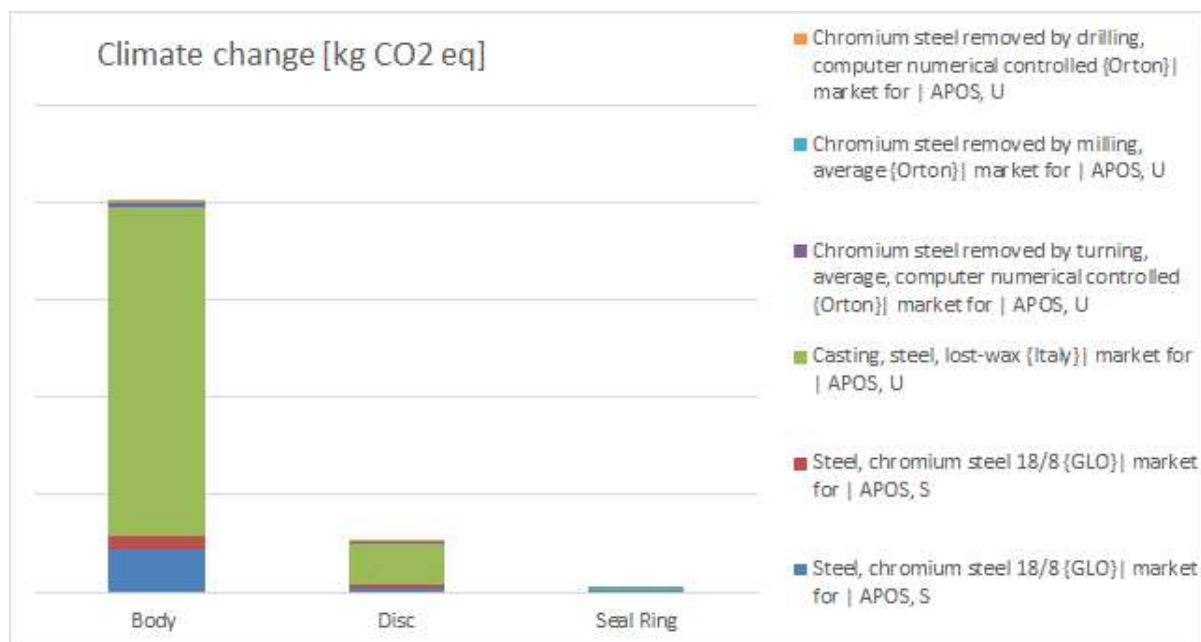


Figura 26 - Climate Change, Customized Dataset, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring

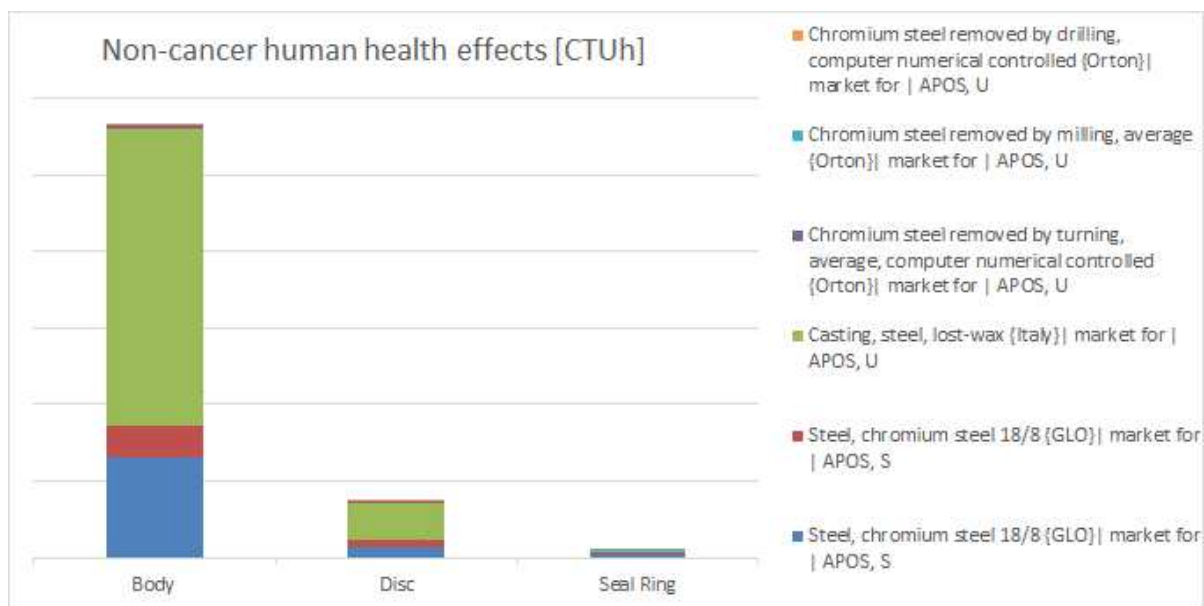


Figura 27 - Non Cancer Human Health Effects, Customized Dataset, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring

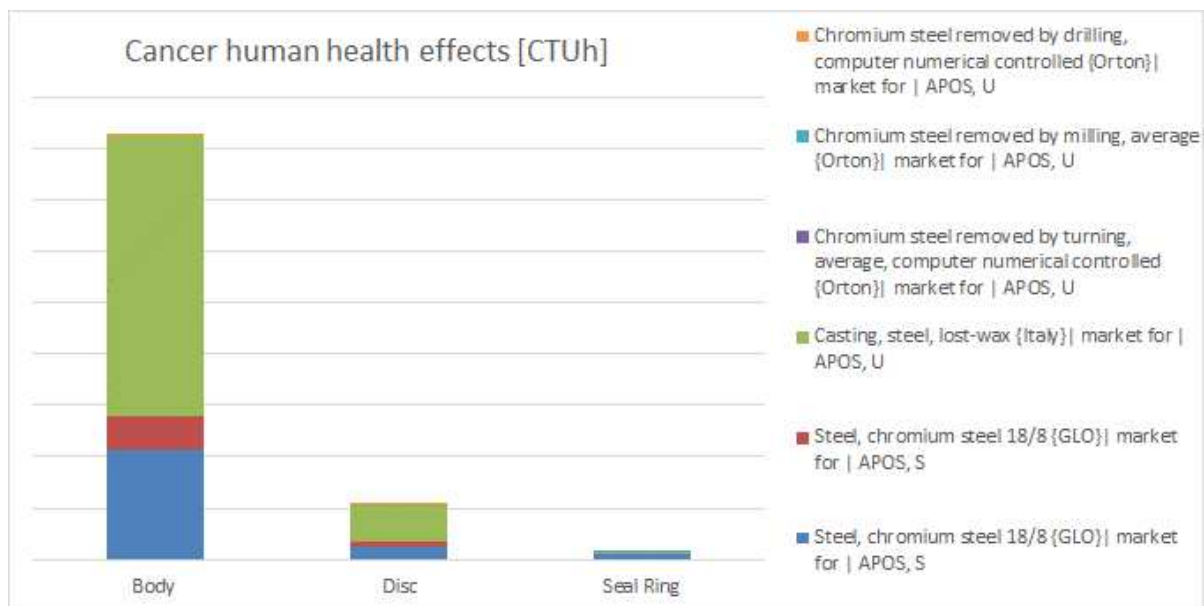


Figura 28 - Cancer Human Health Effects, Customized Dataset, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring

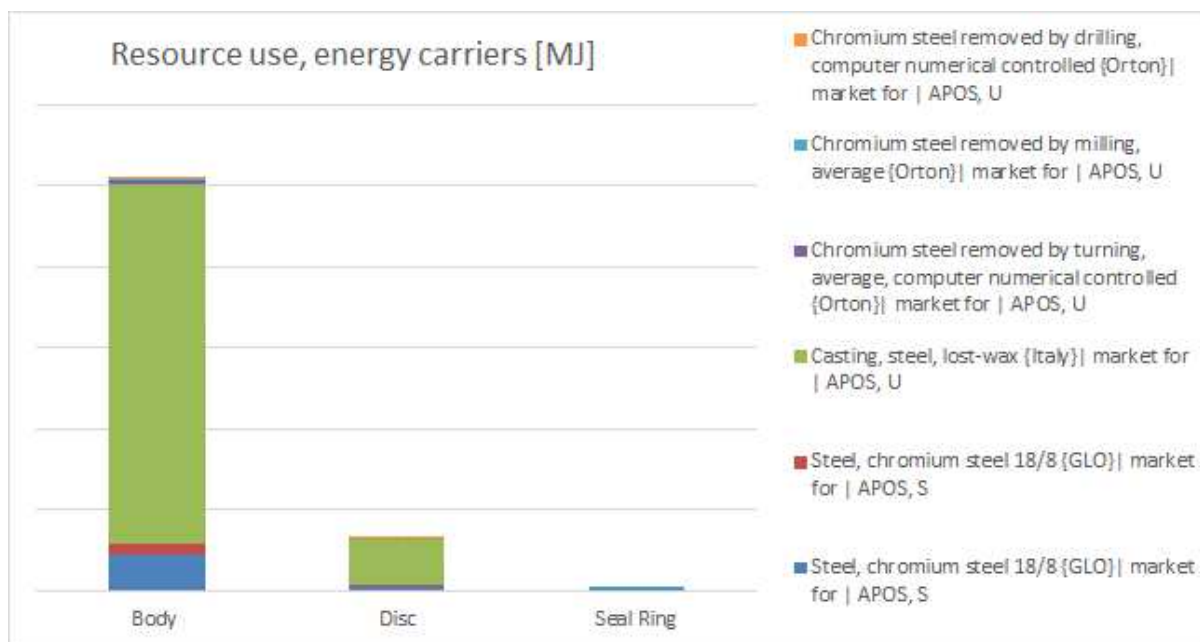


Figura 29 - Resource Use, Energy Carriers, Customized Dataset, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring

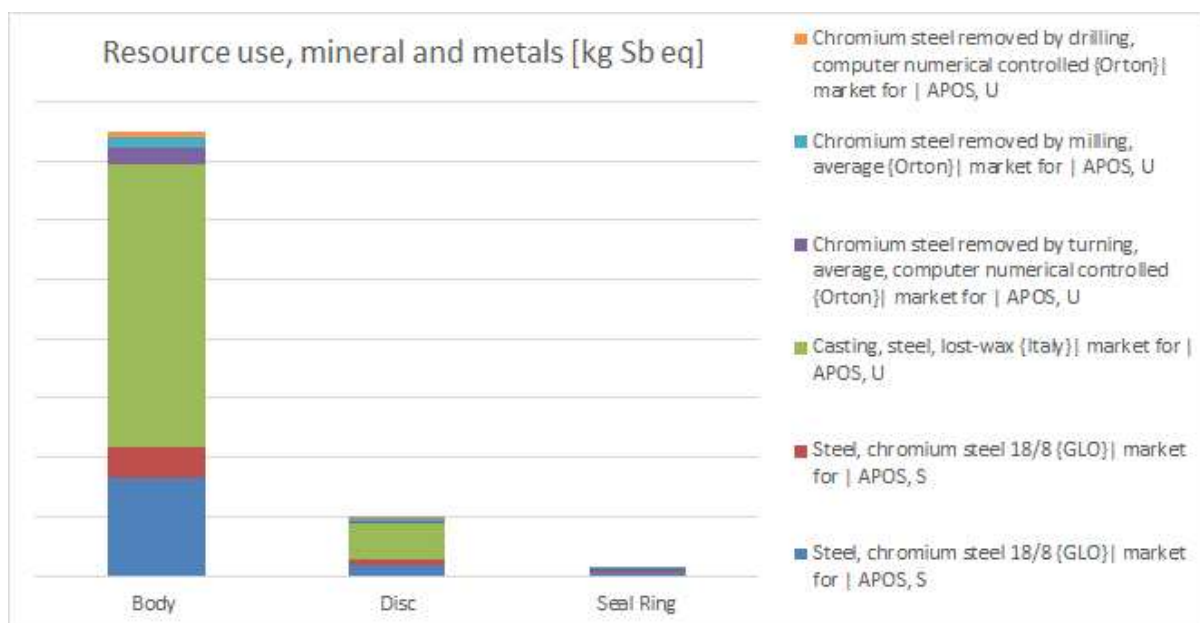


Figura 30 - Resource Use, Minerals And Metals, Customized Dataset, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring

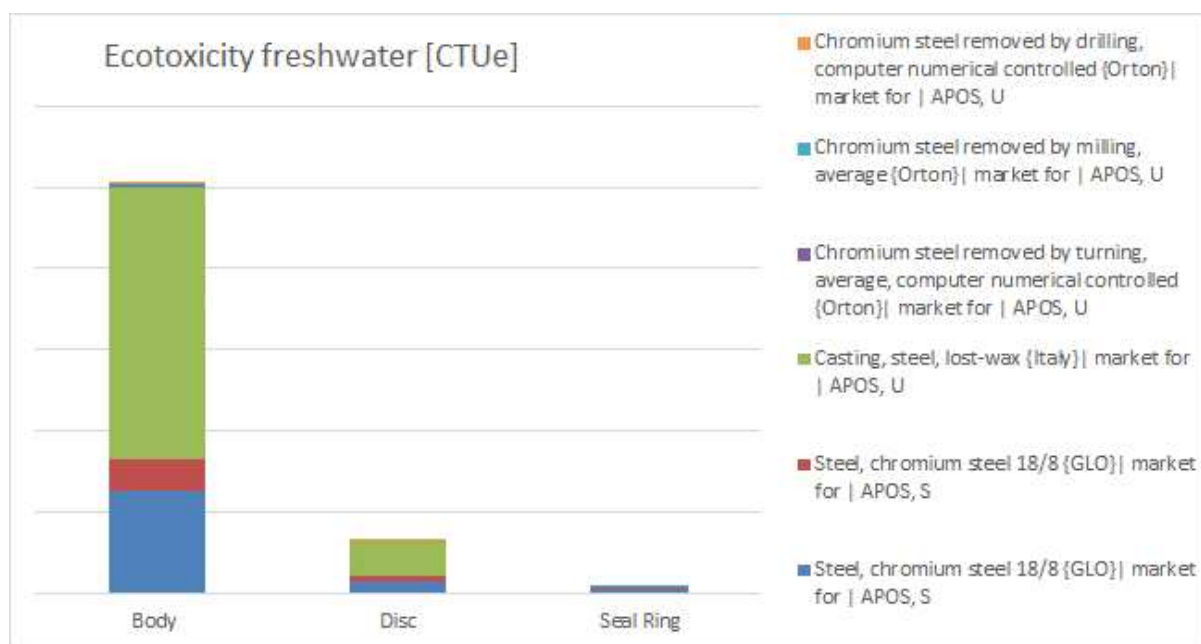


Figura 31 - Ecotoxicity Freshwater, Customized Dataset, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring

I grafici per il grado di dettaglio Primary Data sono (vedi Figura 32, Figura 33, Figura 34, Figura 35, Figura 36, Figura 37):

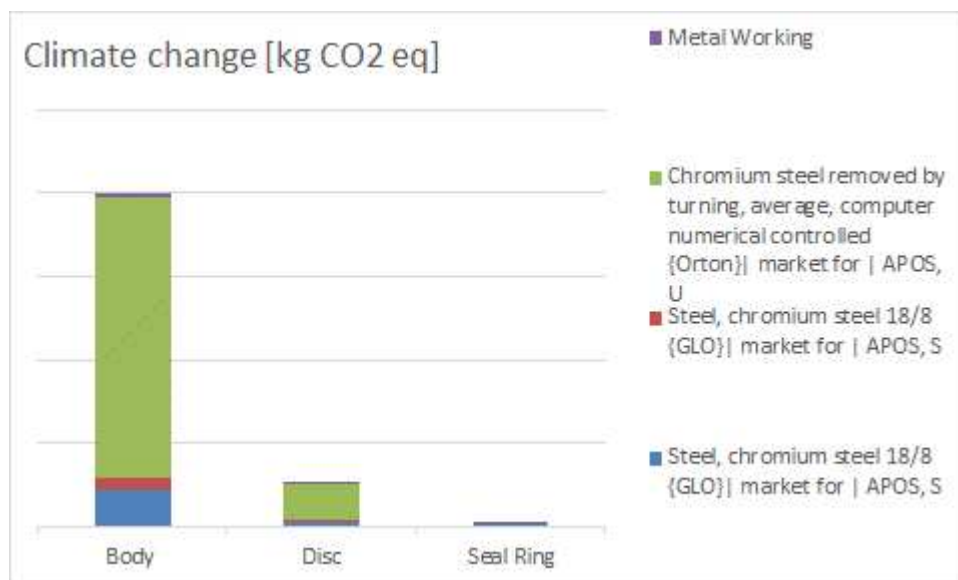


Figura 32 - Climate Change, Primary Data, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring

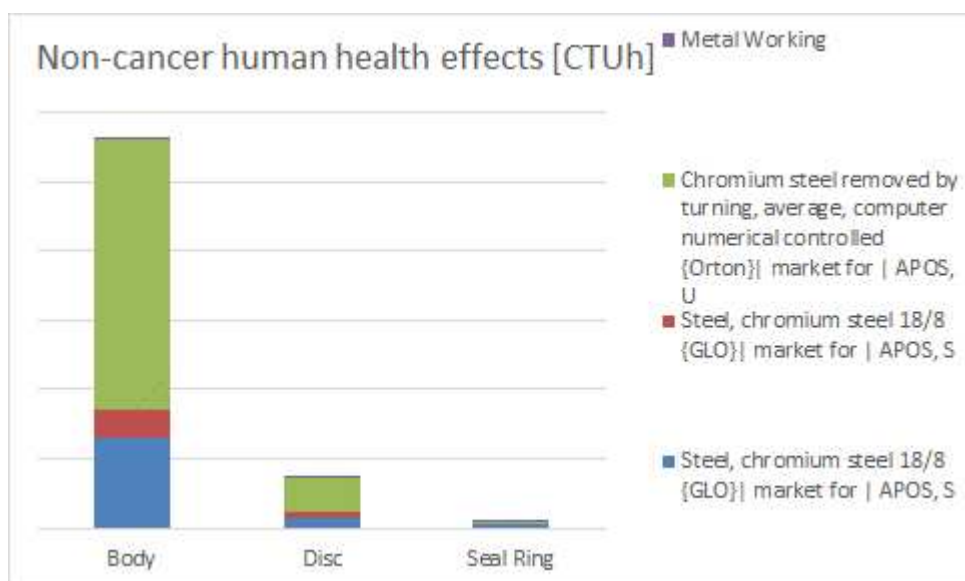


Figura 33 - Non Cancer Human Health Effects, Primary Data, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring

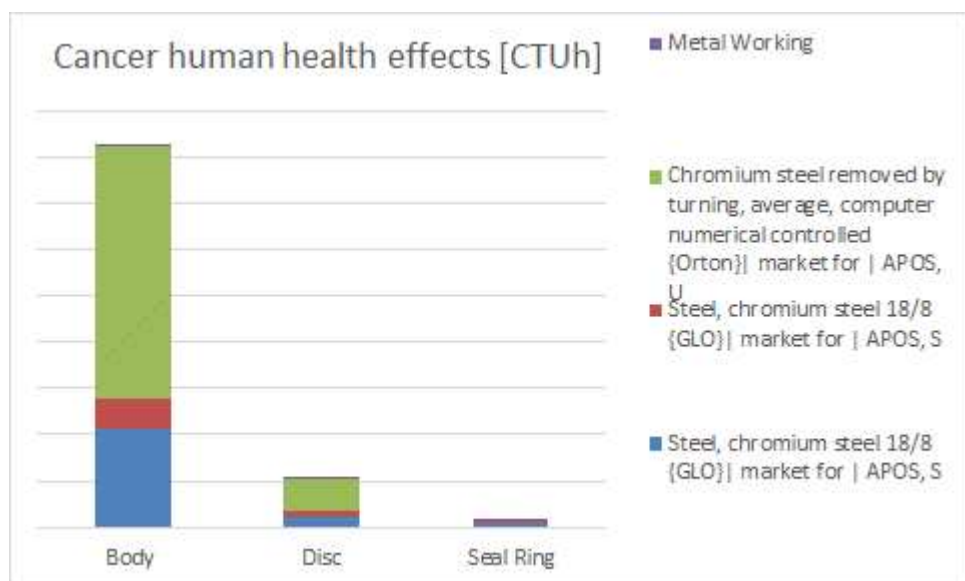


Figura 34 - Cancer Human Health Effects, Primary Data, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring

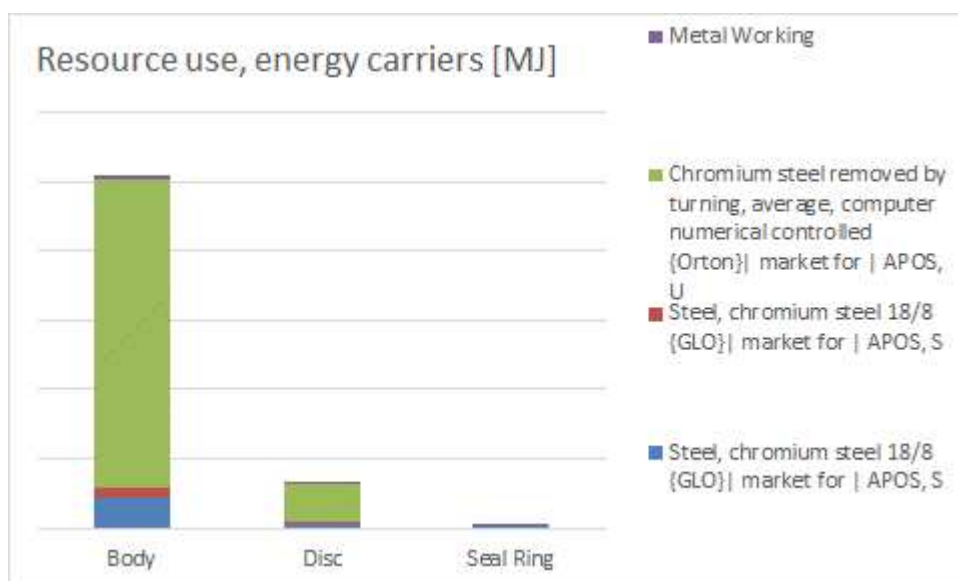


Figura 35 - Resource Use, Energy Carries, Primary Data, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring

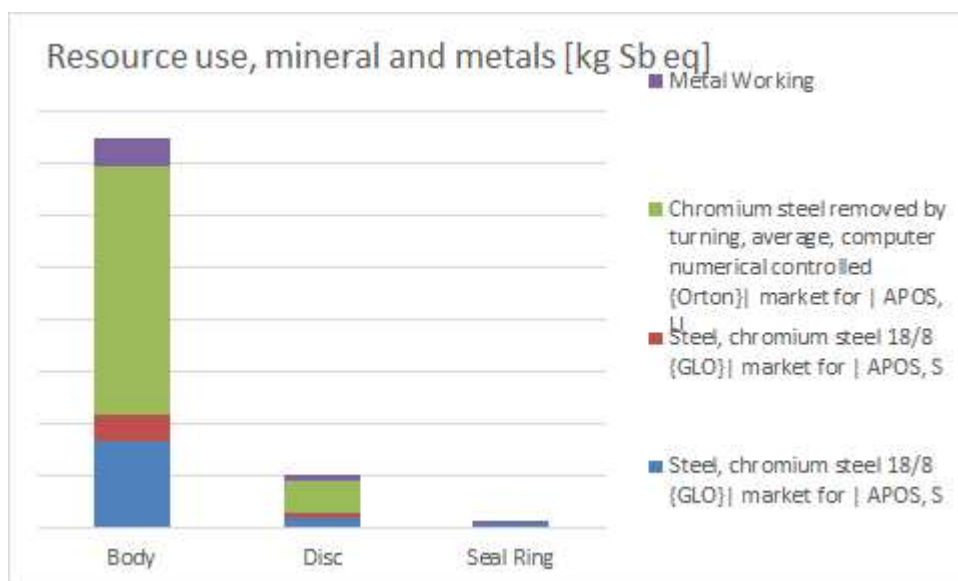


Figura 36 - Resource Use, Minerals And Metals, Primary Data, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring

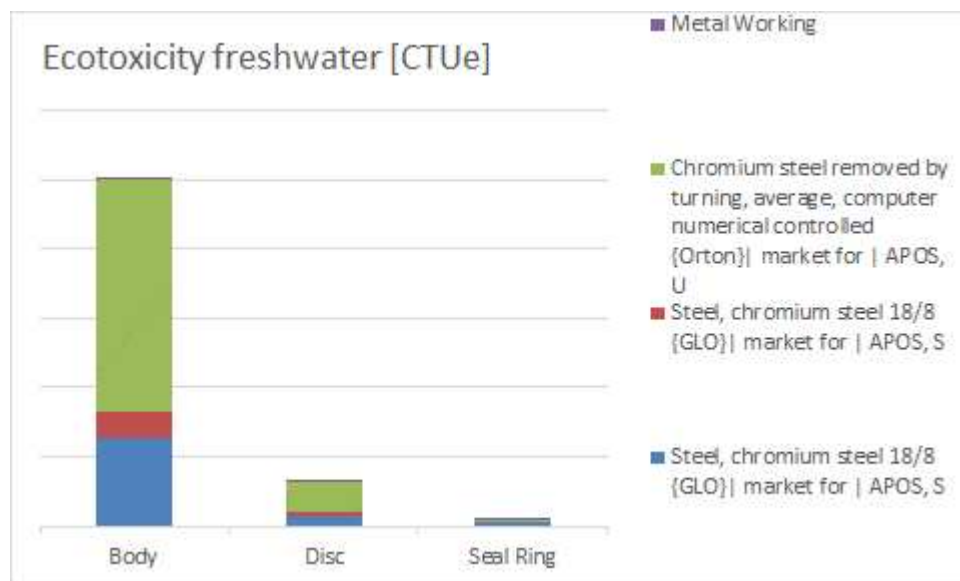


Figura 37 - Ecotoxicity Freshwater, Primary Data, evidenza dei contributi delle varie lavorazioni per le componenti di Body, Disc, Seal Ring

La prima cosa che si può notare è la differente classificazione dei processi nel caso customized dataset e in quello primary data; in quest'ultimo caso, infatti, avendo preso dati direttamente dalla fonte alcuni processi sono stati accorpati sotto la voce metal working.

Si può notare inoltre che il processo con maggiore impatto risulta essere quello della tornitura, in entrambi i tipi di modellazione.

4. Conclusioni

La continua crescita per un miglioramento dell'ecosostenibilità nei vari ambiti ha spinto numerose istituzioni e imprese verso modelli di sviluppo e produzione più sostenibili. In questo ambito gioca un ruolo fondamentale l'analisi LCA, che permette di intervenire nei punti più critici della produzione e del ciclo di vita di un prodotto. Per una buona analisi LCA l'utilizzo di software adeguati è strettamente necessario e per questa ragione programmi di analisi specifici per un'impresa possono garantire risultati migliori.

Nel caso di specie si è analizzata, con tre diversi gradi di dettaglio ed utilizzando il programma di analisi LCA SimaPro, una valvola prodotta dall'impresa IMI Orton.

L'obiettivo di questo studio era quello di confrontare l'influenza sui risultati finali di impatto ambientale, di differenti livelli di dettaglio nella modellazione. I risultati del confronto, oltre a rilevare i processi e i componenti con maggiori impatti ambientali, ovvero i componenti con maggior peso e con lavorazioni di fusione, hanno dimostrato come una modellazione con dataset customizzati è accettabile dal punto di vista dell'affidabilità, considerata la loro similitudine con i valori ottenuti da dati primari (al di sotto del 5% per i vari indicatori di impatti ambientali considerati).

Sviluppi futuri consisteranno nell'applicazione della stessa metodologia di analisi ad altri prodotti della stessa famiglia al fine di validare ulteriormente le conclusioni derivate da questo studio.

5. Ringraziamenti

Un personale ringraziamento al Professore Michele Germani per avermi consentito di affrontare con questa tesi un tema così attuale e che mi sta particolarmente a cuore.

Ringrazio inoltre la Professoressa Marta Rossi, la Dottoressa Federica Cappelletti e il Dottore Luca Manuguerra che mi hanno seguito sia durante il tirocinio che nella scrittura della tesi, offrendomi la massima disponibilità e rispondendo sempre alle domande, ai dubbi e agli interrogativi che ho posto.

Ringrazio infine tutti i professori che ho avuto modo di conoscere in questi anni di università e tutte le persone che mi hanno sostenuto e incoraggiato.

Bibliografia

- [1] «Ecosostenibilità», Wikipedia, [Online]. Available: <https://it.wikipedia.org/wiki/Ecosostenibilit%C3%A0>. [Consultato il giorno 02 Luglio 2023].
- [2] H. Daly, «Sostenibilità ambientale: dal concetto alle azioni», Italia che Cambia, [Online]. Available: <https://www.italiachecambia.org/2020/06/sostenibilita-ambientale/>. [Consultato il giorno 02 Luglio 2023].
- [3] Europeo, Parlamento, «Economia circolare: definizione, importanza e vantaggi», 25 Maggio 2023. [Online]. Available: https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi?&at_campaign=20234-Economy&at_medium=Google_Ads&at_platform=Search&at_creation=RSA&at_goal=TR_G&at_audience=economia%20circolare. [Consultato il giorno 02 Luglio 2023].
- [4] Parlamento Europeo, «Direttiva 2009/125/CE Ecodesign», [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125&from=ES>. [Consultato il giorno 02 Luglio 2023].
- [5] Confindustria, «ECODESIGN, L'EVOLUZIONE DELLA PROGETTAZIONE», [Online]. Available: <https://economiecircolare.confindustria.it/ecodesign-levoluzione-della-progettazione/>. [Consultato il giorno 01 Luglio 2023].
- [6] O.N.U., «Obiettivi dello Sviluppo Sostenibile», Organizzazione delle Nazioni Unite, [Online]. Available: <https://unric.org/it/agenda-2030/>. [Consultato il giorno 02 Luglio 2023].
- [7] Commissione Europea, «Un Green Deal Europeo», [Online]. Available: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it. [Consultato il giorno 02 Luglio 2023].
- [8] Europeo, Parlamento, «Realizzare il Green Deal Europeo», [Online]. Available: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_it. [Consultato il giorno 02 Luglio 2023].
- [9] Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, «Piano per la transizione Ecologica», [Online]. Available: <https://www.mase.gov.it/pagina/piano-la-transizione-ecologica>. [Consultato il giorno 02 Luglio 2023].
- [10] ISO, *ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*, International Organization for Standardization, 1997.
- [11] Rete Clima, «LCA – Life Cycle Assessment (Analisi del ciclo di vita)», [Online]. Available: <https://www.reteclima.it/lca-life-cycle-assessment-analisi-del-ciclo-di-vita/>. [Consultato il giorno 02 Luglio 2023].
- [12] Wikipedia, «Analisi del ciclo di vita», [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Analisi_del_ciclo_di_vita. [Consultato il giorno 02 Luglio 2023].

- [13] SimaPro, «About SimaPro,» [Online]. Available: <https://simapro.com/about/>. [Consultato il giorno 02 Luglio 2023].
- [14] IMI Critical Engineering, «About Us,» IMI, [Online]. Available: <https://www.imi-critical.com/about-us/>. [Consultato il giorno 02 Luglio 2023].
- [15] IMI, «History,» IMI Critical Engineering, [Online]. Available: <https://www.imi-critical.com/about-us/history/>. [Consultato il giorno 02 Luglio 2023].
- [16] IMI, « Series Cryogenic,» IMI Orton, [Online]. Available: https://www.imi-critical.com/wp-content/uploads/2020/10/IMI_Orton_Product_A4-4pp_AW_LRES.pdf. [Consultato il giorno 02 Luglio 2023].