UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica
Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche

Tesi Di Laurea

Valutazione di sostenibilità ambientale di un prodotto meccatronico allo scopo di minimizzare l'impatto legato al suo fine vita

Environmental sustainability assessment of a mechatronic product in order to minimize the impact related to its end of life

Relatore:
Prof. Michele Germani

Tesi di laurea di:
Fabrizio Ianera

Correlatore:
Ing. Marta Rossi

Anno Accademico 2019/2020

A mia madre,

che vivrà per sempre,

come il mio orgoglio di essere suo figlio.

A mio padre e mia sorella,

la parte essenziale della mia vita.

Sommario

1 Introduzione 5
2 Ecodesign 7
2.1 Design for demanufacturing 9
3 Normative europee di riferimento 10
3.1 Impatto ambientale di un prodotto elettrico ed elettronico a fine vita 11
3.2 Sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche 12
3.3 Requisiti di qualità e sicurezza dei prodotti: le certificazioni ambientali 13
4 Metodologia di analisi 14
4.1 Analisi LCA del ciclo attuale e scelta 15
4.2 Definizione delle sequenze di disassembly delle parti obiettivo 16
4.3 Attribuzione delle tempistiche alle operazioni di demanfacturing 18
4.4 Determinazione delle strategie e dei nuovi scenari di EoL 20
5 Case study 27
5.1 L'azienda: Nuova Simonelli 27
5.2 Oggetto del caso di studio 28
5.3 Ciclo di vita attuale della VA358 31
5.4 Scelta dei gruppi più impattanti 34
5.5 Scelta dei componenti target 37
5.5.1 Analisi del gruppo di erogazione 37
5.5.2 Analisi del gruppo main boiler 40
5.5.3 Analisi del gruppo motore-pompante 46
5.5.4 Analisi del gruppo accessori 49
5.5.5 Analisi del gruppo telaio 51
5.6 Disassembly dei componenti target 54
5.6.1 Disassembly dei gruppi impattanti dall'assieme complessivo 54
5.6.2 Disassembly del gruppo di erogazione 58
5.6.3 Disassembly del gruppo main boiler 63
5.6.4 Disassembly del gruppo motore-pompante 68
5.6.5 Disassembly del gruppo accessori 70
5.7 Tempi di disassembly dei componenti target 73
5.7.1 Tempo di disassembly dei gruppi impattanti dall'assieme complessivo 73

5.7.2 Tempo di disassembly del gruppo di erogazione 76
5.7.3 Tempo di disassembly del gruppo main boiler 79
5.7.4 Tempo di disassembly del gruppo motore-pompante 82
5.7.5 Tempo di disassembly del gruppo degli accessori 84
5.8 Indicatori di fine vita 85
5.9 Strategie e scenari di EoL 87
6 Risultati 96
7 Conclusioni 98
Bibliografia 100

1 Introduzione

In termini di ecosostenibilità uno dei concetti chiave è rappresentato dall'economia circolare. La locuzione introdotta definisce un sistema produttivo e di consumo autosufficiente, cioè capace di rigenerarsi e procedere all'infinito con un numero finito di risorse, che non vengono incrementate al completamento di ogni ciclo del processo. In questo sistema si distinguono solamente flussi di materiali ecocompatibili e quindi riassorbibili dalla biosfera. Contrariamente al modello produttivo lineare, che ha caratterizzato fin dagli albori dello sviluppo industriale le dinamiche produttive e consumistiche globali, non vi è la generazione di rifiuti. I materiali a fine vita non sono più visti come scarti ma come un valore aggiunto, in grado di riacquisire una nuova vita. I principi cardine correlati al modello circolare implicano condivisione, prestito, consumo, riuso, riparazione, ricondizionamento e riciclo dei materiali e prodotti esistenti il più a lungo possibile.

Un ruolo importante per il raggiungimento degli obiettivi prefissati è quello della progettazione, che deve mirare all'allungamento della vita utile del prodotto e agevolare le future operazioni di riparazione, di separazione dei componenti e dei materiali.

Fig.1 Schema riassuntivo dell'economia circolare

Il modello circolare non si è ancora imposto su larga scala in quanto a prevalere è ancora un'economia lineare che segue rigidamente il processo estrazione-produzione-dismissione. Un esempio lampante è rappresentato dalle filosofie produttive in cui il bene è destinato ad un'obsolescenza programmata che diminuisce sensibilmente la sua vita utile [1]. Questo aspetto è ancora più marcato in tutti quei prodotti di largo uso che presentano una rapida crescita tecnologica nel tempo. Per l'azienda molto spesso vale il binomio profitto-vendite, in cui i guadagni sono massimizzati dall'aumento della frequenza con cui il consumatore acquista la nuova tecnologia disponibile sul mercato.

I risultati di questa concezione anacronistica sono evidenti in quanto le risorse disponibili stanno subendo un decremento sempre più marcato nel corso degli anni e i danni apportati all'ecosistema appaiono ogni giorno meno reversibili.

Tale analisi sottolinea la necessità di un cambiamento radicale a livello politico, aziendale ed individuale per ripensare il sistema economico-produttivo e sovvertire il trend negativo che ha caratterizzato gli ultimi anni.

Gli obiettivi da perseguire sono quindi:

- l'eliminazione dei rifiuti e dell'inquinamento
- l'allungamento della vita dei materiali
- la rigenerazione dei sistemi ambientali e il ripristino dell'equilibrio dell'ecosistema

Il sistema circolare presenta però, specie in alcuni ambiti produttivi, delle difficoltà intrinseche legate al raggiungimento della perfetta circolarità, intesa come l'azzeramento dei consumi relativi alle risorse e alle emissioni climalteranti ed inquinanti. Tutto ciò non esclude studi che siano in linea con la tendenza green delineata, capaci pertanto di limitare i danni ambientali e gli sprechi delle risorse disponibili. Essi costituiscono pertanto il primo passo per il raggiungimento di un fine tanto ambizioso quanto necessario.

La trattazione affronta inizialmente il tema dell'ecodesign, ovvero della progettazione ecosostenibile, soffermandosi in particolare sull'importanza relativa al demanufacturing del prodotto giunto a fine vita. Successivamente saranno riportati ed analizzati i concetti principali delle norme europee più importanti in ottica green. In seguito è presentato accuratamente il metodo analitico utilizzato, che viene applicato in un secondo momento al case study vero e

proprio. Infine è presente una sezione in cui verranno discussi i risultati ottenuti e un capitolo conclusivo che terminerà la trattazione.

2 Ecodesign

Per molto tempo l'idea di competitività legata al prodotto si è basata esclusivamente sulla massimizzazione del rapporto prestazioni-costi. L'aspetto relativo al peso ambientale, correlato a ciascun bene di consumo, ha avuto sempre un ruolo marginale in quanto sacrificabile per il raggiungimento di fini differenti.

Negli ultimi anni però si sono compresi i limiti di un consumismo eccessivo, che ha portato ad una drastica riduzione delle risorse disponibili sul nostro pianeta e ha determinato danni importanti all'ecosistema naturale. La risposta a questo trend negativo è rappresentata dalla produzione di beni e servizi più sostenibili, i così detti "environment-friendly products" [2].

Un ruolo centrale è quello dell'Ecodesign, termine che condensa una nuova modalità di progettazione in cui lo stato dell'arte tecnologico e quello ecologico non rappresentano due aspetti alternativi ed inconciliabili, ma si fondono nel prodotto in quanto complementari. Inoltre esso costituisce uno dei pilastri cardine dell'economia circolare, poiché le scelte progettuali determinano fino al 90% dell'impatto ambientale che avrà il bene.

La progettazione sostenibile presenta alcuni principi cardine comuni per tutte le tipologie di manufatti realizzate:

- l'utilizzo di materiali sostenibili, ovvero perfettamente compatibili con la biosfera, capaci di prestarsi al riciclo per un futuro reimpiego e caratterizzati da processi di produzione che limitino il consumo di risorse e sfruttino fonti energetiche alternative
- l'ottenimento di prodotti di elevata durabilità al fine di ridurre la quantità di rifiuti da smaltire
- la scelta di processi produttivi sostenibili o poco impattanti, dal limitato fabbisogno in termini di risorse presenti sul pianeta
- la realizzazione di beni che promuovano la possibilità dello smontaggio attraverso una specifica configurazione costruttiva e la minimizzazione delle tipologie di materiali costituenti

Il progettista dovrà quindi considerare sin dall'inizio le caratteristiche di sostenibilità del prodotto, oltre ai requisiti tecnici che devono essere raggiunti.

Un elemento cardine su cui si basa l'ecodesign è rappresentato dall'analisi del ciclo di vita, conosciuta con l'acronimo LCA. Quest'ultima non è altro che un metodo strutturato e standardizzato che quantifica l'impatto complessivo di un bene considerando tutti gli aspetti del ciclo di vita, ovvero [3]:

- la selezione e impiego di materie prime
- la fabbricazione
- il condizionamento, trasporto e distribuzione
- l'installazione e manutenzione
- l'uso del prodotto
- il fine vita del bene

Uno studio LCA si articola in quattro fasi principali [4]:

- definizione dell'obiettivo
- analisi dell'inventario (life cycle inventory)
- valutazione dell'impatto (life cycle impact assessment)
- interpretazione ed analisi dei risultati

Un'analisi del ciclo di vita può fornire un contributo decisivo per migliorare le prestazioni ambientali supportando le industrie nella progettazione o nella revisione progettuale dei prodotti.

L'ecodesign, pur essendo un pilastro portante dell'ecocompatibilità, rappresenta una condizione necessaria ma non sufficiente per il raggiungimento dell'economia circolare. Un ruolo chiave è correlato alle informazioni che il produttore deve fornire al consumatore. Queste riguardano le prestazioni ambientali significative di un prodotto, le modalità di installazione, uso e manutenzione dello stesso, affinché sia ridotto al minimo l'impatto sull'ambiente e sia consentita la durata ottimale, oltre alle modalità di restituzione del dispositivo a fine vita. Cruciale è anche il trattamento del bene che ha terminato il suo ciclo di funzionamento, finalizzato al massimo tasso di recupero dello stesso e ad un corretto smaltimento della frazione di rifiuto generata

2.1 Design for demanufacturing

Un aspetto cruciale dell'ecodesign, come accennato in precedenza, è basato sulla realizzazione di un bene la cui configurazione costruttiva e la tipologia dei materiali siano in grado di massimizzarne l'attitudine allo smontaggio.

Il concetto appena espresso è rappresentato dall'espressione "design for demanufacturing" sintetizzata dall'acronimo Dfd.

In particolare il termine demanufacturing indica il processo di scomposizione del prodotto per l'isolamento dei costituenti destinati al riciclo, al remanufacturing e al riuso.

La progettazione che promuove lo smontaggio si declina in una serie di tecniche ingegneristiche che dipendono dalla tipologia del bene considerato. Nonostante ciò, sono riscontrabili diversi elementi che determinano il raggiungimento degli obiettivi di recupero a cui mira il Dfd [5]:

- la disponibilità di un'adeguata documentazione relativa ai materiali trattati e ai metodi di decostruzione praticabili
- la presenza di collegamenti facilmente accessibili e preferibilmente non permanenti (riduzione delle saldature e l'utilizzo di giunzioni avvitate, bullonate o al massimo inchiodate)
- l'uso di materiali che presentino un'elevata compatibilità con le operazioni di riciclo, caratterizzati quindi da un basso grado di contaminazione
- l'utilizzo di geometrie semplici che favoriscano una standardizzazione in termini dimensionali e di tipologia dei componenti

Il Design for demanufacturing deve tener conto anche di alcune criticità che ne hanno in parte limitato l'affermazione nel contesto produttivo. Una di queste è legata ai vincoli temporali che caratterizzano le operazioni di smontaggio. Nei casi in cui il tempo rappresenta un fattore critico il demanufacturing potrebbe non rappresentare un'alternativa valida alle tradizionali procedure di fine vita. Per questa ragione è cruciale minimizzare gli oneri temporali relativi al processo grazie all'adozione di diversi accorgimenti [5]:

- la presenza di linee guida dedicate che supportino e velocizzino le operazioni di recupero
- la disponibilità di un personale qualificato
- l'utilizzo di un'etichettatura dedicata che consenta l'immediato riconoscimento dei materiali costituenti

- la realizzazione di collegamenti intuitivi, facili da rimuovere e con una suscettibilità al degrado minima
- la minimizzazione di componenti che contengano elementi pericolosi, i quali richiedono una notevole cura durante l'operazione di disassembly

Un altro aspetto critico è rappresentato dal costo che in alcuni casi risulta maggiore dei tradizionali processi di end of life, specie se è richiesta manodopera qualificata. Tuttavia dal demanufacturing derivano dei benefici oltre che ambientali anche economici (ad esempio in termini di recupero di materiale o possibili incentivi governativi) che potrebbero attenuare se non sovvertire il gap in termini di costi rispetto ad un processo di smaltimento tradizionale.

Nonostante gli inconvenienti correlati all'approccio illustrato, il Dfd ha un'importanza cruciale per la circolarità del sistema economico-produttivo a cui mira. Pertanto bisogna integrare gli aspetti delineati alla fase di progettazione del bene.

3 Normative europee di riferimento

Negli anni passati, sin dalla fase progettuale, gli obiettivi ingegneristici da perseguire nella realizzazione di un prodotto ruotavano univocamente intorno a parametri tecnico-economici. Ultimamente però, si è finalmente compresa l'importanza del peso ambientale relativo ad ogni fase del ciclo di vita di ciò che si produce. La progettazione e la produzione improntate su un'ottica più green e sostenibile, sono state rivalutate alla luce del fatto che possono comportare spesso dei benefici economici oltre che ambientali importanti, basti pensare al recupero dei metalli preziosi contenuti nei rifiuti elettrici. A tal proposito l'Unione europea ha attuato una politica di sensibilizzazione che si declina in norme e provvedimenti che mirano al raggiungimento, entro un determinato lasso di tempo, di obiettivi ben precisi da parte degli stati membri e dei produttori. Non ci sono tuttavia delle normative specifiche per il case study affrontato nel presente lavoro, pertanto è stata effettuata una ricerca circa le più importanti direttive riguardanti i prodotti simili a quello analizzato.

3.1 Impatto ambientale di un prodotto elettrico ed elettronico a fine vita

Una fase cruciale dal punto di vista ecocompatibile è quella dell'end of life (EoL), ovvero del fine vita del prodotto. Una delle direttive più importanti che tratta questo tema è la norma 2012/19/UE relativa ai WEEE, acronimo inglese che indica i rifiuti derivanti da apparecchiature elettriche ed elettroniche [6]. La direttiva delinea nell'allegato III delle categorie di WEE (equivalente all'acronimo italiano RAEE) e, in particolare, quella che riguarda le apparecchiature di grandi dimensioni (cioè con almeno una dimensione superiore ai 50 cm) può annoverare l'oggetto del case study, dato che comprende anche i grandi elettrodomestici. Per tale classe l'allegato V quantifica degli obiettivi ben precisi e molto ambiziosi:

- un tasso di recupero del 85% in peso del RAEE
- una preparazione per il riutilizzo e un tasso di riciclo dell'80% del rifiuto

Nei punti successivi, la normativa chiarisce anche il ruolo del produttore, che dovrebbe includere materiale riciclato per realizzare le nuove apparecchiature e finanziare almeno in parte la raccolta, il trattamento, il recupero e lo smaltimento dei RAEE, assumendosene tutte le responsabilità del caso.

L'allegato VII della normativa dei RAEE elenca inoltre le sostanze, le miscele e i componenti che devono essere separati dal rifiuto prima che questo subisca i trattamenti successivi, che sono:

- condensatori contenenti difenili policlorurati (PCB)
- componenti contenenti mercurio, come gli interruttori o i retroilluminatori
- pile
- circuiti stampati dei telefoni mobili in generale e di altri dispositivi se la superficie del circuito stampato è superiore a 10 cm^2
- cartucce di toner, liquido e in polvere, e di toner di colore
- plastica contenente ritardanti di fiamma bromurati
- rifiuti di amianto e componenti che contengono amianto
- tubi catodici
- clorofluorocarburi (CFC), idroclorofluorocarburi (HCFC), idrofluorocarburi (HFC) o idrocarburi (HC)
- lampade a scarica

- schermi a cristalli liquidi di superficie superiore a 100 cm^2 e tutti quelli retroilluminati mediante lampade a scarica,
- Cavi elettrici esterni
- componenti contenenti fibre ceramiche refrattarie
- componenti contenenti sostanze radioattive
- condensatori elettrolitici contenenti sostanze potenzialmente pericolose

3.2 Sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche

Un'altra direttiva importante è la 2011/65/EU, relativa ai rifiuti pericolosi, identificata dall'acronimo ROHS (Restriction of Hazardous Substances Directive) [7]. Essa va a quantificare i limiti di determinate sostanze pericolose per l'ambiente e la saluta umana, contenute nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche. Le nozioni trattate possono essere considerate quindi come un completamento dell'allegato VII della norma sui RAEE. I valori limite in questione sono riportati nella tabella successiva:

Tipo di sostanza pericolosa	Limite quantitativo
Piombo nell'acciaio	0,35%
Piombo nell'alluminio	0,4%
Piombo nel rame	4%
Mercurio	0,10%
Cadmio	0,01%
Cromo esavalente	0,10%
Bifenili polibromurati (PBB)	0,1%
Eteri di difenile polibromurato (PBDE)	0,1%

Tab.1 Limiti quantitativi delle sostanze pericolose

La direttiva ROHS inoltre, prescrive di limitare nelle apparecchiature l'impiego di metalli pesanti e ritardanti di fiamma (alogeni). Per queste due voci non sono indicati esplicitamente dei limiti quantitativi ma ci si appella alla responsabilità e al buon senso del produttore.

3.3 Requisiti di qualità e sicurezza dei prodotti: le certificazioni ambientali

Le eco-etichette sono di vitale importanza affinché i consumatori, pubblici o privati che siano, possano orientare il mercato verso il raggiungimento delle massime prestazioni ambientali.

Le norme tecniche ISO di riferimento distinguono tre tipologie di etichettature ambientali volontarie (serie ISO 14020) [8]:

- l'etichettatura ambientale di Tipo I (UNI EN ISO 14024)
- le asserzioni ambientali auto-dichiarate, cioè etichettature ambientali di Tipo II (UNI EN ISO 14021)
- le dichiarazioni ambientali di Tipo III (UNI ISO 14025)

Le etichette di Tipo I sono di parte terza, cioè la loro attribuzione deve essere verificata da un organismo esterno. Inoltre, sono basate su criteri di dominio pubblico relativi ad ogni categoria di bene con prestazioni ambientali superiori alla media del mercato. Tra queste rientra anche l'etichetta Ecolabel.

Le etichette di Tipo II non devono essere delineate da asserzioni vaghe come "sicuro per l'ambiente", "non inquinante", "verde" e simili e possono essere correlate al prodotto intero, ad un suo componente oppure all'imballaggio.

Le etichette di Tipo III sono basate su uno studio LCA che tiene conto delle specifiche regole «PCR» (Product Category Rules) relative alla categoria del prodotto. Esse sono attribuibili a tutti i prodotti conformi, indipendentemente dal loro uso o posizionamento nella catena produttiva e sono basate per lo più sul mercato "business to business", ma non escludono quello "business to consumer".

	Tipo I UNI EN ISO 14024 **Etichette ambientali** esempi	Tipo II UNI EN ISO 14021 **Asserzioni ambientali auto-dichiarate** esempi	Tipo III UNI ISO 14025 **Dichiarazioni Ambientali** esempi
Scopo	Selettivo	Informativo	Comparativo
Tipo di prodotto	Prodotti e servizi di consumo	Prodotti di consumo	Prodotti e servizi intermedi e di consumo
Destinatari	- Consumatori - Imprese - PA	- Consumatori	- Imprese - PA
Verifica indipendente	Si	Eventuale, non obbligatoria	Si
Considerazione del ciclo di vita	Media	Bassa	Elevata
Strumento comunicativo	Etichetta	Etichetta/dicitura	Etichetta e dichiarazione (scheda tecnica)

Tab.2 Panoramica delle ecoetichette

4 Metodologia di analisi

Il seguente capitolo è finalizzato all'introduzione della metodologia [9] che è alla base del caso di studio esaminato nella sezione successiva della trattazione.

Inizialmente è importante comprendere le caratteristiche del prodotto in questione, identificando i costituenti fondamentali e comprendendo la loro funzione. Dopo questa operazione preliminare si possono individuare quattro fasi descritte nei paragrafi seguenti:

- analisi LCA del ciclo attuale e scelta dei componenti target
- definizione delle sequenze di disassembly delle parti obiettivo
- attribuzione delle tempistiche alle operazioni di demanufacturing
- determinazione delle strategie e dei nuovi scenari di EoL

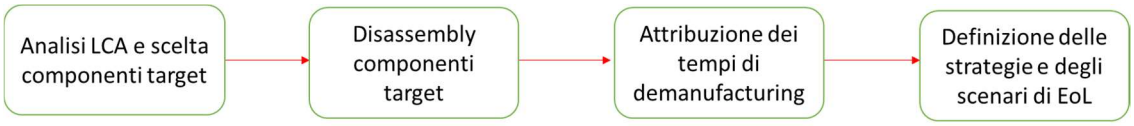


Fig.2 Fasi del metodo di analisi alla base del caso di studio

4.1 Analisi LCA del ciclo attuale e scelta

Nella prima fase è necessaria la comprensione in maniera dettagliata del prodotto in esame, in termini di elementi costituenti e relative quantità.

Successivamente è analizzato il ciclo di vita attuale, considerando la fase di manufacturing, di uso e di fine vita. Per effettuare la simulazione degli impatti è stato utilizzato il software SimaPro sfruttando i dati presenti nel database Ecoinvent 3 e scegliendo come metodo analitico quello denominato come ReCiPe Midpoint (H) V1.12 / Europe Recipe H. Quest'ultimo comprende molteplici voci relative a diverse tipologie di impatto ambientale. Per rendere meno dispersiva l'analisi sono state selezionate quelle ritenute più significative ovvero:

- climate change [kg CO_2 eq]
- ozone depletion [kg CFC-11 eq]
- human toxicity [kg 1,4-DB eq]
- water depletion [m^3]
- metal depletion [kg Fe eq]
- freshwater ecotoxicity [kg 1,4-DB eq]
- marine ecotoxicity [kg 1,4-DB eq]

L'analisi del ciclo di vita attuale ha riguardato tre scenari diversi, relativi ad un utilizzo del prodotto moderato, medio ed intensivo. Tale scelta è importante per quantificare la misura in cui i fattori che influenzano l'impatto nella fase d'uso si ripercuotono a livello di danni ambientali complessivi.

Una volta presentato lo scenario attuale, si può delineare il procedimento che porterà alla definizione delle strategie alternative. Il primo obiettivo in tal senso prevede l'identificazione dei componenti target, ovvero delle parti costituenti a cui è correlato un peso ambientale maggiore. Tale selezione è effettuata sfruttando ancora una volta il software SimaPro, che quantifica i valori delle voci ambientali relativamente alla fase di manufacturing. Per i prodotti

particolarmente complessi, costituiti cioè da un numero molto elevato di parti, è utile modellizzare l'assieme suddividendo i componenti in un certo numero di gruppi. In tal modo si potrà ottenere una maggiore chiarezza nei risultati, che saranno determinati selezionando prima i sotto-assiemi più impattanti per poi definire in un secondo momento gli elementi target.

4.2 Definizione delle sequenze di disassembly delle parti obiettivo

La fase successiva riguarda il disassembly delle parti obiettivo dal resto dell'assieme. Non è necessaria infatti l'intera demolizione del prodotto, che risulterebbe molto onerosa in termini temporali. Per facilitare la definizione delle sequenze di disassemblaggio si procede in un primo momento con l'isolamento dal resto dei costituenti dei gruppi selezionati, per poi separare da questi ultimi gli elementi ricercati. I componenti compresi nelle successioni delineate saranno quelli attivi, ovvero quelli a cui è correlata un'operazione di disassembly con i rispettivi elementi di collegamento.

I componenti attivi si differenziano da quelli che non devono necessariamente essere rimossi e dai costituenti che si sfilano spontaneamente una volta isolate le parti attive stesse.

Le sequenze ottimali sono espresse tramite diagrammi dedicati. La loro struttura comprende nodi ed archi. I primi indicano i sotto-assiemi o i componenti di un prodotto mentre gli archi rappresentano le operazioni di smontaggio [10]. Nell'esempio mostrato il componente 6 non può essere rimosso prima dello smontaggio del componente 8 e del componente 4.

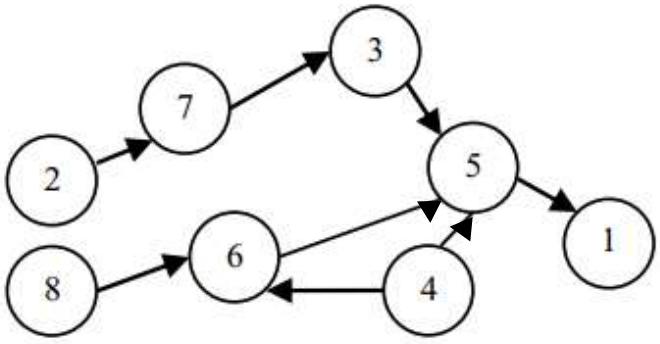


Fig.3 Esempio di diagramma di disassembly

Nel caso di prodotti molto complessi diventa difficile ricavare le informazioni necessarie da tali grafici. Per cui essi sono integrati spesso dalle matrici dei vincoli. Queste ultime sono importanti poiché permettono di memorizzare le relazioni gerarchiche dei vincoli presenti nell'assieme in una forma compatta e fruibile. Se considero un assieme di "n" componenti la corrispondente matrice dei vincoli avrà dimensioni n x n. La matrice inoltre è binaria, in quanto ogni cella contiene un valore:

- pari a zero, se il componente della riga i-esima non richiede la rimozione a monte del componente della j-esima colonna, per essere separato dal resto dell'assieme
- pari a uno se prima di rimuovere il componente della riga i-esima è necessario smontare quello della colonna j-esima

La matrice pertanto presenterà sulla diagonale principale tutti i valori pari a zero.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	TOTALE	LIVELLO
C2	0	0	0	0	0	0	0	0		
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C8	0	0	0	0	0	0	0	0		
C7	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
C3	0	1	0	0	0	0	1	0	2	2
C6	0	0	0	1	0	0	0	1	2	2
C5	0	1	1	1	0	1	1	1	6	3
C1	0	1	1	1	1	1	1	1	7	4

Tab.3 Matrice di vincolo e livelli di disassembly

La somma degli elementi contenuti in ciascuna riga consente di determinare i vari livelli di disassembly di ciascun componente. Questi identificano la strategia di smontaggio dell'assieme, che può avvenire solamente partendo dal livello inferiore fino ad arrivare a quello superiore.

4.3 Attribuzione delle tempistiche alle operazioni di demanfacturing

Il passo successivo prevede l'attribuzione di un valore di durata a ciascuna operazione, per stabilire i tempi di demanufacturing necessari ad ottenere le parti obiettivo.

I riferimenti temporali sono stati ottenuti basandosi sul metodo proposto da Mandolini et al [9] che determina, in base alla natura del collegamento, il tempo standard necessario all'operatore per effettuare lo smontaggio. Di seguito sono riportati i valori delle categorie più significative, tra cui sono annoverate anche le tipologie riscontrate nell'oggetto dello studio.

Classe di collegamento	Tipologia di collegamento	Ts [s]
Filettato	Vite	4
	Barra filettata	4
	Dado	4
Albero-mozzo	Spina	3
	Perno	3
Aggancio rapido	Snap-fit	2
	Guida	3
	Dap joint	2
Tubazioni	Tubo di gomma	2
	Fascette clip a molla	4
Elettrico	Cavo coassiale	4
	Spina elettrica	2
	Terminale a vite	2
	Cavo a nastro	2
Prevenzione smontaggio spontaneo	Anello d'arresto	4
	Copiglia	4
Fisso o distruttivo	Rivettatura	6
	Saldatura	10
	Incollaggio	6
Trasmissione del moto	Chiavetta	3
	Profilo scanalato	3
Rondella	Rondella	2
Cuscinetto	Cuscinetto	5
Magnetico	Magnetico	2
Ostacolo visivo		1

Tab.4 Tempi standard di disassemblaggio di alcune categorie di collegamento stabiliti dal metodo Mandolini et al.

Dallo stesso database sono stati estrapolati alcuni dei fattori correttivi, che hanno permesso di rendere più accurata e realistica l'analisi delle tempistiche svolta. Questi sono correlati ai collegamenti realizzati tramite viti e dipendono dalle caratteristiche geometriche, dall'utensile

necessario allo smontaggio, dallo stato di usura, ossidazione e di deformazione plastica delle viti stesse.

La tabella successiva va a considerare e quantificare i valori a cui è stata prestata considerazione.

LIAISON DATABASE					
Liason class	Liaison type	Ts [s]	Liaison property	Corrective factor	
Threaded	Screw	4	Wear	Completely rusted/worn	2
				Partially	1,3
				Not rusted/worn	1
			Deformation	Deformed	2
				Not deformed	1
			Head type	Hexagonal	1,2
				Hexagonal with notch	1
				Cylindrical	1,2
				Cylindrical with notch	1
				Cylindrical with hex notch	1,1
			Length	L <20 mm	1
				20 - 40 mm	1,1
				L > 40 mm	1,2
			Diameter	D < 4 mm	1,2
				4 - 12 mm	1
				D > 12 mm	1,2
			Tool	Screw gun	1
				Spanner	1,2
				Screwdriver	1,4

Tab.5 Coefficienti correttivi considerati nell'analisi effettuata

Tali coefficienti correttivi verranno moltiplicati al tempo standard di 4 secondi necessario per la rimozione delle varie viti.

Qualora non sia possibile lo studio su un'unità a fine vita, lo stato dei è componenti deve essere ipotizzato dal materiale costituente, dalle caratteristiche degli elementi oggetto del collegamento e di quelli circostanti, che influenzano l'ambiente in cui è presente l'accoppiamento. Questa considerazione è cruciale quando ad esempio si considerano i possibili fenomeni di ossidazione a caldo. Per quanto concerne l'utensile la scelta di un dispositivo manuale (chiave o cacciavite) avviene solo è strettamente necessaria, ad esempio nel caso in cui lo spazio a disposizione dell'operatore sia limitato, al fine di minimizzare il tempo complessivo di smontaggio.

4.4 Determinazione delle strategie e dei nuovi scenari di EoL

Una volta determinate le sequenze di demanufacturing e le relative tempistiche, si possono calcolare gli indici di riciclo e di riuso, fondamentali per determinare gli scenari di end of life che coinvolgono i componenti target. Il primo indice importante è il dissassembly index for manual disassembly, indicato semplicemente come "D_{Manual}". La determinazione di questo indicatore si basa su due diversi criteri [11]:

- se il numero di operazioni è pari o superiore a 10 si utilizzano i valori presenti nella tabella numero 5, inserendo come input il numero di operazioni stesso e il tempo complessivo ad esse correlato.
- qualora invece il numero di operazioni sia superiore a 10, si deve considerare la procedura alternativa indicata nella tabella numero 6. In questo caso si riesce a determinare l'indice in questione partendo dalla massa del componente e dalla tempistica totale di disassembly relativa allo stesso.

Number 'n' of steps for the manual disassembly	**Manual disassembly: D_{manual} [%]**				
	Time 't' for disassembly				
	$t \leq 60$ s	$60 \text{ s} < t \leq 120$ s	$120 \text{ s} < t \leq 240$ s	$240 \text{ s} < t \leq 360$ s	$t > 360$ s
n = 1	100%	90%	80%	70%	60%
n = 2	98%	88%	78%	68%	58%
n = 3	96%	86%	76%	66%	56%
n = 4	94%	84%	74%	64%	54%
n = 5	92%	82%	72%	62%	52%
n = 6	90%	80%	70%	60%	50%
n = 7	88%	78%	68%	58%	48%
n = 8	86%	76%	66%	56%	46%
n = 9	84%	74%	64%	54%	44%
n = 10	82%	72%	62%	52%	42%
…	…	…	…	…	…

Tab.6 Valori di D_{manual} per un numero di operazioni pari o inferiore a 10

Mass of the component: 'm'	Manual disassembly: D'_{manual} [%]				
	Time 't' for disassembly				
	$t \leq 60$ s	$60 \text{ s} < t \leq 120$ s	$120 \text{ s} < t \leq 240$ s	$240 \text{ s} < t \leq 360$ s	$t > 360$ s
$m \geq 5$ kg	100%	90%	80%	70%	60%
$3 \leq m < 5$ kg	95%	85%	75%	65%	55%
$1 \text{ kg} \leq m < 3$ kg	90%	80%	70%	60%	50%
$0.5 \text{ kg} \leq m < 1$ kg	85%	75%	65%	55%	45%
$0.1 \text{ kg} \leq m < 0.5$ kg	80%	70%	60%	50%	40%
$m < 0.1$ kg	75%	65%	55%	45%	35%

Tab.7 Valori di D_{manual} definiti con la procedura alternativa

L'indice calcolato successivamente è il disassembly index for mechanical shredding, abbreviato come "$D_{Mechanical}$". Tale indicatore deve essere considerato nel momento in cui è necessaria un'operazione meccanica per la rimozione di un collegamento permanete, come ad esempio una giunzione saldata o realizzata tramite incollaggio. In questo caso è necessaria un'operazione distruttiva che va ad intaccare la bontà dell'azione di smontaggio in una misura inversamente proporzionale al valore percentuale che quantifica l'indice. Quest'ultimo ovviamente dipende dal tipo di materiale che costituisce il collegamento. Nella tabella sottostante sono stati riportati i valori disponibili in letteratura, relativi ai costituenti più impiegati nella fase di manufacturing.

Material	$D_{mechanical}$ [%]
Iron	95%
Precious metals (platinum group, gold, silver)	95%
Aluminium	90%
Copper	85%
Other metals	80%
Plastics (*)	50%
Other materials	0%

(*) values refer to disassembly for the energy recovery. For reuse/recycle D = 0%

Tab.8 Valori di $D_{mechanical}$ relativi ai materiali più diffusi

Successivamente è necessario determinare i degradation sub-indices indicati come "$M_{D,1}$", "$M_{D,2}$" ed "$M_{D,3}$".

Per quanto riguarda il primo indice di degradazione, esso può essere pari al 50% o al 100% se, rispettivamente, esiste o meno il rischio che il componente riutilizzabile non assolva agli standard tecnici critici e ai requisiti legislativi.

Il secondo indice di degradazione riflette invece lo stato del componente. In particolare a seconda dello stress meccanico-chimico, quantificabile come basso, medio e alto, ho rispettivamente i valori 100%, 75%, 50%.

Infine il terzo parametro è relativo al grado in cui un uso scorretto della parte può compromettere le funzionalità del materiale. La classificazione che porta alla determinazione dell'indice prevede dei livelli e di valori identici a quelli di riferimento per $M_{D,2}$.

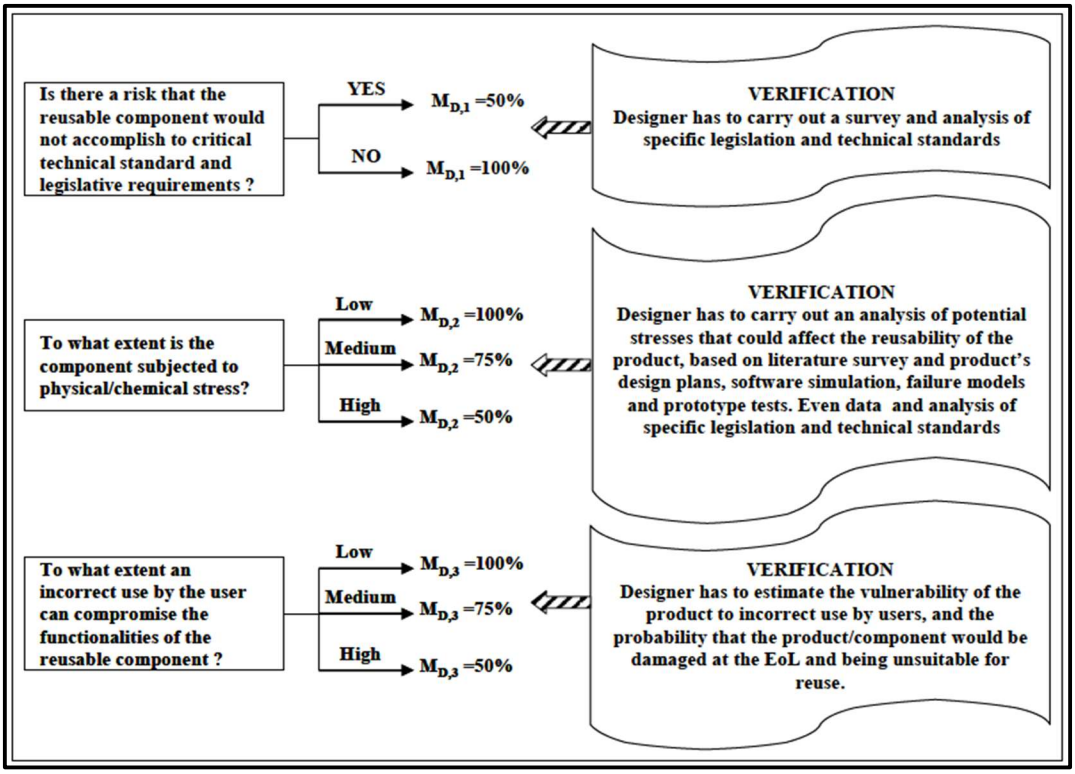


Fig.4 Metodologia per l'attribuzione dei valori dei tre degradation sub-indices

Il prodotto dei tre indicatori illustrati è importante per ottenere l'indice di degradazione complessivo $M_{D.}$ Tale valore è molto importante perché permetterà di quantificare la massa di ciascun componente target che può essere potenzialmente riutilizzata. Infatti, moltiplicando quest'ultimo con la massa totale della parte d'interesse (m_{tot}) e con l'indice di disassemblaggio

complessivo, dato a sua volta dal prodotto di D_{Manual} e di $D_{Mechanical}$, si ottiene proprio il valore della massa idonea al riuso.

$$m_{reuse} = m_{tot} * D_{manual} * D_{mechanical} * M_D \quad (1)$$

Eseguiti questi calcoli, è possibile calcolare l'indicatore relativo al riuso "R_{reuse}" esprimendo in percentuale il rapporto tra la massa complessiva (m_{tot}) e quella totale riutilizzabile (m_{reuse}) dei componenti target.

$$R_{reuse} = \frac{\Sigma_i m_{reuse,i}}{m_{tot}} * 100 \quad (2)$$

con il pedice i che rappresenta il componente target i-esimo.

Successivamente l'analisi degli indicatori deve essere focalizzata nell'individuazione del contributo riciclabile relativo massa complessiva delle parti obiettivo. Bisogna determinare l'indice di riciclabilità M_R, che nei metalli è prossimo al valore unitario. I dati disponibili sono riportati nella tabella circostante.

Table Index M_R calculated for some materials

	Average V_m (*)	Average V_r (*)	Average V_p (*)	M_R index
Aluminium	1.59	0.65	1.45	0.91
Copper	1.77	0.9	1.67	0.94
Zinc	1.2	0.9	1.32	1.10
Gold	9653.23	9213.23	9653.23	1.00
Silver	166.55	155	166.55	1.00
Nickel	7.84	5.72	7.84	1.00
Steel	0.29	0.09	0.29	1.00
Tin	5.74	4.07	-	-
PET	1.68	0.14	1.15	0.68
Paper	0.9	0.08	0.14	0.16
Glass	0.38	0.02	-	-
PE-HD	1.1	0.24	0.93	0.85
PP	0.59	0.21	-	-
Stainless steel	1.94	0.47	-	-

Tab.8 Valori di M_R dei materiali disponibili in letteratura

I valori trovati riguardano esclusivamente metalli puri e non sono disponibili per le leghe. Di conseguenza la quantificazione dell'indice risulta immediata qualora il materiale appartenga alla prima categoria. Invece, nel caso in cui la parte esaminata sia costituita da una lega, occorre fare delle assunzioni. In questa trattazione si è scelto di assegnare il valore dell'indicatore più basso tra quelli dei vari costituenti. Seguendo tale logica una lega di ottone, ad esempio, avrà lo stesso M_R attribuito al rame. Il risultato che ne deriva è una sottostima relativa alle potenzialità del materiale in termini di riciclo. Tale approssimazione è stata ritenuta però più accettabile di un eventuale sovrastima delle qualità possedute dal materiale.

Dopo di che è necessario calcolare l'indice C_1', ovvero il contamination index for recyclability. La definizione di tale indicatore avviene classificando il materiale in una delle quattro categorie presentate in seguito. Alla prima è riferito un livello di contaminazione elevato e un valore dell'indicatore pari allo 0%. In tale gruppo rientrano i materiali caratterizzati dalla presenza di sostanze molto impattanti, normati dalla direttiva ROHS e dalla direttiva REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals), in una percentuale maggiore dello 0,1% del peso complessivo. In questa categoria rientrano anche parti che presentano dei contaminanti denominati come come "knock-out elements", cioè sostanze che mortificano il processo di recupero riducendo a zero la massa potenzialmente riciclabile. Oltre agli elementi appena descritti, sono incluse anche le materie plastiche totalmente incompatibili con l'operazione di riciclo.

Nella seconda categoria, a cui è correlato un valore di C_1' pari al 50%, la contaminazione è di livello medio e riguarda materie plastiche che presentano limitata compatibilità con il riciclo e i materiali che possiedono percentuali maggiori dell'1% relative ad elementi ritenuti penalizzanti. Lo stesso valore dell'indicatore è attribuibile nel caso in cui è necessario l'utilizzo dei trituratori per le operazioni di fine vita.

La terza categoria, che vede un valore dell'indice pari al 75%, è relativa ad un basso indice di contaminazione. Quest'ultima è data dalla presenza di inserti metallici, adesivi, colle e rivestimenti particolari.

L'ultima classificazione riguarda quella dei materiali con contaminazione nulla, ovvero con C_1' uguale al 100%.

Table 11 Example of table for the calculation of the 'Contamination index' for recyclability[36]

To what extent the contamination affect the *Recyclability* of the materials?			
	C_1	C_1'	Note
High	100%	0%	- Contamination regards hazardous substances regulated by the RoHS Directive and substances classified as 'Substance of Very High Concern (SVHC)' by the REACH Directive (contaminant content higher than 0.1% of the component mass). - Contamination regards incompatible plastics as in Table 9 (assuming a manual disassembly and contaminant content higher than 1% of the component mass). - Contamination regards knock-out elements as in Table 10 (assuming a manual disassembly and contaminant content higher than 1% of the component mass).
Medium	50%	50%	- Contamination regards plastic with limited compatibility as in Table 9 (assuming manual disassembly and contaminant content higher than 1% in mass). - Contamination regards penalty elements as in Table 10 (assuming manual disassembly and contaminant content higher than 1% in mass). - Contamination is due to the use of shredders for the separation/disassembly.
Low	25%	75%	- Contamination regards the use of acoustical foam, metal inserts, paints, brackets, coatings, labels, glues or adhesives (contaminant content higher than 1% of the component mass), unless manufacturer/designer can prove with a sufficient technical/scientific documentation that that employed materials are compatible with the recycling or/and contaminant can be removed without residues in an economic viable way.
None	0%	100%	- none of the previous situations

Tab.9 Metodologia di attribuzione dell'indice C_1' e del suo complementare percentile C_1

Per completezza sono stati riportati nella tabella sottostante i "penalty elements" e i "knock-out elements" dei metalli principali.

Metals (processed by smelters)	Penalty elements (seriously decrease the value of the recyclable fraction)	Knock-out elements (decrease value of the recyclability to zero)
Copper(Cu)	As, Sb, Ni, Bi, Al	Hg, Be, polychlorobenzene
Aluminium (Al)	Si	Cu, Fe, polymers
Iron (Fe)	Sn, Zn	Cu

Tab.10 Penalty elements and Knock-out elements relativi ai metalli principali

Una volta esplicitati gli indici di riciclo e di contaminazione è possibile effettuare il loro prodotto con l'indice di disassembly e la massa del componente. Si può così ricavare la massa potenzialmente riciclabile ($m_{recycle}$), come espresso nella formula riportata.

$$m_{recycle} = m_{tot} * D_{manual} * D_{mechanica} * C_1' * M_R \quad (3)$$

Infine è possibile calcolare l'indice di riciclo $R_{Recycle}$, esprimendo in percentuale il rapporto tra la somma delle masse riciclabili relative ai componenti considerati e la somma delle masse totali di questi ultimi.

$$R_{Recycle} = \frac{\Sigma_i m_{recycle,i}}{m_{tot}} * 100 \quad (4)$$

con il pedice "i" che indica l'i-esimo componente target.

Una volta che sono stati determinati R_{Reuse} ed $R_{Recycle}$ è possibile avere un'idea precisa relativa al valore che ha il prodotto a fine vita. Ovviamente i due indici dipendono da molteplici fattori, che derivano dalla bontà progettuale in termini di ecodesign e design for demanufacturing.

Gli indicatori individuati in precedenza risultano importanti per determinare la strategia di EoL da applicare ai componenti target. Ciò comporterà la definizione di più scenari di vita che prevedono il riuso, il remanufaturing o il riciclo dei componenti. Successivamente verrà quantificato il loro impatto, che sarà confrontato con quello del ciclo di vita standard, per comprendere i benefici derivanti dallo studio effettuato.

La simulazione può essere effettuata con SimaPro ed è basata sulla seguente modellizzazione dei costituenti:

- i componenti target destinati al riuso sono privati della loro massa e di tutte le operazioni di manufacturig ad essi dedicati. Tali scelte portano ad avere un impatto nullo, in linea con il fatto che il riuso della parte non necessita di alcun processo supplementare che andrebbe a gravare sull'ambiente
- le parti obiettivo destinate ad un processo di rilavorazione prevedono sempre l'azzeramento della massa e dei contributi legati ai processi di manufacturing oltre all'inserimento di un'operazione generale di remanufacturing relativa al 30% del peso originario
- gli elementi target destinati al riciclo sono modellati mantenendo tutti gli elementi e i processi caratteristici nella fase di manufacturing, migliorando però l'efficienza del processo di triturazione e di riciclo. Questa scelta è giustificata dal fatto che il

disassembly dei componenti obiettivo è completo, di conseguenza essi risultano perfettamente separati dai restanti costituenti al termine del demanufacturing

- le parti non target vedono invece il mantenimento di tutti gli aspetti del ciclo di vita standard, pertanto la fase di riciclo sarà caratterizzata da una minore efficacia in termini recupero del materiale

Per delineare meglio l'ultimo concetto espresso, è stata riportata una tabella riassuntiva che confronta la fase del riciclo dei componenti obiettivo e quella relativa agli elementi che costituiscono la restante parte dell'assieme. Le percentuali di recupero sono state supposte coerentemente con quanto affermato nella modellizzazione.

PERCENTUAI DI RECUPERO		
Materiale	Altri componenti	Componenti target
Alluminio	50%	80%
Ottone	25%	50%
Rame	70%	80%
Acciaio	70%	80%

Tab.11 Percentuali di recupero relative al riciclo dei componenti target e delle altre parti costituenti

L'ultima fase dello studio è relativa all'analisi dei risultati derivanti dal confronto tra i vari scenari, per determinare i benefici qualitativi e quantitativi che sono stati ottenuti.

5 Case study

5.1 L'azienda: Nuova Simonelli

L'azienda Simonelli nasce a Cessapalombo (MC) nel 1936, anno in cui debuttò sul mercato con la sua prima macchina per caffè espresso la "1936" [12]. Il modello è all'avanguardia per quei tempi e sottolinea fin da subito l'ambizione dell'azienda nel ricoprire un ruolo di nicchia nel settore.

Nel 1969 l'impresa vede un cambiamento dell'assetto proprietario e del proprio nome che diventa quello odierno, ovvero Nuova Simonelli.

Una svolta significativa che accresce la competitività tecnica del marchio arriva nel 2001, quando l'azienda rileva Victoria Arduino, diventando leader nel settore di lusso [13].

Negli ultimi anni le scelte strategiche sono indirizzate all'ampliamento del mercato, arrivando a contare anche tre sedi di distribuzione estere in America, Francia e Singapore. Tutto questo senza dimenticare un solido legame con oltre 600 tra importatori e concessionari, che ha reso possibile la conquista del 10% del mercato globale. L'esportazione è correlata infatti al 90% della produzione e i mercati più floridi sono quelli del Pacifico (Asia e Oceania) oltre ovviamente a quello europeo.

La bontà delle scelte economico-produttive trova riscontro nei dati del fatturato complessivo, che è addirittura quadruplicato tra il 2009 e il 2016.

Nel 2017 arriva per la quarta volta nella storia del marchio il prestigioso premio "Company to watch", attribuito per meriti relativi alla vocazione internazionale, alla qualità e all'innovazione tecnologica che caratterizzano i prodotti realizzati [14].

La Nuova Simonelli ha mostrato negli ultimi anni un impegno sempre maggiore in ottica green come testimoniato dallo storico presidente del gruppo [13]. L'azienda infatti reinveste una quota importante del ricavato per perfezionare la compatibilità ambientale dei processi e dei materiali utilizzati per ottenere tutti i suoi prodotti.

5.2 Oggetto del caso di studio

L'oggetto dell'analisi effettuata in questo case study è la macchinetta del caffè professionale VA358, progettata e costruita dalla Nuova Simonelli. Questo è uno dei modelli di punta dell'azienda in quanto è caratterizzata da scelte stilistiche e specifiche tecniche ricercate. La VA358 è disponibile nella configurazione a due gruppi di erogazione, come quella presa in considerazione nella trattazione, oppure nella variante a tre sistemi di erogazione.

Fig.5 Modello di VA358 con due sistemi di erogazione

Dal punto di vista analitico si presenta come un assieme molto complesso, in quanto costituito da centinaia di parti. Per tale ragione si è scelto di mantenere lo schema della BOM che prevede la classificazione di queste ultime in più gruppi, ciascuno dei quali ha una specifica funzione nel processo di produzione. I gruppi individuati sono:

- l'assieme attacco-lancia acqua che ha il compito di far fuoriuscire l'acqua calda (ad esempio per la preparazione di una tisana). Esso è costituito dal kit lancia acqua in acciaio inox, dall'attacco che collega il gruppo a quello dei tubi collettori e dal passacavo a membrana
- il gruppo carena che comprende l'involucro metallico della parte anteriore e posteriore che costituisce la macchinetta. Gli elementi più importanti sono il retro carena, la parete anteriore e la lamiera frontale
- l'assieme del fianco sinistro che, una volta rimosso, permette l'accesso laterale all'interno della macchinetta. Esso è composto da una parte superiore e da una inferiore, entrambe cromate
- l'assieme fianco destro per cui valgono le stesse considerazioni fatte per quello sinistro
- l'assieme carter-scheda display che, come si deduce dal nome, comprende l'involucro rigido che contiene e protegge la scheda display e il comparto elettronico ad essa collegato, oltre ai tasti con cui accedere ai vari programmi

- l’assieme coprigruppo-scheda di erogazione, simile al precedente che contiene il carter del gruppo di erogazione oltre al comparto elettronico ad esso dedicato
- l’assieme dosatore che è deputato alla regolazione della quantità di fluido che viene erogata nel sistema. Le parti fondamentali sono un dosatore volumetrico ed un filtro in acciaio inox
- il gruppo a cui appartiene l’elettrovalvola dell’acqua calda e l’elettrovalvola del miscelatore
- i due gruppi di erogazione, destro e sinistro, che permettono di erogare l’acqua necessaria alla preparazione del caffè
- il gruppo motore-pompante, costituito da un motore elettrico di potenza pari a 165W che consente il funzionamento di una pompa volumetrica in grado di far circolare il fluido nel circuito della macchinetta
- il gruppo idraulico che rappresenta un circuito interno alla macchinetta collegato con l’assieme dei tubi collettori. Esso comprende diversi elementi tra cui due elettrovalvole di ritegno, un’elettrovalvola a due vie, due collettori di scarico, una valvola neplax e diversi tipi di tubi
- il gruppo main boiler che comprende la caldaia e tutti gli elementi che ne permettono il collegamento con le altre parti della macchinetta (attacchi vapore, attacco gas…)
- l’assieme scaldatazze costituito da una superficie metallica su cui vanno appoggiate le tazze, riscaldata tramite degli elementi di resistenza. Tale gruppo è accessibile dall’esterno e posizionato nella parte superiore della macchinetta
- l’assieme scatola accessori, che comprende tutte quelle parti ausiliare contenute nella scatola d’imballaggio. Come verrà spiegato in seguito, gli accessori oggetto dell’analisi saranno solo quelli relativi all’assieme portafiltro, cioè quel gruppo che consente l’inserimento nel processo della miscela di caffè
- l’assieme staffa-manometro, che comprende gli strumenti di lettura della pressione e le parti che fungono da sostegno per questi ultimi
- il gruppo supporto-centralina che, come deducibile dal nome, comprende la centralina con la scatola di alloggio ed alcuni elementi a protezione della stessa
- l’assieme del telaio che ha funzione strutturale e di sostegno dei gruppi ad esso collegati
- il gruppo tubi collettori, che costituisce il cuore vero e proprio del circuito interno in cui circola il fluido. Infatti, permette a quest’ultimo, che proviene dalla caldaia, di raggiungere i gruppi a cui è destinato

- l’assieme valvola di sicurezza che, oltre all’omonima valvola comprende anche una valvola di sfiato e una vaschetta in cui è raccolta la condensa
- l’assieme dei piedi cromati, che permette l’appoggio della macchinetta tramite quattro piedi
- il gruppo dei componenti elettrici
- l’assieme rubinetto-lancia vapore che consente l’erogazione del fluido sottoforma gassosa

5.3 Ciclo di vita attuale della VA358

Inizialmente lo studio ha riguardato l’analisi dell’intero ciclo di vita della VA358. I contributi ambientali che sono stati presi in considerazione riguardano le fasi di:

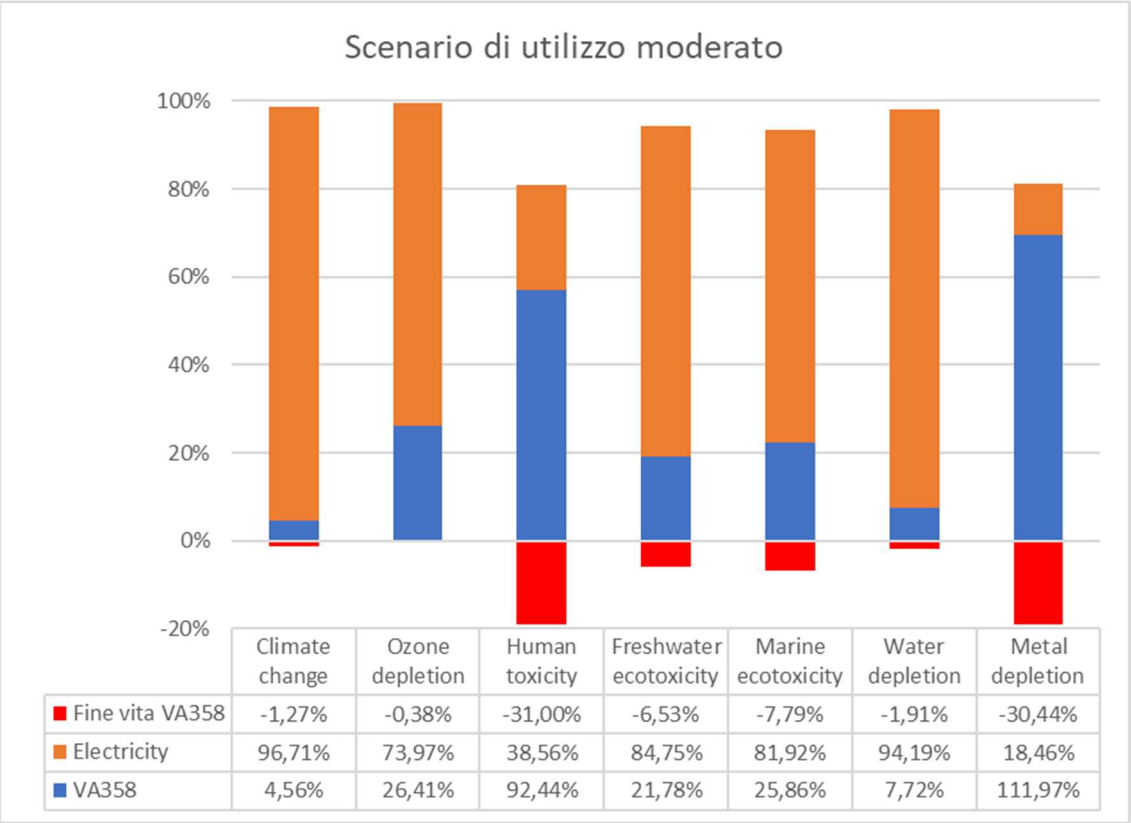
- material e manufacturing
- uso, ovvero quando la macchina del caffè è in funzione ed ha un fabbisogno energetico
- fine vita

L’analisi LCA è stata effettuata considerando un utilizzo moderato, normale ed intensivo della VA358 in Italia. Risulta molto importante specificare il paese in cui il prodotto è operativo, poiché ogni stato ha una diversa politica relativa all’approvvigionamento energetico per soddisfare le richieste delle utenze. Un esempio è rappresentato dai paesi scandinavi, da sempre all’avanguardia per quanto riguarda l’ecosostenibilità. In questo caso infatti, una quota significativa della produzione energetica è ottenuta da fonti rinnovabili, per cui il peso ambientale dovuto alla fase d’uso della macchinetta sarà molto minore rispetto a quello relativo ad un paese europeo o americano, a parità ovviamente di tutti i fattori d’esercizio.

Per quanto concerne lo scenario di utilizzo moderato, vi è una prevalenza marcata in termini impattanti della fase d’uso nelle voci di climate change con il 96,71%, water depletion con il 94,19%, freshwater ecotoxicity con l’84,75% e marine ecotoxicity con l’81,92%. Riguardo l’ozone depletion il contributo legato al fabbisogno energetico è meno marcato ma ancora significativo dato che si attesta su un valore prossimo al 74%.

Diversa è la situazione se si considerano l'human toxicity e il metal depletion in cui le percentuali significative sono dovute ai materiali e al loro assemblaggio. I valori sono pari rispettivamente al 92,44% e al 111,97%.

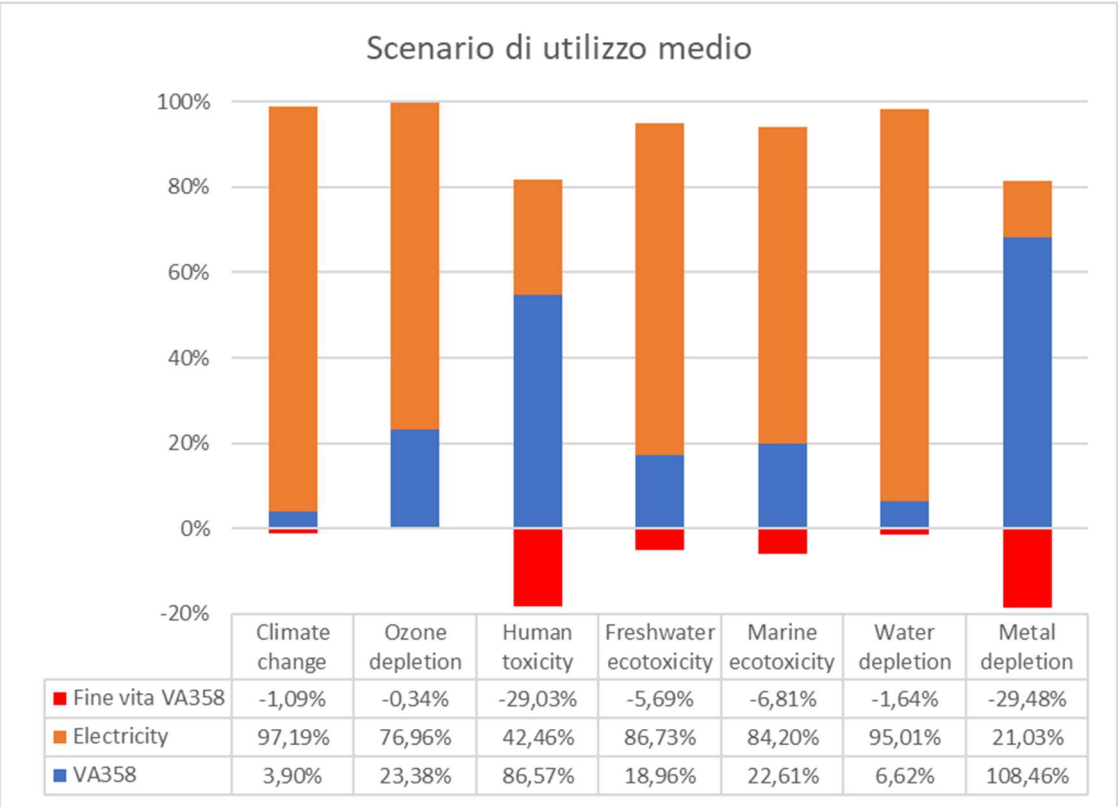
Il motivo per il quale alcune percentuali possono risultare maggiori del 100% è dovuto alla al valore negativo correlato alla fase di fine vita, che va a minimizzare l'impatto complessivo del ciclo, poiché un processo di end of life finalizzato al recupero garantisce una drastica diminuzione del danno arrecato all'ambiente rispetto alla produzione del componente ex-novo.



	Climate change	Ozone depletion	Human toxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Water depletion	Metal depletion
Fine vita VA358	-1,27%	-0,38%	-31,00%	-6,53%	-7,79%	-1,91%	-30,44%
Electricity	96,71%	73,97%	38,56%	84,75%	81,92%	94,19%	18,46%
VA358	4,56%	26,41%	92,44%	21,78%	25,86%	7,72%	111,97%

Fig.6 Impatto del ciclo di vita in caso di utilizzo moderato del prodotto

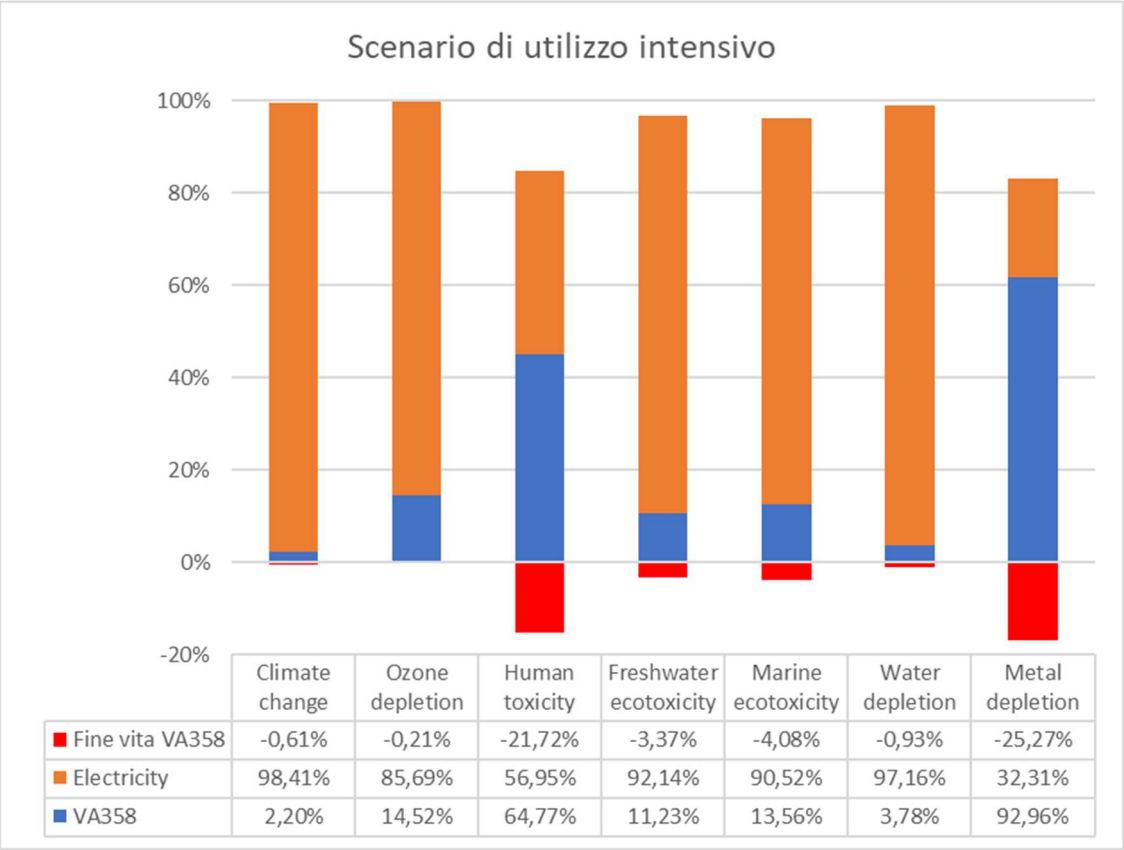
Uno scenario di utilizzo medio prevede un tempo di funzionamento del prodotto maggiore rispetto al caso precedente. Per tale ragione i contributi legati all'utilizzo del bene aumenteranno in tutte le voci ambientali. L'incremento però non risulta troppo marcato, in quanto quantificabile al massimo come il 3-4%, per cui valgono le considerazioni espresse nello scenario precedente.



	Climate change	Ozone depletion	Human toxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Water depletion	Metal depletion
Fine vita VA358	-1,09%	-0,34%	-29,03%	-5,69%	-6,81%	-1,64%	-29,48%
Electricity	97,19%	76,96%	42,46%	86,73%	84,20%	95,01%	21,03%
VA358	3,90%	23,38%	86,57%	18,96%	22,61%	6,62%	108,46%

Fig.7 Impatto del ciclo di vita in caso di utilizzo medio del prodotto

L'ultima simulazione considerata è quella che vede un uso intensivo della macchinetta. Aumentando le ore di funzionamento si conferma la tendenza individuata precedentemente, ovvero l'incremento dell'impatto ambientale dovuto all'alimentazione elettrica di cui necessita l'apparecchio. Sebbene in alcune voci l'incremento sia particolarmente marcato, anche in questo caso la panoramica ambientale restituita dalla simulazione non presenta dei cambiamenti significativi nelle voci di Human toxicity e metal depletion, poiché i contributi percentuali maggiori sono ancora legati ai materiali impiegati e al loro assemblaggio. I valori percentili sono pari rispettivamente al 64,77% e al 92,96%.



	Climate change	Ozone depletion	Human toxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Water depletion	Metal depletion
Fine vita VA358	-0,61%	-0,21%	-21,72%	-3,37%	-4,08%	-0,93%	-25,27%
Electricity	98,41%	85,69%	56,95%	92,14%	90,52%	97,16%	32,31%
VA358	2,20%	14,52%	64,77%	11,23%	13,56%	3,78%	92,96%

Fig.8 Impatto del ciclo di vita in caso di utilizzo intensivo del prodotto

Dall'analisi condotta si comprende che, se da un lato la fase d'uso è particolarmente impattante, non è da meno anche quella di manufacturing. Mentre però il tipo di utilizzo è molto variabile e dipendente da fattori esterni, ciò che è possibile fare concretamente è diminuire l'impatto dovuto ad alcuni costituenti che presentano una scarsa compatibilità ambientale, elaborando strategie di riutilizzo, rilavorazione e riciclo mirate all'ottenimento di benefici significativi in ottica green.

5.4 Scelta dei gruppi più impattanti

L'obiettivo successivo dell'analisi è relativo alla selezione dei componenti di maggiore impatto, denominati come componenti target.

Poiché il prodotto analizzato risulta costituito da diverse centinaia di parti, sono stati individuati in prima battuta dei gruppi maggiormente impattanti a partire dai quali, grazie ad ulteriori simulazioni, sono state individuate le parti obiettivo.

Come verrà specificato in seguito, il peso specifico ambientale correlato a ciascun gruppo che è stato selezionato risulta differente. Tale aspetto si rivelerà cruciale nella scelta dei componenti target, poiché non si deve considerare solamente i valori percentuali ottenuti per ciascuna parte, ma è necessario valutare anche il peso impattante del sotto-assieme da cui essa proviene.

La selezione dei gruppi è avvenuta studiando la simulazione ambientale della fase di material e manfacturing, effettuata con il software SimaPro.

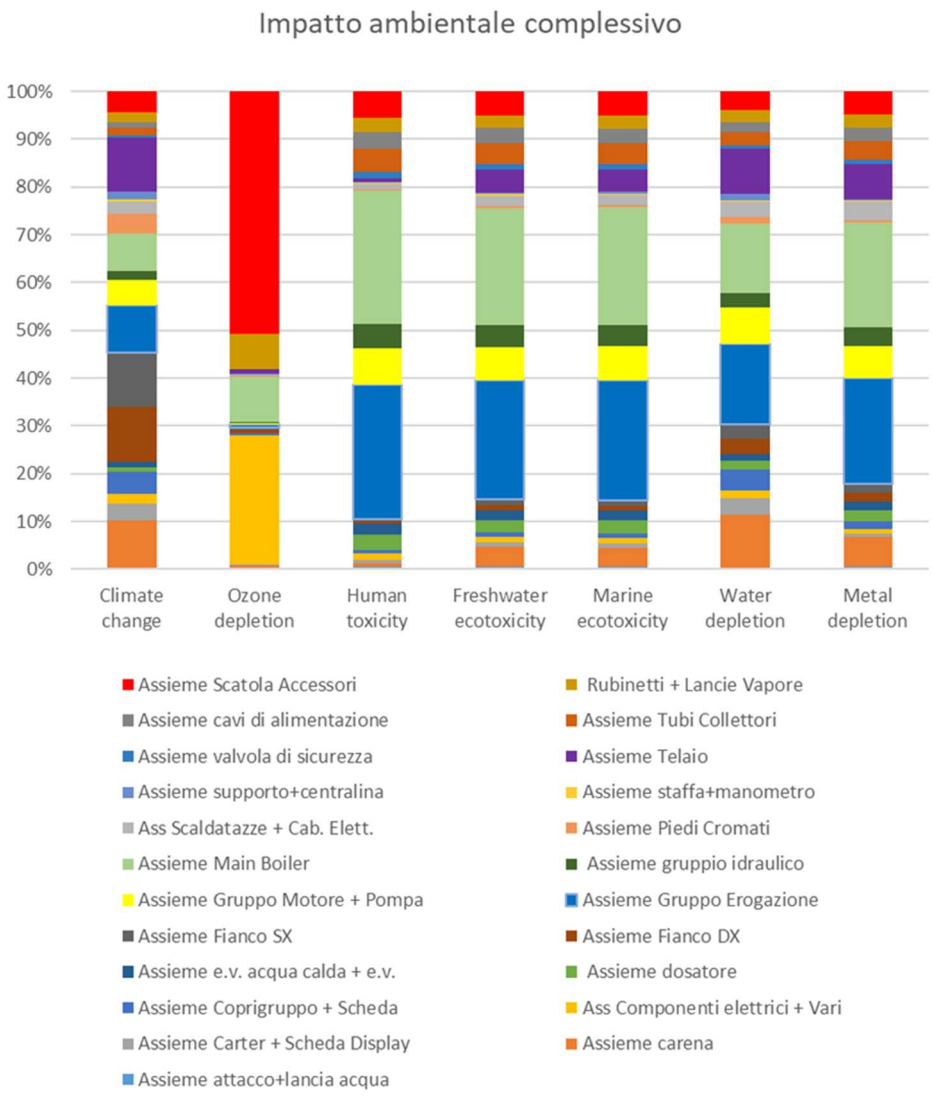


Fig.9 Analisi impatto ambientale dei materiali dell'intero assieme

L’analisi condotta mostra che le unità costituenti di maggiore impatto sono:

- il gruppo di erogazione, che al netto delle voci di climate change e ozone depletion ha una percentuale sempre compresa tra il 16,7% e il 28,3%
- il gruppo del main boiler, che ha dei valori importati nelle stesse voci in cui è rilevante il contributo dell’assieme di erogazione, con percentuali comprese tra il 14,4% e il 27,9%
- il gruppo motore-pompa, che ha un impatto complessivo minore rispetto ai primi due ma con percentuali, eccetto quella relativa all’ozone depletion, sicuramente rilevanti poiché comprese tra il 5,3%e il 7,7%
- l’assieme del telaio, che ha valori minimi nelle voci di human toxicity e ozone depletion, mentre in quelle restanti risultano significativi poiché oscillano tra il 4,6% e l’11,2%
- il gruppo degli accessori, che presenta il valore maggiore di ozone depletion pari al 50,7%. Tale risultato percentile giustifica l’inserimento di questo sotto-assieme tra quelli di maggior peso ambientale, nonostante le restanti voci abbiano valori minori, compresi tra il 4% e il 5%.

	Climate change	Ozone depletion	Human toxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Water depletion	Metal depletion
Assieme Scatola Accessori	4,42%	50,69%	5,46%	5,01%	5,04%	3,93%	4,74%
Rubinetti + Lancie Vapore	1,95%	7,35%	2,96%	2,70%	2,73%	2,52%	2,83%
Assieme cavi di alimentazione	1,34%	0,07%	3,49%	3,06%	3,07%	2,09%	2,73%
Assieme Tubi Collettori	1,60%	0,11%	5,01%	4,44%	4,47%	2,82%	3,99%
Assieme valvola di sicurezza	0,44%	0,03%	1,25%	1,10%	1,11%	0,75%	0,98%
Assieme Telaio	11,23%	0,70%	0,77%	4,85%	4,57%	9,28%	7,23%
Assieme supporto+centralina	1,69%	0,35%	0,29%	0,39%	0,39%	1,45%	0,31%
Assieme staffa+manometro	0,38%	0,03%	0,21%	0,31%	0,31%	0,34%	0,37%
Ass Scaldatazze + Cab. Elett.	2,61%	0,17%	1,20%	2,16%	2,08%	3,13%	3,75%
Assieme Piedi Cromati	4,09%	0,20%	0,16%	0,44%	0,40%	1,44%	0,56%
Assieme Main Boiler	7,84%	9,57%	27,95%	24,53%	24,70%	14,41%	21,92%
Assieme gruppio idraulico	1,84%	0,12%	4,98%	4,42%	4,46%	3,00%	3,97%
Assieme Gruppo Motore + Pompa	5,30%	0,34%	7,59%	7,14%	7,15%	7,72%	6,49%
Assieme Gruppo Erogazione	9,89%	0,64%	28,29%	24,75%	25,13%	16,72%	22,34%
Assieme Fianco SX	11,48%	0,53%	0,45%	1,14%	1,04%	3,12%	1,77%
Assieme Fianco DX	11,48%	0,53%	0,45%	1,14%	1,04%	3,12%	1,77%
Assieme e.v. acqua calda + e.v.	1,03%	0,07%	2,32%	2,11%	2,13%	1,57%	1,93%
Assieme dosatore	1,07%	0,07%	3,04%	2,67%	2,70%	1,80%	2,37%
Assieme Coprigruppo + Scheda	4,58%	0,30%	0,90%	0,83%	0,95%	4,25%	1,45%
Ass Componenti elettrici + Vari	2,01%	27,07%	1,22%	1,13%	1,12%	1,64%	1,02%
Assieme Carter + Scheda Display	3,58%	0,27%	0,87%	0,99%	0,92%	3,50%	0,65%
Assieme carena	9,82%	0,75%	0,62%	4,17%	3,95%	10,99%	6,32%
Assieme attacco+lancia acqua	0,34%	0,02%	0,53%	0,53%	0,53%	0,42%	0,52%

Tab.12 Risultati dell’analisi dei materiali relativa all’assieme complessivo

5.5 Scelta dei componenti target

Come accennato nel paragrafo precedente, la selezione dei gruppi che presentano un maggior peso in ottica green è fondamentale per l'individuazione delle parti ricercate.

I sotto-assiemi scelti presentano un'organizzazione ben precisa. Al loro interno è possibile trovare sia dei componenti, selezionabili direttamente come elementi target, sia dei sotto-gruppi, che necessitano di un'ulteriore analisi finalizzata all'ottenimento dei risultati ambientali relativi ad ogni singolo costituente.

Nei sottoparagrafi successivi verranno studiati tutti i gruppi più impattanti per determinare le parti target di ciascuno di essi.

5.5.1 Analisi del gruppo di erogazione

Il modello di VA358 analizzato presenta due gruppi di erogazione, uno destro e uno sinistro identici in ogni costituente, che permettono la distribuzione dell'acqua calda che andrà a mescolarsi con la miscela di caffè. Per tale ragione le considerazioni che vengono effettuate in questo sottoparagrafo valgono per entrambi i sistemi. Assieme al gruppo del main boiler, i sistemi di erogazione rappresentano in termini ambientali i sotto-assiemi più impattanti per la maggior parte delle voci ambientali prese in considerazione. Ciascun sistema di erogazione è costituito dai componenti presenti nella tabella sottostante.

CODICE	COMPONENTE	Q.TA'	MATERIALE
00000113	VITE INOX M4x6	2	Acciaio inox
00000118	VITE INOX M4x12	6	Acciaio inox
00000160	RONDELLA INOX D4x12x1	2	Acciaio inox
00000168	VITE INOX M6x35	4	Acciaio inox
00000192	VITE INOX M4x8	1	Acciaio inox
00000197	VITE INOX M6x8	1	Acciaio inox
00000217	VITE INOX M6	1	Acciaio inox
00000221	RONDELLA DI SICUREZZA INOX M6	1	Acciaio inox
01000184	ISOLANTE GRUPPO EROGAZIONE	1	PVDF Foam (Zotek)
02280012	GUARN. OR 2093 D.27	1	Viton
02280033	GUARN. OR 75,92x1,78	1	NBR
03000066	DOCCIA INOX 56x5,5x 6	1	Acciaio INOX
04100017	E.V. 3 VIE PAERKER	1	Ottone ed altri
06200081	ANELLO GRUPPO	1	Ottone
06200089	CORPO GRUPPO EROGAZIONE	1	Ottone
07300128	TAPPO 1/4 GAS	2	Ottone
07300166	FLANGIA CHIUSURA BLOCCHETTO	1	Ottone
07300172	RACCORDO 3/8"M-3/8"M	2	Ottone
07300183.5	PADIGLIONE GRUPPO	1	Ottone
07300225	GIGLER M8x8 F.3	1	Ottone
07300226	GIGLER M8x8 F.2	1	Ottone
40200004	GUARNIZ. SOTTOCOPPA CONICA	1	NBR
09500004	TERMOSTATO	1	Acciaio ed altri

Tab.13 Costituenti di un singolo gruppo di erogazione

Nell'analisi LCA effettuata le viti e rondelle sono raggruppate nella voce "minuteria in acciaio" ed è trascurato il contributo dello strato isolante presente sul corpo del gruppo.

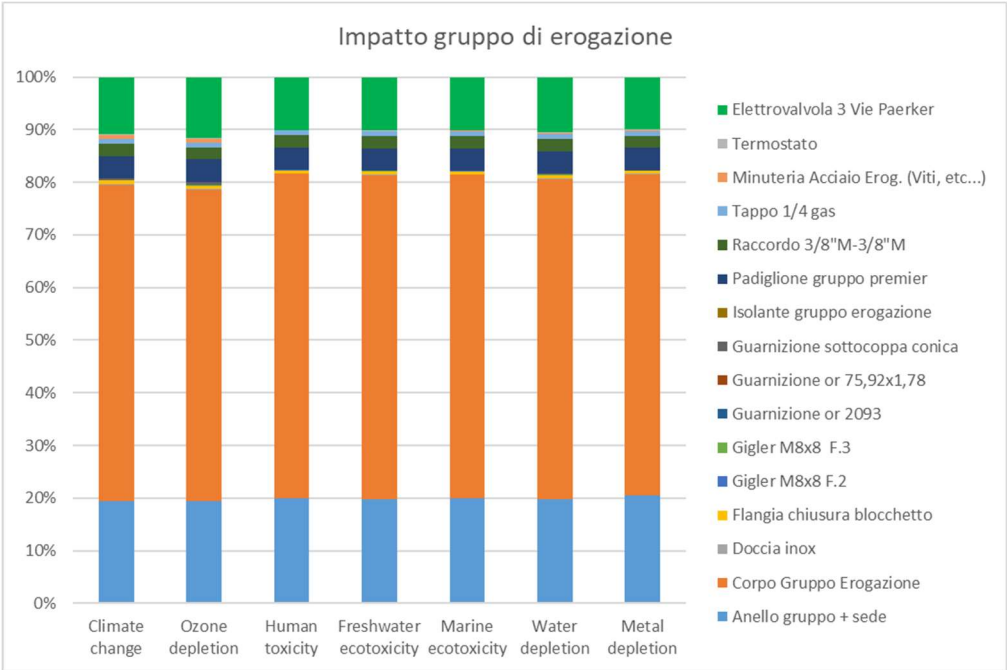


Fig.10 Analisi impatto ambientale dei materiali relativi al gruppo di erogazione

I risultati ottenuti hanno portato alla selezione di tre componenti target per ciascuno dei due sistemi:

- il corpo del gruppo di erogazione, che rappresenta l'elemento di maggiore impatto in tutte le voci, con percentuali comprese tra il 59,1% e il 61,6%. Tale parte presenta un elevato indice di criticità dato che da sola impatta più dei restanti costituenti del sistema. Il corpo del gruppo ha una funzione strutturale in quanto sostiene tutti i componenti presenti
- l'anello del gruppo, che rappresenta il secondo pezzo maggiormente impattante in tutte le voci, i cui valori ambientali oscillano tra il 19,4% e il 20,5%. Esso risulta concentrico al sito in corrispondenza del quale avviene l'erogazione dell'acqua, permessa da una doccia inox
- l'elettrovalvola a tre vie Paerker, che non può essere trascurata in ottica green, poiché ha percentuali impattanti comprese tra il 10% e l'11%. Tali valori acquisiscono maggiore rilevanza considerando che il sistema di erogazione, in quasi tutte le voci ambientali, è uno dei meno ecocompatibili tra quelli che compongono il prodotto.

	Climate change	Ozone depletion	Human toxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Water depletion	Metal depletion
Elettrovalvola 3 Vie Paerker	10,85%	11,60%	10,13%	10,20%	10,16%	10,54%	10,01%
Termostato	0,24%	0,23%	0,01%	0,05%	0,04%	0,10%	0,08%
Minuteria Acciaio Erog. (Viti, etc...)	0,72%	0,67%	0,02%	0,14%	0,13%	0,28%	0,25%
Tappo 1/4 gas	0,88%	0,87%	0,88%	0,88%	0,88%	0,88%	0,87%
Raccordo 3/8"M-3/8"M	2,31%	2,29%	2,31%	2,32%	2,31%	2,31%	2,28%
Padiglione gruppo premier	4,28%	4,24%	4,26%	4,28%	4,26%	4,27%	4,21%
Isolante gruppo erogazione	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%
Guarnizione sottocoppa conica	0,23%	0,63%	0,00%	0,01%	0,01%	0,15%	0,00%
Guarnizione or 75,92x1,78	0,01%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%
Guarnizione or 2093	0,01%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Gigler M8x8 F.3	0,07%	0,07%	0,07%	0,07%	0,07%	0,07%	0,07%
Gigler M8x8 F.2	0,08%	0,08%	0,08%	0,08%	0,08%	0,08%	0,08%
Flangia chiusura blocchetto	0,57%	0,56%	0,57%	0,57%	0,57%	0,57%	0,56%
Doccia inox	0,22%	0,21%	0,01%	0,04%	0,04%	0,09%	0,07%
Corpo Gruppo Erogazione	60,12%	59,12%	61,67%	61,51%	61,56%	60,93%	60,96%
Anello gruppo + sede	19,38%	19,35%	20,02%	19,86%	19,90%	19,70%	20,55%

Tab.14 Risultati dell'analisi dei materiali relativa al gruppo di erogazione

5.5.2 Analisi del gruppo main boiler

Il gruppo della caldaia è, come detto in precedenza, uno dei sotto-assiemi più impattanti tra quelli che costituiscono la macchinetta del caffè.

La scelta dei componenti target in questo caso non è immediata. Infatti, come è spiegato nella sezione introduttiva del paragrafo, l'organizzazione gerarchica dei componenti è eterogenea. In altri termini è possibile ritrovare nello stesso livello di assemblaggio, relativo al modello inserito nel software, sia componenti che sotto-gruppi. Pertanto lo studio è più complesso rispetto a quello del sistema di erogazione, in quanto sono presenti più livelli di analisi.

Il primo livello considerato è composto dagli elementi raccolti nella tabella sottostante, in cui sono riportate anche le relative quantità.

CODICE	COMPONENTE	Q.TA'	MATERIALE
00000048	VITE AUTOFILETTANTE	2	Acciaio al carbonio
00000094	VITE INOX M8x20	4	Acciaio INOX
00300032	DADO 1/2" GAS	4	Ottone
02060015	GUARNIZIONE PTFE	1	PTFE
02280011	GUARNIZIONE R11	8	NBR
02290016	GUARNIZIONE SILICONE	2	Silicone
03003230	STAFFA FISSAGGIO CALDAIA	1	Acciaio INOX
07300067	DADO RACCORDO 3/8 GAS D11	4	Ottone
07300097	TERMINALE CHIUSO	4	Ottone
07300213.10	CORPO SCAMBIATORE	4	Ottone
09000005	SONDA AUTOLIVELLO	1	Ottone e Acciaio inox
14100031	RESISTENZA 4500W 220/380	1	Vari
11740001	TUBO TEFLON	1	Teflon
98031002	SOTTO-ASSIEME CILINDRO	1	Rame ed Ottone

Tab.15 Costituenti del primo livello del gruppo main boiler

L'analisi LCA relativa al primo livello ha permesso di individuare i sotto-gruppi più impattanti.

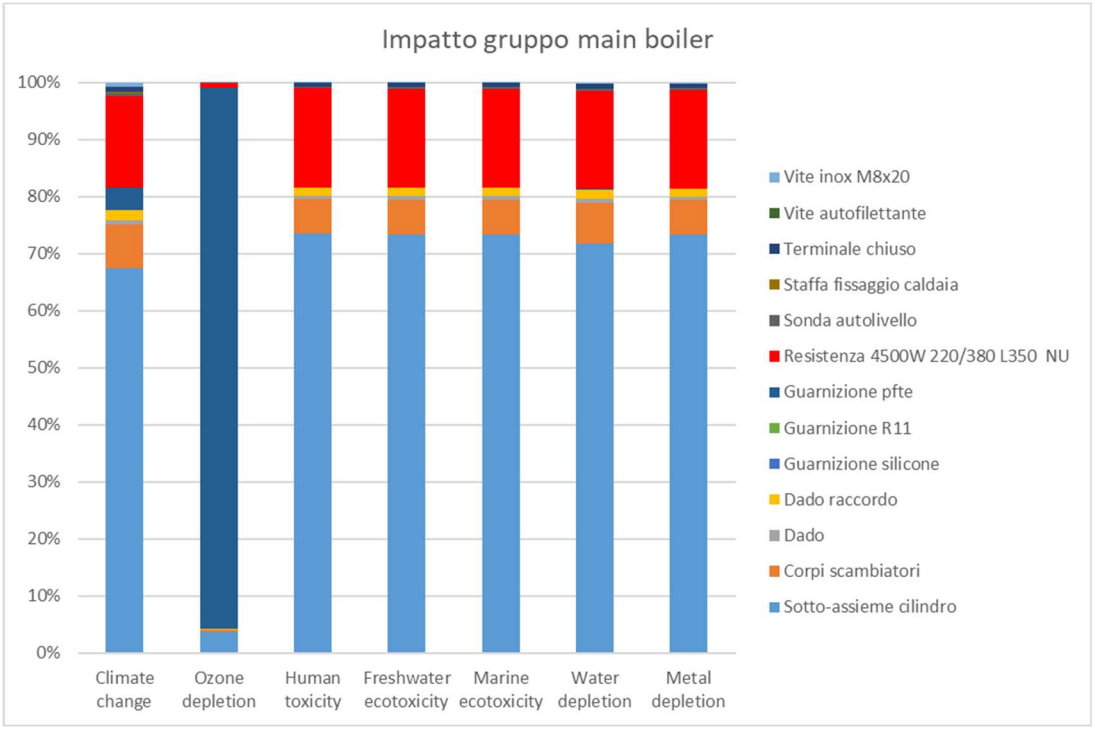


Fig.11 Analisi impatto ambientale dei materiali relativi al primo livello del gruppo main boiler

Lo studio effettuato ha evidenziato gli elevati impatti:

- del sotto-assieme del cilindro, che comprende la caldaia vera e propria, al netto di molti ausiliari del gruppo. Le percentuali di impatto sono elevate eccetto per la voce ozone depletion. Tuttavia ciò non pregiudica il peso specifico del sotto-assieme, poiché per tale voce il contributo da considerare è quello relativo al gruppo degli accessori, analizzato in un secondo momento. I valori percentuali da considerare quindi si attestano tra il 67,4% e il 73,5%
- del comparto di resistenza, che ha delle percentuali impattanti tra il 16% e il 17,4% in tutte le voci ad eccezione dell'ozone depletion.

	Climate change	Ozone depletion	Human toxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Water depletion	Metal depletion
Vite inox M8x20	0,75%	0,04%	0,01%	0,12%	0,11%	0,26%	0,21%
Vite autofilettante	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Terminale chiuso	0,90%	0,05%	0,70%	0,71%	0,71%	0,82%	0,70%
Staffa fissaggio caldaia	0,23%	0,01%	0,00%	0,04%	0,03%	0,10%	0,06%
Sonda autolivello	0,55%	0,03%	0,31%	0,33%	0,33%	0,41%	0,35%
Resistenza 4500W 220/380 L350 NU	15,96%	0,89%	17,40%	17,34%	17,33%	17,14%	17,35%
Guarnizione pfte	4,01%	94,74%	0,01%	0,01%	0,01%	0,16%	0,00%
Guarnizione R11	0,04%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%
Guarnizione silicone	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Dado raccordo	1,75%	0,09%	1,37%	1,38%	1,38%	1,59%	1,37%
Dado	0,78%	0,04%	0,61%	0,62%	0,62%	0,71%	0,61%
Corpi scambiatori	7,64%	0,40%	6,11%	6,11%	6,14%	7,02%	6,08%
Sotto-assieme cilindro	67,38%	3,71%	73,47%	73,35%	73,33%	71,77%	73,27%

Tab.16 Risultati dell'analisi dei materiali relativa al primo livello del gruppo main boiler

I due elementi selezionati sono stati oggetto dell'analisi LCA di secondo livello, mirata alla selezione delle parti target presenti in ciascuno di essi.

Per quanto riguarda il sotto-assieme del cilindro la tipologia dei componenti e la loro quantità sono riportate nella tabella seguente.

CODICE	COMPONENTE	Q.TA'	MATERIALE
00016280	COPPA D180	1	Rame
98031002	CILINDRO BOILER	1	Rame
00030271	ATTACCO G1-4F D20	1	Ottone
06200042	FLANGIA 4 FORI PER RESISTENZA APPIA II	1	Ottone
07300163	ATTACO VAPORE LAVORATO	3	Ottone
07300071	ATTACCO GAS 3-8 D11,8	1	Ottone
03000070	FONDO BOMBATO CALDAIA	1	Rame
07300165	RACCORDO A GOMITO	2	Ottone
98030056	TUBOSCAMBIATORE D 54	2	Rame
07300204	FLANGIA CHIUSA SCAMBIATORE	4	Ottone

Tab.17 Costituenti del sotto-assieme cilindro (secondo livello)

Poiché il sotto-assieme in questione è molto impattante ed appartiene ad un gruppo che ha un peso ambientale considerevole, sono stati individuati diversi componenti target, considerando

anche delle percentuali meno impattanti rispetto a quanto fatto per gruppi che presentano una maggiore ecocompatibilità.

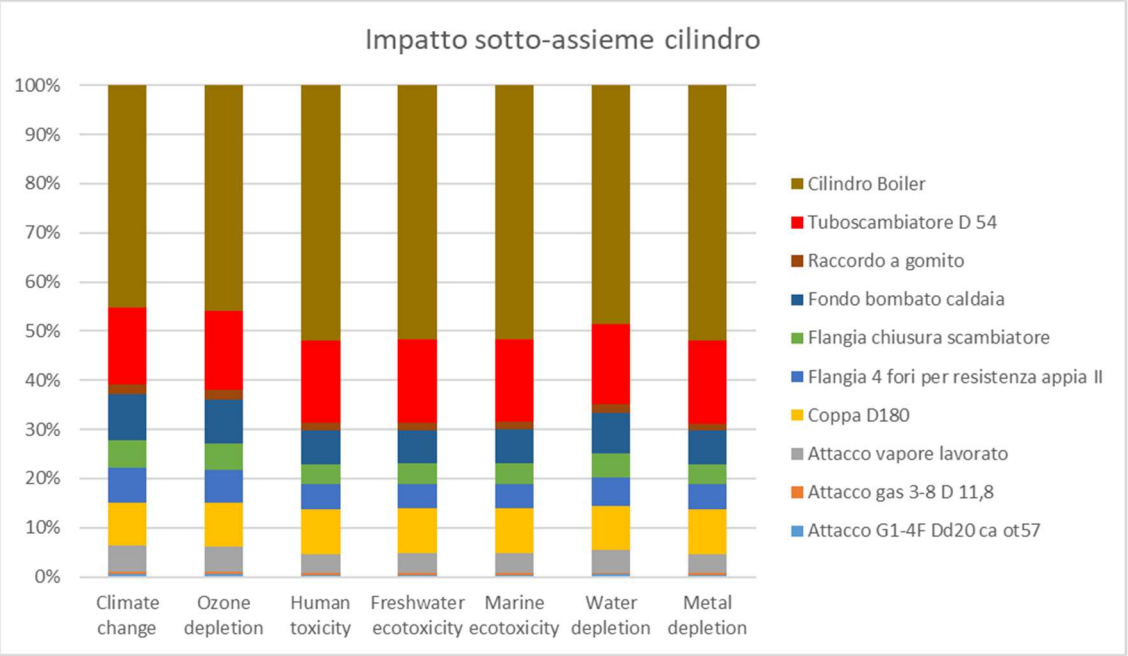


Fig.12 Analisi impatto ambientale dei materiali relativi al sotto-assieme del cilindro (secondo livello)

Le parti obiettivo selezionate sono quindi:

- il cilindro del boiler, a cui è correlato anche il contributo impattante principale, compreso tra il 45,2% e il 60%. I seguenti valori sono molto elevati e, pertanto, riflettono l'importanza green di questo costituente con tutte le criticità di gestione del fine vita che ne derivano
- i due tubiscambiatori in rame, che complessivamente hanno un impatto tra il 15,5% e il 16%. Sono collocati perpendicolarmente all'asse del cilindro del boiler, che presenta delle aperture per consentirne l'alloggio e il sostegno
- la coppa del boiler, che in tutte le voci ambientali ha valori che oscillano tra l'8,7% e il 9,2%. Essa rappresenta uno dei due fondelli del cilindro della caldaia, con cui condivide la tipologia di materiale costituente (rame). La coppa deve presentare dei fori che consentano l'inserimento nel corpo caldaia di una sonda di livello e, soprattutto, della resistenza tubolare

- il fondo bombato della caldaia, ovvero il fondello che si trova in corrispondenza dell'altra estremità del cilindro, collegato tramite saldatura con due raccordi a gomito in ottone. Le percentuali correlate a questo componente vanno dal 6,8% al 9,4%

	Climate change	Ozone depletion	Human toxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Water depletion	Metal depletion
Cilindro Boiler	45,24%	45,97%	51,93%	51,80%	51,74%	48,60%	51,96%
Tuboscambiatore D 54	15,52%	15,97%	16,83%	16,79%	16,76%	16,35%	16,83%
Raccordo a gomito	2,07%	1,98%	1,52%	1,52%	1,53%	1,79%	1,52%
Fondo bombato caldaia	9,41%	8,98%	6,81%	6,85%	6,88%	8,10%	6,80%
Flangia chiusura scambiatore	5,65%	5,39%	4,14%	4,15%	4,17%	4,87%	4,13%
Flangia 4 fori per resistenza appia II	7,03%	6,75%	4,96%	5,00%	5,02%	5,93%	4,95%
Coppa D180	8,68%	8,83%	9,12%	9,19%	9,16%	8,84%	9,13%
Attacco vapore lavorato	5,40%	5,16%	3,96%	3,97%	3,99%	4,66%	3,96%
Attacco gas 3-8 D 11,8	0,43%	0,41%	0,32%	0,32%	0,32%	0,37%	0,32%
Attacco G1-4F Dd20 ca ot57	0,57%	0,54%	0,41%	0,41%	0,41%	0,48%	0,41%

Tab.18 Risultati dell'analisi dei materiali relativa al sotto-assieme cilindro (secondo livello)

A completamento dell'analisi di questo gruppo si è infine studiato il comparto resistenza, i cui costituenti sono presentati nella tabella successiva.

CODICE	COMPONENTE	Q.TA'	MATERIALE
06200041	FLANGIA PORTA RESISTENZA APPIA II	1	Ottone
14100031	ELEMENTI RESISTENZA W4500-V220	1	Rame

Tab.19 Costituenti del sotto-assieme di resistenza (livello 2)

Anche in questo caso è stata necessaria un'analisi LCA di secondo livello come quella effettuata in precedenza.

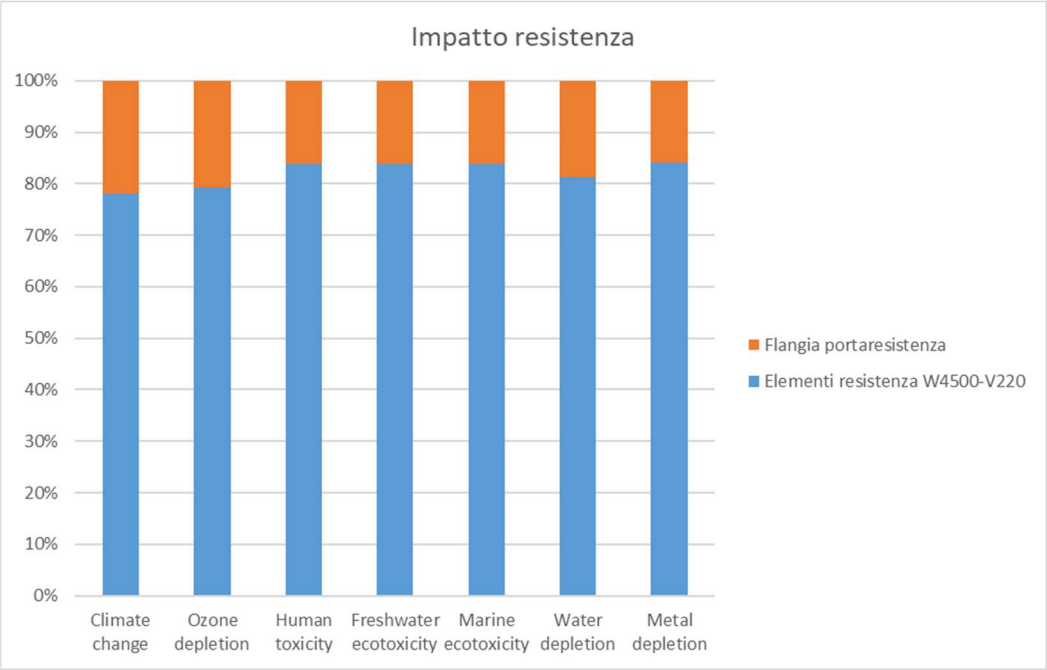


Fig.13 Analisi impatto ambientale dei materiali relativi alla resistenza (secondo livello)

Lo studio eseguito riguarda solo due parti costituenti. Gli elementi di resistenza sono di gran lunga più impattanti rispetto alla flangia porta resistenza, per tale ragione sono annoverabili tra i componenti target.

Le relative percentuali oscillano tra il 78,1% e l'84%, quindi giustificano ampiamente la scelta effettuata. Inoltre si può osservare come il loro collegamento con la flangia sia permanente, dato che è stata effettuata su entrambi i lati di quest'ultima una saldatura. Per la separazione sarà quindi necessario un metodo distruttivo, che presenta una scarsa compatibilità con i principi del design for demanufacturing.

	Climate change	Ozone depletion	Human toxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Water depletion	Metal depletion
Flangia portaresistenza	21,86%	20,67%	16,04%	16,09%	16,19%	18,71%	16,01%
Elementi resistenza W4500-V220	78,14%	79,33%	83,96%	83,91%	83,81%	81,29%	83,99%

Tab.20 Risultati dell'analisi dei materiali relativa alla resistenza (secondo livello)

Riassumendo le parti obiettivo del gruppo main boiler sono:

- il cilindro del boiler

- i due tuboscambiatori
- la coppa del cilindro
- il fondo bombato della caldaia
- gli elementi di resistenza

5.5.3 Analisi del gruppo motore-pompante

Il gruppo motore-pompa rappresenta il cuore del funzionamento dell'intero prodotto. Un motore elettrico consente il funzionamento di una pompante volumetrica capace di processare 100 litri all'ora di fluido, permettendone la circolazione nel circuito dei tubi collettori.

Come avvenuto per gruppo precedente, anche in questo caso l'analisi LCA si compone di più livelli, il primo dei quali comprende i componenti della tabella seguente.

CODICE	COMPONENTE	Q.TA'	MATERIALE
04500034	MOTORE ELETTRICO 230V 50/60Hz	1	Lamiera ferromagnetica
ND	SUPPORTO MOTORE ELETTRICO	1	Acciao inox 304
98170000000011	ASSIEME POMPANTE	1	Ottone, Acciaio e vari

Tab.21 Costituenti del gruppo motore pompante (livello 1)

Il primo studio effettuato è relativamente semplice in quanto sono presenti solo tre elementi.

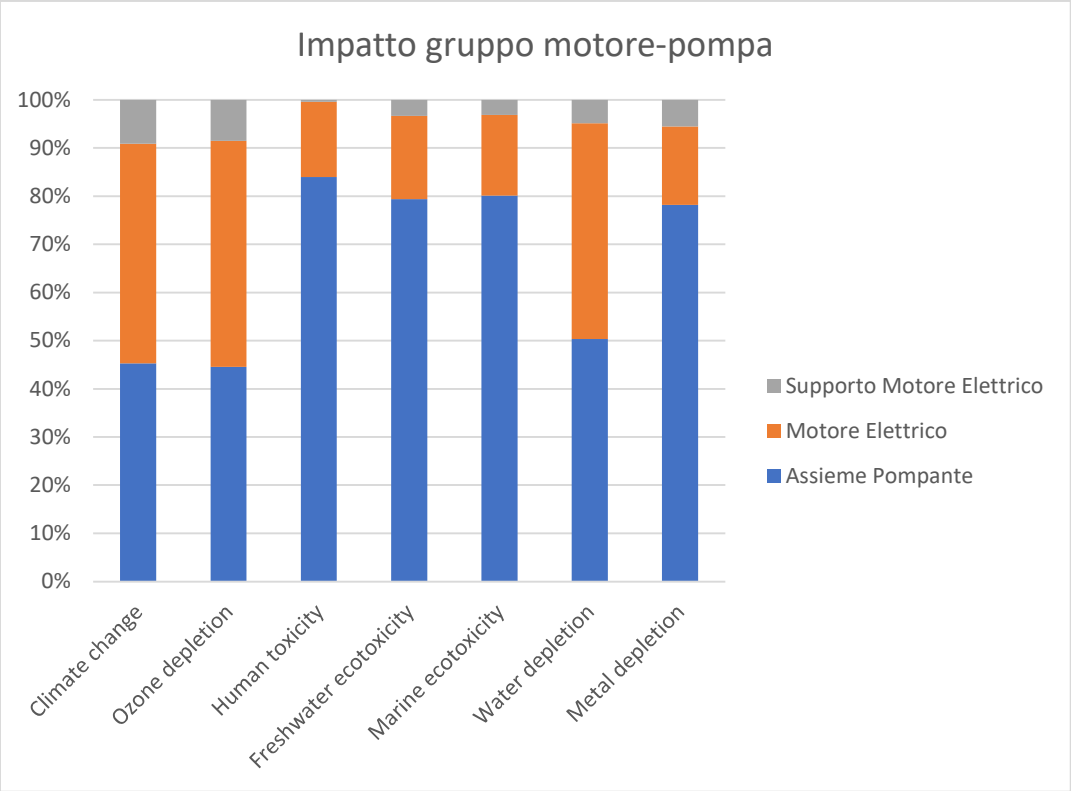


Fig.14 Analisi impatto ambientale dei materiali relativi al gruppo motore-pompante (primo livello)

In base ai risultati ottenuti si può affermare che:

- l'assieme pompante, che comprende la pompante volumetrica e una serie di elementi accessori, è l'elemento più impattante con percentuali nelle varie voci che variano tra il 44,5% el'84%
- il motore elettrico ha dei valori del tutto equiparabili a quelli dell'assieme pompante per quanto riguarda climate change, ozone depletion e water depletion. L'impatto ambientale nelle altre categorie risulta invece sensibilmente minore
- il supporto del motore elettrico ha percentuali molto più contenute, attorno al 10%.

Nella scelta degli elementi da prendere in considerazione per la ricerca delle parti obiettivo è stato considerato sia l'assieme pompante, analizzato nei suoi costituenti, sia il motore elettrico che invece è stato selezionato come un unico componente target.

	Climate change	Ozone depletion	Human toxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Water depletion	Metal depletion
Supporto Motore Elettrico	9,09%	8,52%	0,39%	3,31%	3,13%	4,86%	5,55%
Motore Elettrico	45,63%	46,95%	15,63%	17,32%	16,73%	44,82%	16,25%
Assieme Pompante	45,28%	44,54%	83,97%	79,38%	80,13%	50,32%	78,20%

Tab.22 Risultati dell'analisi dei materiali relativa al gruppo motore-pompante (primo livello)

L'assieme pompante è formato da diversi costituenti, la cui tipologia e quantità sono riportate nella tabella sottostante.

CODICE	COMPONENTE	Q.TA'	MATERIALE
00300013	DADO OT 3/8 GAS	2	Ottone
01300005	POMPANTE VOLUMETRICO	1	Ottone OT57
07300017	RACCORDO 1/4M 3/8M GAS	1	Ottone
07300068	RACCORDO L 3/8 M-M	1	Ottone
09000016	RUBINETTO A SFERA	1	Acciaio, Ottone e vari

Tab.23 Costituenti dell'assieme pompante (livello 2)

I risultati derivano da una seconda analisi LCA focalizzata proprio sulle parti introdotte.

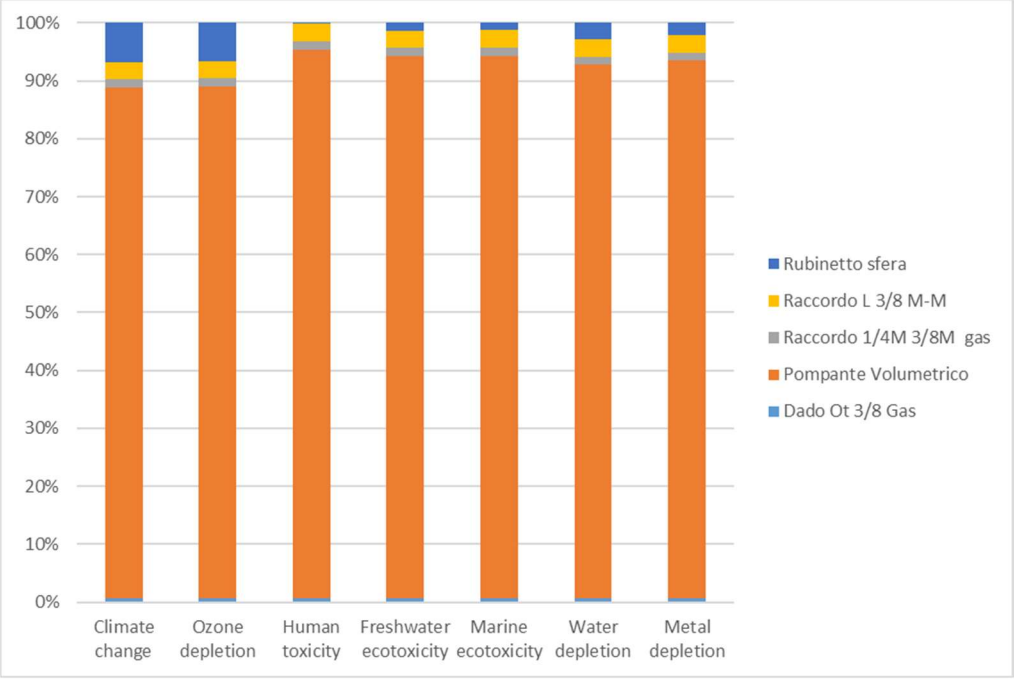


Fig.15 Analisi impatto ambientale dei materiali relativi all'assieme pompante (secondo livello)

Il componente target selezionato è ovviamente la pompante volumetrica che ha percentuali impattanti prossime a quelle dell'intero assieme. Esse infatti oscillano tra l'88,2% e il 94,6%, quindi le altre parti ausiliarie rappresentate dagli elementi di raccordo, dalla minuteria e dal rubinetto a sfera hanno un livello di criticità trascurabile.

	Climate change	Ozone depletion	Human toxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Water depletion	Metal depletion
Rubinetto sfera	6,89	6,66	0,15	1,34	1,25	2,86	2,13
Raccordo L 3/8 M-M	2,88	2,90	3,03	3,00	3,00	2,97	2,97
Raccordo 1/4M 3/8M gas	1,36	1,36	1,46	1,44	1,44	1,42	1,43
Pompante Volumetrico	88,19	88,40	94,65	93,51	93,60	92,05	92,77
Dado Ot 3/8 Gas	0,68	0,68	0,72	0,71	0,71	0,70	0,70

Tab.24 Risultati dell'analisi dei materiali relativa all'assieme pompante

I componenti target del gruppo motore-pompante sono quindi:

- la pompante volumetrica
- il motore elettrico

5.5.4 Analisi del gruppo accessori

Il gruppo degli accessori comprende tutti gli ausiliari e gli accessori della macchinetta, cioè quelli che oltre l'unità centrale sono presenti nell'imballo. Nel modello elaborato dal software però si sono considerati solamente gli elementi di cui sono presenti i dati, ovvero quelli che appartengono al gruppo portafiltro, necessari per l'inserimento della miscela di caffè. Elementi come il libretto delle istruzioni sono stati del tutto trascurati.

CODICE	COMPONENTE	Q.TA'
05000840	MANOPOLA PORTAFILTRO	2
05000843	CHIUSURA MANOPOLA PORTAFILTRO	2
05000844	RIVESTIMENTO GOMMA NERA	2
06200092	CORPO PORTAFILTRO	2
07300601	INSERTO MANOPOLA PORTAFILTRO	2

Tab.25 Costituenti dell'assieme degli accessori considerati

Il gruppo degli accessori, come già affermato in precedenza, è quello che ha un impatto nettamente maggiore rispetto agli altri gruppi per quanto concerne la voce ozone depletion. Tale valore è superiore al 50% del totale relativo all'assieme complessivo, per cui il contributo impattante che verrà preso maggiormente in esame è proprio quello relativo alla diminuzione dell'ozono.

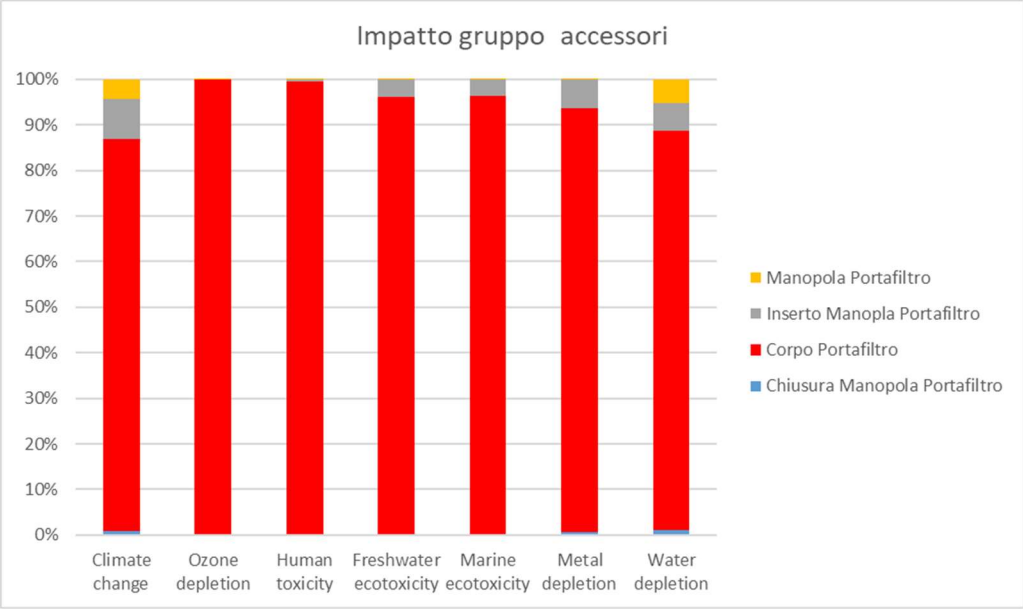


Fig.16 Analisi impatto ambientale dei materiali relativi al gruppo accessori

Risulta evidente come tutto il peso ambientale del gruppo sia dovuto ai due corpi portafiltro, a cui è correlata una percentuale prossima al 100% per quanto riguarda l'ozone depletion. Per tale motivo essi sono stati annoverati tra gli elementi target.

	Climate change	Ozone depletion	Human toxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Metal depletion	Water depletion
Manopola Portafiltro	4,36%	0,01%	0,04%	0,12%	0,10%	0,01%	5,15%
Inserto Manopla Portafiltro	8,66%	0,05%	0,44%	3,76%	3,56%	6,29%	6,25%
Corpo Portafiltro	86,07%	99,94%	99,51%	96,10%	96,32%	93,01%	87,59%
Chiusura Manopola Portafiltro	0,91%	0,00%	0,01%	0,03%	0,02%	0,70%	1,01%

Tab.26 Risultati dell'analisi dei materiali relativa all'assieme pompante

5.5.5 Analisi del gruppo telaio

L'assieme del telaio è fondamentale dal punto di vista strutturale, in quanto ha funzione di sostegno dei vari gruppi, permettendone quindi il corretto alloggiamento.

Le parti da cui è formato, con le relative quantità, sono riassunte ancora una volta in una tabella.

CODICE	COMPONENTE	Q.TA'	MATERIALE
00000011	RONDELLA INOX M4	4	Acciaio inox
00000017	DADO M6	2	Acciaio al carbonio
00000025	VITE M6x20	1	Acciaio al carbonio
00000033	VITE M3x16	1	Acciaio al carbonio
00000087	VITE INOX M10x20	8	Acciaio inox
00000089	VITE INOX M4x12	18	Acciaio inox
00000096	RONDELLA M6	1	Acciaio al carbonio
00000098	DADO IN GABBIA M4	4	Acciaio
00000119	VITE INOX M4x6	4	Acciaio inox
00000122	VITE M6x12	4	Acciaio al carbonio
00000175	VITE INOX M4x10	4	Acciaio inox
01000086	ROTOLO MOUSSE ADESIVO 3x45mm	0,02	Materiale adesivo
02590011	GUARNIZ.PISTONCINO	1	Gomma
03000258	SUPPORTO PRESSOSTATO	1	Acciaio inox
03000392	SUPPORTO CALDAIA	2	Acciaio inox
ND	ASSIEME STAFFA FISSAGGIO SX	2	Acciaio inox
ND	ASSIEME STAFFA FISSAGGIO DX	2	Acciaio inox
03003402	BASAMENTO PORTANTE	1	Acciaio inox
03003405	FIANCO TELAIO DX	1	Acciaio al carbonio
03003407	FIANCO TELAIO SX	1	Acciaio al carbonio
03003409	LAMIERA PROTEZIONE DX PIATTO	1	Acciaio inox 430
03003410	LAMIERA PROTEZIONE SX	1	Acciaio inox 431
03003412	PARETE PORTAGRUPPI	1	Acciaio inox 432
03003415	LAMIERA SUPER. POSTERIORE	1	Acciaio inox 433
03003422	LAMIERA SUPP. RUBINETTO VAPORE	2	Acciaio inox 434
03003424	STAFFA SUPP. DOSATORI	1	Acciaio inox 435
03003430	LAMIERA BLOCCAGGIO VASCHETTA	1	Acciaio inox 436
05000892	CHIUSURA SICUREZZA	1	ABS
03003405	RINFORZO PIEDE TELAIO	4	Acciaio al carbonio
05002210	SUPPORTO ANGOLARE PIATTO	2	ABS
07300342	PERNO SUPPORTO CENTRAL.	4	Acciaio inox
07300391	PROLUNGA FISSAGGIO SCALDATAZZE	3	Acciao al carbonio
40000010	DADO M6 RONDELLA SALDATA	17	Acciaio al carbonio

Tab.27 Costituenti dell'assieme telaio

La procedura seguita è la medesima di quella vista nei gruppi precedenti, pertanto prevede l'analisi LCA.

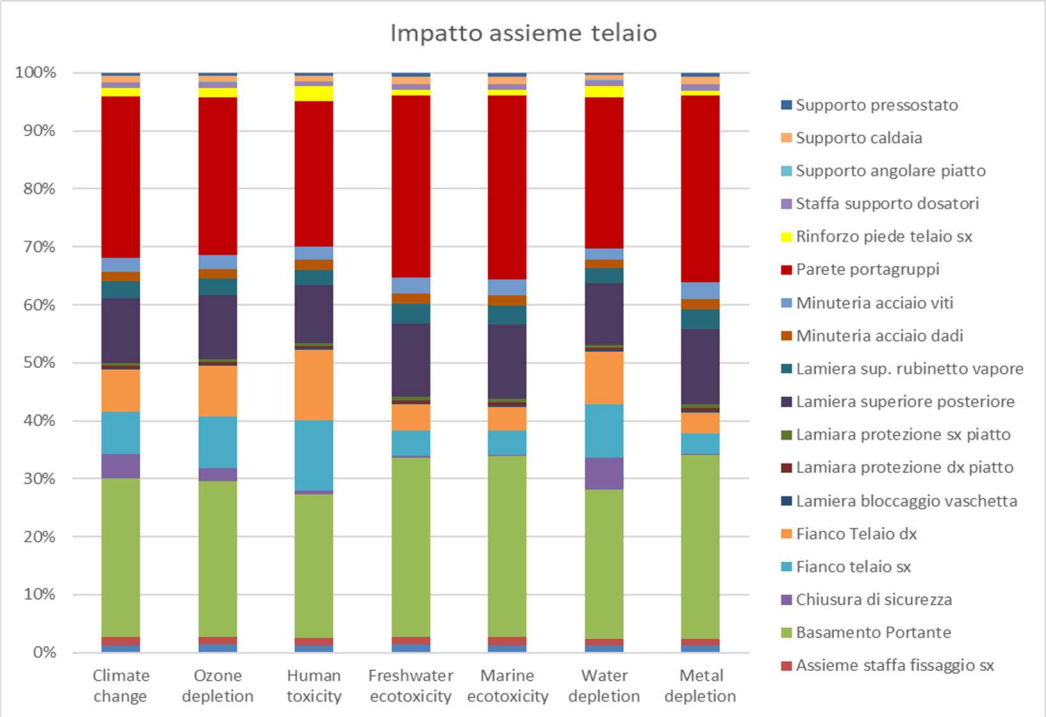


Fig.17 Analisi impatto ambientale dei materiali relativi all'assieme del telaio

I componenti più impattanti sono:

- il basamento portante, collocato nella parte inferiore della macchinetta, che rappresenta l'elemento a cui sono collegati vari supporti, ad esempio quello che sostiene la caldaia. Le percentuali di impatto relative sono comprese tra il 24,6% e il 31,8%
- la parete portagruppi, che presenta delle aperture per l'alloggio dei diversi assiemi, tra cui i due di erogazione. I valori ambientali sono compresi tra il 25% e il 32%

Queste due parti però non sono rientrate tra i componenti target, dato che bisogna considerare l'impatto del gruppo a cui appartengono. Infatti, il peso ambientale è equiparabile a quello dell'assieme motore-pompante. In quel caso i componenti target hanno un contributo

complessivo pari ad almeno il 90% in tutte le voci ambientali di impatto, talvolta tendente al 100% come nel caso dell'human toxicity. Le due parti del telaio individuate hanno invece un valore complessivo inferiore, che si attesta intorno al 60% dell'assieme complessivo. Per tale ragione si è scelto di non selezionare alcun elemento target per questo gruppo.

	Climate change	Ozone depletion	Human toxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Water depletion	Metal depletion
Supporto pressostato	0,53%	0,52%	0,50%	0,63%	0,64%	0,41%	0,66%
Supporto caldaia	1,05%	1,02%	0,98%	1,25%	1,26%	0,82%	1,29%
Supporto angolare piatto	0,09%	0,05%	0,01%	0,01%	0,01%	0,11%	0,00%
Staffa supporto dosatori	0,97%	0,95%	0,87%	1,10%	1,10%	0,91%	1,12%
Rinforzo piede telaio sx	1,47%	1,71%	2,59%	0,94%	0,88%	1,89%	0,78%
Parete portagruppi	27,69%	27,15%	24,96%	31,42%	31,65%	26,07%	32,21%
Minuteria acciaio viti	2,41%	2,33%	2,33%	2,73%	2,76%	1,93%	2,91%
Minuteria acciaio dadi	1,71%	1,69%	1,68%	1,83%	1,83%	1,44%	1,83%
Lamiera sup. rubinetto vapore	2,88%	2,82%	2,59%	3,26%	3,29%	2,71%	3,35%
Lamiera superiore posteriore	11,19%	10,97%	10,09%	12,70%	12,79%	10,54%	13,02%
Lamiara protezione sx piatto	0,50%	0,49%	0,45%	0,57%	0,57%	0,47%	0,58%
Lamiara protezione dx piatto	0,50%	0,49%	0,45%	0,57%	0,57%	0,47%	0,58%
Lamiera bloccaggio vaschetta	0,19%	0,19%	0,17%	0,22%	0,22%	0,18%	0,22%
Fianco Telaio dx	7,22%	8,75%	12,19%	4,41%	4,14%	9,20%	3,63%
Fianco telaio sx	7,22%	8,75%	12,19%	4,41%	4,14%	9,20%	3,63%
Chiusura di sicurezza	4,29%	2,36%	0,66%	0,30%	0,27%	5,46%	0,02%
Basamento Portante	27,32%	26,79%	24,62%	30,99%	31,23%	25,72%	31,78%
Assieme staffa fissaggio sx	1,32%	1,33%	1,30%	1,33%	1,31%	1,17%	1,20%
Assieme staffa fissaggio dx	1,32%	1,33%	1,30%	1,33%	1,31%	1,17%	1,20%

Tab.28 Risultati dell'analisi dei materiali relativa all'assieme del telaio

L'insieme degli elementi obiettivo è ricapitolato nella tabella successiva, dove si riassume anche la loro quantità, il gruppo di appartenenza, il materiale costituente e il peso.

COMPONENTI TARGET				
Gruppo	Componente	Q.tà	Materiale	Peso/Q.tà
G. di erogazione	Corpo gruppo erogazione	2	Ottone	2,92 kg
	Anello gruppo erogazione	2	Ottone	1,14 kg
	Elettrovalvola 3 vie Pearker	2	Ottone e altri	0,61 kg
G. Main boiler	Cilidro boiler	1	Rame	2,79 kg
	Tubo scambiatore D54	2	Rame	0,49 kg
	Coppa D180	1	Rame	0,47 kg
	Fondo bombato caldaia	1	Rame	0,5 kg
	Elementi di resistenza	1	Rame	1,14 kg
G. motore-pompa	Motore elettrico	1	Metalli vari	14,94 kg
	Pompante volumetrica	1	Ottone e altri	1,73 kg
G. accessori	Corpo portafiltro	2	Acciaio	0,3 kg

Tab.29 Elementi target della VA358

5.6 Disassembly dei componenti target

I componenti target sono quelli che presentano un impatto ambientale maggiore. Pertanto è importante comprendere le sequenze di demanufacturing correlate a ciascuno di essi, definendo una sequenza delle operazioni necessarie. L'approccio seguito prevede, partendo dall'assieme complessivo, la separazione di tutti quei gruppi selezionati come maggiormente impattanti, per poi riuscire ad isolare il componente obiettivo. In questo modo si facilita la definizione di successioni ottimali capaci di limitare sia le tempistiche, sia la demolizione dell'intera macchinetta del caffè. Tali sequenze sono anche importanti in caso di guasto o danneggiamento prematuro del componente target, poiché ne facilitano la rimozione e il successivo montaggio dopo un'operazione di rilavorazione o sostituzione.

Una volta definite le sequenze è possibile tracciare le matrici dei vincoli, che individuano i livelli di disassembly relativi a ciascun componente.

5.6.1 Disassembly dei gruppi impattanti dall'assieme complessivo

Il primo obiettivo in questa fase dello studio è quindi lo smontaggio dei gruppi che sono stati selezionati come più impattanti dalla parte restante dell'assieme complessivo.

Fig.18 Assieme della VA358

In questo caso il gruppo più esterno è quello degli accessori, che può essere sfilato dal sistema di erogazione tramite una semplice azione di movimentazione. In seguito, per avere accesso alle parti interne della macchinetta, è stato rimosso l'assieme scaldatazze, vincolato al telaio tramite delle viti. Si può quindi isolare il gruppo di erogazione andando a rimuovere l'assieme coprigruppo-scheda di erogazione e i diversi collegamenti filettati, che lo vincolano sia all'assieme dei tubi collettori che alla struttura portante della macchinetta. Per raggiungere il gruppo main boiler si è proceduto allo smontaggio delle parti laterali e posteriori della carena per avere accesso a tutti i collegamenti filettati, la cui rimozione consente l'estrazione del sistema caldaia. Il gruppo motore-pompa è rimosso solo in una fase successiva, in quanto la presenza del boiler non permette all'operatore di avere uno spazio sufficiente per anticipare le operazioni di smontaggio.

Nella tabella seguente sono stati riportati tutti i componenti e i relativi elementi di collegamento che sono presenti nella sequenza di disassembly.

Codice	Componenti	Q.tà	Nome
00000104	Vite	2	1
98080000000083	Assieme scaldatazze	1	2
00000025	Vite	2	3
06100134	Fianco laterale dx	1	4
00000025	Vite	2	3
06100136	Fianco laterale sx	1	5
00000089	Vite	2	6
ND	Vite	1	7
06100138	Fianco inferiore dx	1	8
00000089	Vite	2	6
ND	Vite	1	7
06100140	Fianco inferiore sx	1	9
00300017	Dado autobloccante	2	10
00000073	Rondella	2	11
07300616	Perno	2	12
ND	Vite (supposta)	2	13
03003448	Retro carena	1	14
ND	Vite	4	15
03003451	Retro-carena inferiore	1	16
981600000009010001	Assieme coprigruppo-scheda d'erogazione	1	17
98230000001012	Assieme gruppo portafiltro	1	GR.D
00000087	Vite	4	18
07300162	Dado	2	19
980400000000320001	Gruppo di erogazione	1	GR.A
981600000009010001	Assieme coprigruppo-scheda d'erogazione	1	17
98230000001012	Assieme gruppo portafiltro	1	GR.D
00000087	Vite	4	18
07300162	Dado	2	19
980400000000320001	Gruppo di erogazione	1	Gr.A
07300067	Dado	10	20
98030000001122	Assieme main boiler	1	GR.B
00000104	Vite	3	1
07300017	Dado	2	21
98170000000117	Gruppo motore pompa	1	GR.C

Tab.30 Componenti e collegamenti della sequenza di disassembly dell'assieme complessivo

L’immagine successiva mostra i componenti attivi e i gruppi selezionati, per avere un’idea complessiva della loro collocazione all’interno dell’assieme. La figura inserita è relativa ad un esemplare a tre gruppi di erogazione poiché non è stato possibile reperirne una che possa mostrare più precisamente l’oggetto del caso di studio, il quale possiede invece solamente due sistemi di erogazione.

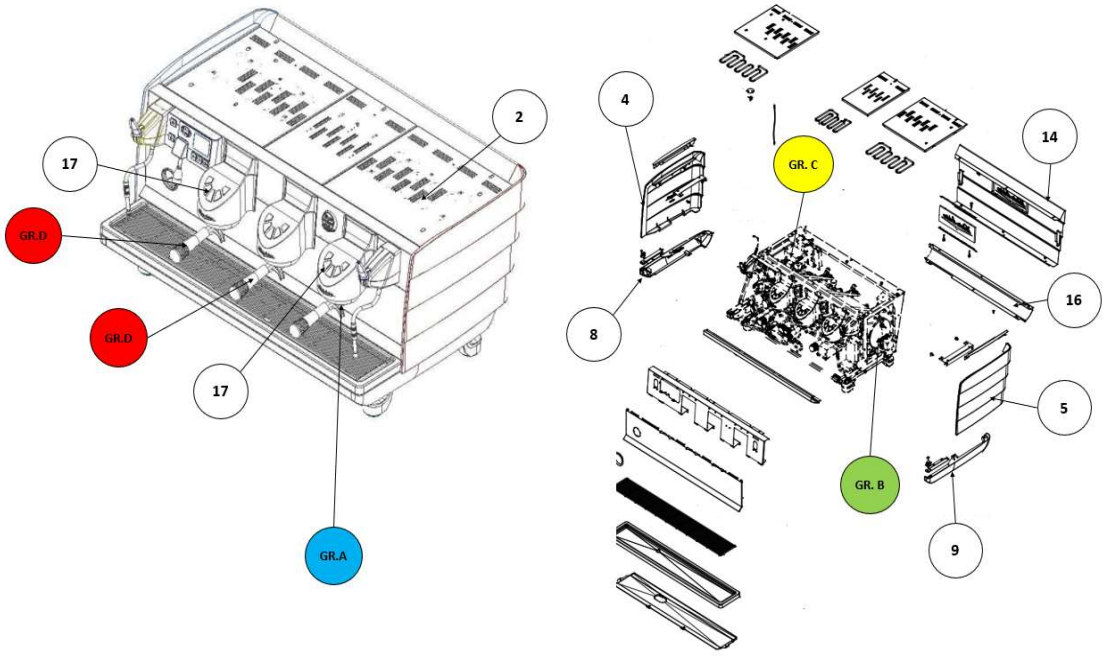


Fig.19 Posizione dei componenti attivi e dei gruppi target nell’assieme

La sequenza di demanufacturing determinata è molto complessa, nonostante ciò evita la demolizione della maggior parte della macchinetta del caffè.

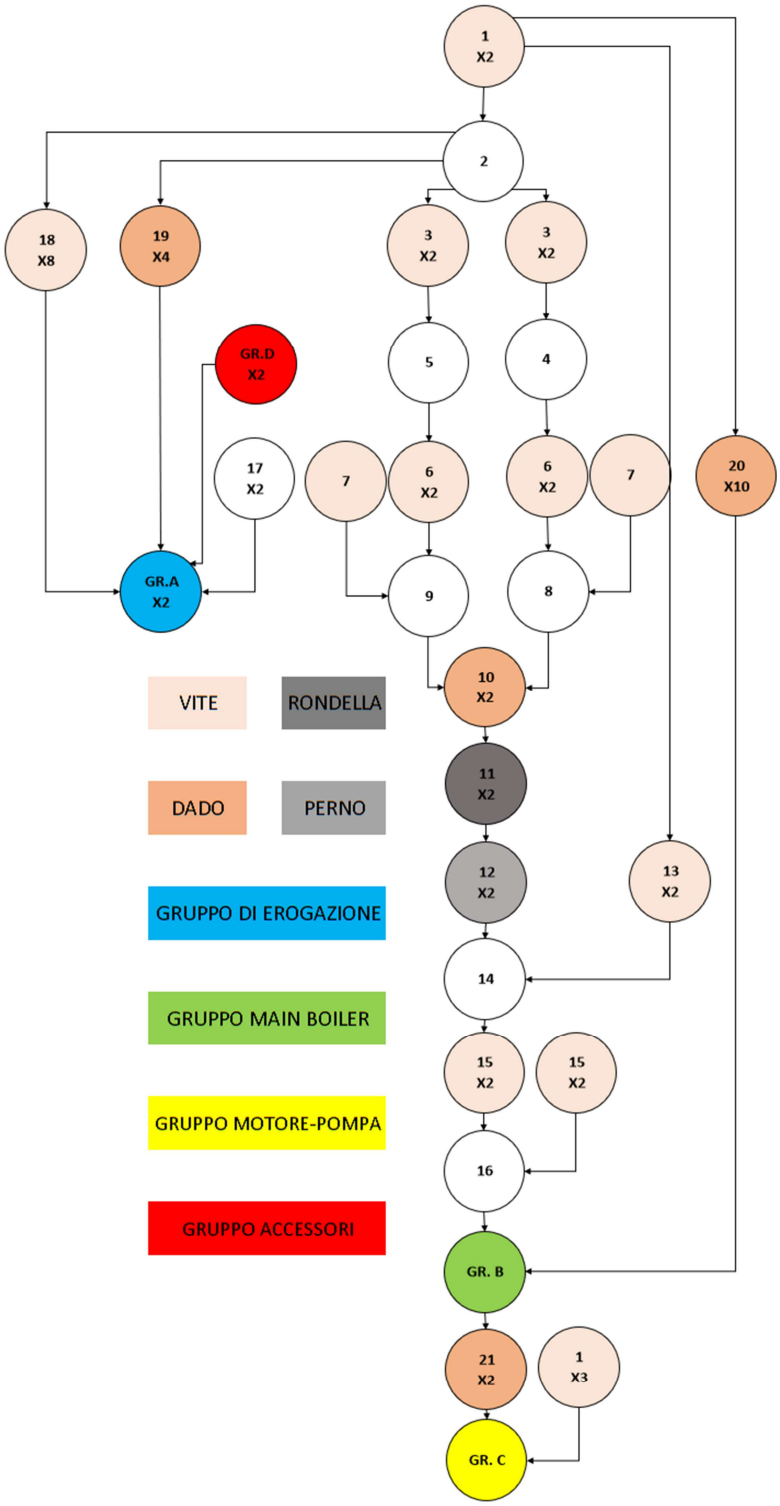


Fig.20 Sequenza di disassembly per la rimozione dei gruppi impattanti

La definizione della successione di smontaggio ha permesso la costruzione della relativa matrice binaria, in cui sono contenute tutte le precedenze vincolari.

		2	4	5	8	9	14	16	17	GR. A	GR.B	GR.C	GR.D	TOTALE	LIVELLO
Assieme scaldatazze	2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Assieme coprigruppo-scheda d'erogazione	17	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0		
Assieme gruppo portafiltro	GR.D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Fianco laterale dx	4	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Fianco laterale sx	5	1	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Fianco inferiore dx	8	1	1	0		0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
Fianco inferiore sx	9	1	0	1	0		0	0	0	0	0	0	0		
Gruppo di erogazione	GR. A	0	0	0	0	0	0	0	1		0	0	1		
Retro carena	14	1	1	1	1	1		0	0	0	0	0	0	5	3
Retro carena inferiore	16	1	1	1	1	1	1		0	0	0	0	0	6	4
Gruppo main-boiler	GR.B	1	1	1	1	1	1	1	0	0		0	0	7	5
Gruppo motore-pompa	GR.C	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1		0	8	6

Tab.31 Matrice dei vincoli relativa al disassembly dell'assieme complessivo

Sono stati identificati ben sei livelli di disassembly grazie alla matrice dei vincoli. Il gruppo degli accessori (denominato anche gruppo portafiltro, in quanto sono stati considerati solo alcuni degli accessori della VA358) ha un livello di disassembly pari a zero poiché la sua rimozione non richiede lo smontaggio preliminare di altre parti. Il gruppo di erogazione invece appartiene al secondo livello, risulta quindi più complesso da rimuovere rispetto a quello precedente. I livelli di disassembly più elevati appartengono al gruppo main boiler e al gruppo motore-pompante, che sono gli ultimi gruppi ad essere separati dall'intero sistema.

5.6.2 Disassembly del gruppo di erogazione

Una volta isolati i gruppi maggiormente impattanti dal resto dell'assieme si può procedere al demanufacturing di questi ultimi per effettuare lo smontaggio degli elementi target.

Il primo sistema che è stato analizzato è quello di erogazione. Come sottolineato più volte nelle sezioni precedenti dell'elaborato, la VA358 presenta due gruppi di erogazione identici. Tutte le considerazioni espresse per una delle due unità sono valide anche per l'altra.

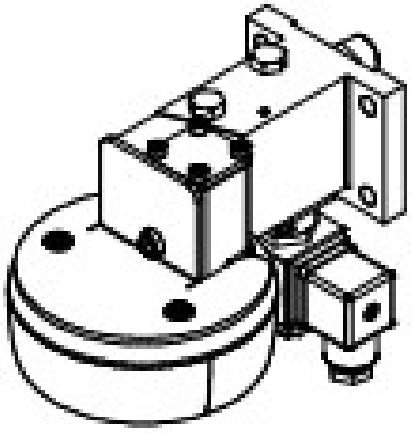


Fig.21 Gruppo di erogazione della VA358

L'elemento target di maggior peso in ottica ambientale è il corpo del gruppo, ovvero la parte di sostegno a cui sono collegati tutti gli altri elementi. Per lo smontaggio di quest'ultimo è necessaria la demolizione dell'intero assieme. L'operazione risulta quindi particolarmente onerosa in termini temporali, a causa delle numerose parti coinvolte.

A risultare più agevole è invece la separazione l'anello del gruppo, ovvero quell'elemento che circonda il sistema a doccia da cui proviene l'acqua riscaldata. La rimozione avviene svitando quattro viti che lo collegano direttamente al corpo del gruppo.

L'ultimo componente obiettivo è l'elettrovalvola a tre vie Paerker. Anche in questo caso l'operazione risulta abbastanza agevole, bisogna scollegare solamente il relativo connettore e rimuovere le viti di collegamento con il corpo del gruppo.

Le informazioni relative ai componenti attivi e le quantità correlate sono state riportate nella tabella successiva.

Codice	Componenti	Q.tà	Nome
01000184	Isolante gruppo erog.	1	9A
02280012	Guarniz. OR2093	1	10A
02280033	Guarniz. Or Di 75,92	1	11A
02290016	Guarnizione OR D9,5	2	12A
03000066	Doccia inox	1	13A
04000052	Connettore elettrovalvola	1	14A
04100017	Elettrovalvola 3 vie Paerker	1	15A
06200081	Anello gruppo erog.	1	16A
06200089	Corpo gruppo Adonis	1	17A
07300128	Tappo 1-4	2	18A
07300166	Tappo chiusura piastrina e.v.	1	19A
07300172	Raccordo 3-8 mm	2	20A
07300183	Padiglione gruppo	1	21A
40200004	Guarnizione sottocoppa	1	24A

Tab.32 Componenti attivi del gruppo di erogazione

In seguito è riportato l'intero gruppo di erogazione, per mostrare la collocazione delle parti analizzate all'interno del sistema. Alle parti è stato attribuito un nome che prevede un numero identificativo e la lettera A, che ne indica l'appartenenza al gruppo di erogazione.

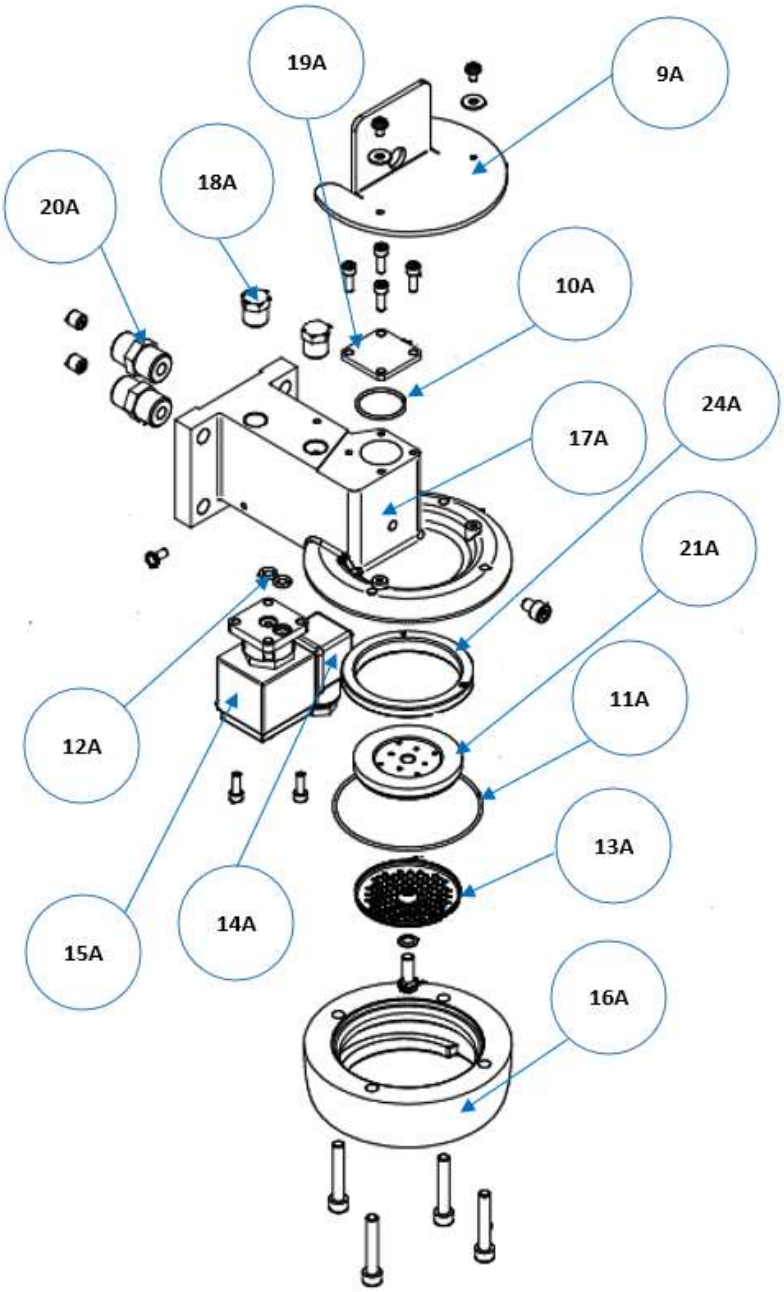


Fig.22 Posizione dei componenti attivi nell'assieme di erogazione

La sequenza di disassembly definita è molto complessa e comporta la scomposizione dell'intero gruppo.

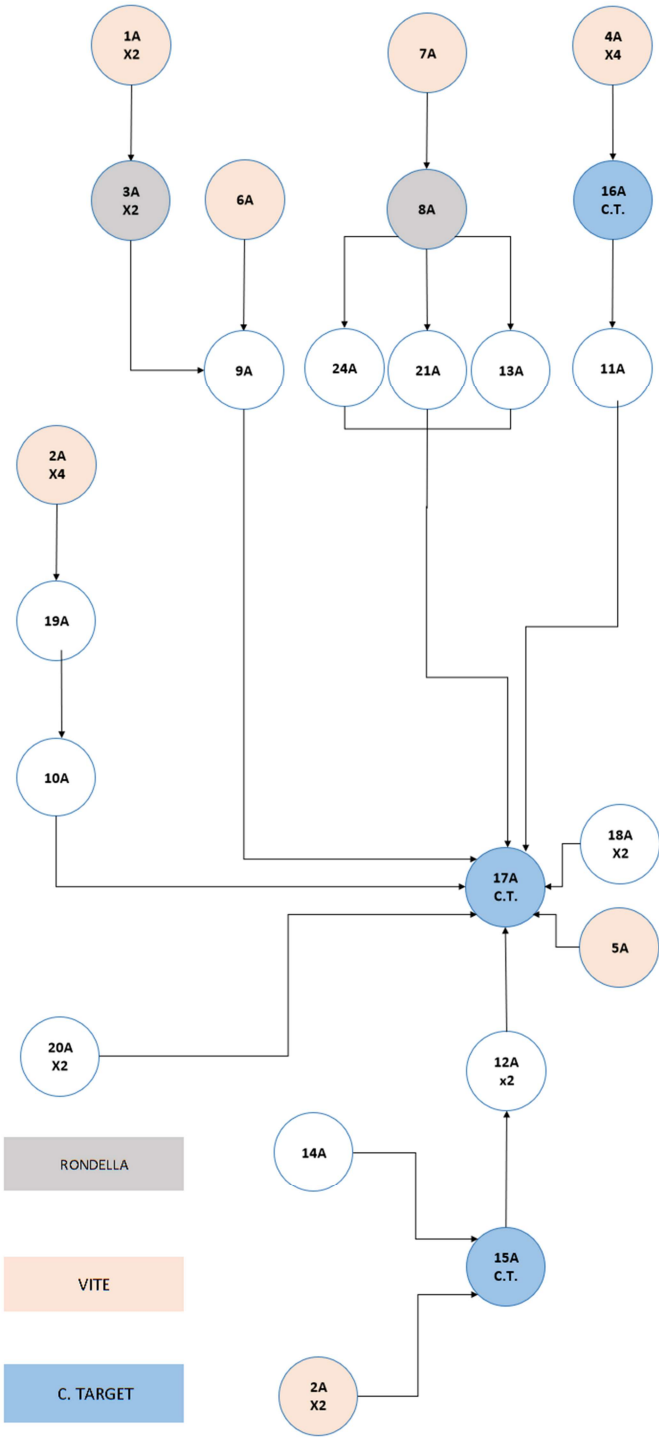


Fig.23 Sequenza di disassembly per la rimozione dei componenti target del gruppo di erogazione

Una volta definita la sequenza è possibile tracciare la matrice dei vincoli per individuare i vari livelli di disassembly.

		9A	10A	11A	12A	13A	14A	15A	16A	17A	18A	19A	20A	21A	24 A	TOTALE	LIVELLO
Isolante gruppo erog.	9A		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Doccia inox	13A	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Connettore elettrovalvola	14A	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0		
Anello gruppo erog.	16A	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		
Tappo 1-4	18A	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
Tappo chiusura piastrina e.v.	19A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0		
Raccordo 3-8 mm	20A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0		
Padiglione gruppo	21A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		
Guarnizione sottocoppa	24A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Guarniz. OR2093	10A	0		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0		
Guarniz. Or Di 75,92	11A	0	0		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
Elettrovalvola 3 vie Pearker	15A	0	0	0	0	0	1		0	0	0	0	0	0	0		
Guarnizione OR D9,5	12A	0	0	0		0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2
Corpo gruppo Adonis	17A	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	13	3

Tab.33 Matrice dei vincoli di precedenza del gruppo di erogazione

I dati contenuti nella matrice mostrano l'organizzazione gerarchica in termini di demanufacturing di tutti gli elementi. L'anello del gruppo è correlato ad un livello zero di disassembly, in quanto non è necessario rimuovere in precedenza altre parti. L'elettrovalvola invece rientra nel primo livello, vista la necessità di rimuovere prima il connettore ad essa collegato. Infine il corpo del gruppo rientra nel terzo livello e il suo isolamento richiede lo smontaggio di ben 13 componenti.

5.6.3 Disassembly del gruppo main boiler

Il processo di disassembly del gruppo caldaia è finalizzato allo smontaggio di ben sei elementi target.

L'immagine successiva rappresenta l'assieme del main boiler relativo alla VA358 in configurazione a tre gruppi di erogazione. Rispetto al modello oggetto del caso di studio, che presenta solamente due sistemi di erogazione, si può notare la presenza di un tuboscambiatore, due flange chiuse e due corpi scambiatori in più, oltre ad un numero di collegamenti e di guarnizioni maggiore.

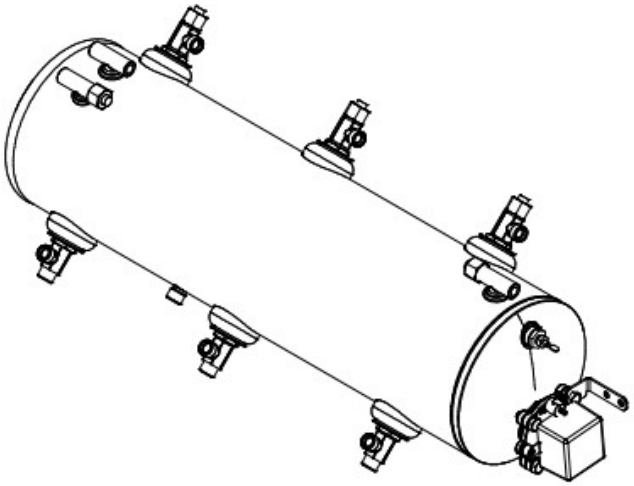


Fig.24 Gruppo caldaia della VA358

Rimuovendo i quattro corpi scambiatori e le rispettive flange, tramite la distruzione del collegamento saldato con il cilindro del boiler, si possono estrarre dal corpo della caldaia i due tuboscambiatori, grazie ad un'operazione di movimentazione. Sempre agendo dall'esterno è possibile isolare gli elementi di raccordo sempre con un'operazione distruttiva e separare dal cilindro dal boiler il fondo bombato della caldaia, dopo aver rimosso ancora una volta la giunzione saldata. Le operazioni successive invece mirano all'estrazione del cilindro, che viene privato di tutti gli elementi di collegamento con l'assieme dei tubi collettori e separato dal fondello rimanente. Rispettando tale sequenza, dopo aver tolto il copri-resistenza e la staffa di fissaggio della caldaia, grazie alla rimozione di diversi tipi di viti, si ha accesso alle zone in cui gli elementi di resistenza sono saldati alla flangia porta-resistenza. La separazione è, anche in questo caso, meccanica e le saldature devono essere rimosse con un processo distruttivo in modo da poter sfilare gli elementi di resistenza, che sono stati considerati come un unico componente target. I metodi distruttivi, come verrà evidenziato nella parte successiva dell'elaborato, oltre a comportare delle operazioni di rimozione molto onerose in termini temporali, vanno a diminuire il valore della massa potenzialmente riciclabile del componente.

Infine, dopo aver rimosso la flangia a quattro fori e la sonda di livello è possibile accedere all'ultimo componente, ovvero alla coppa in rame della caldaia.

Analogamente a quanto visto per il gruppo di erogazione, il processo per ottenere tutte le parti obiettivo è abbastanza complesso perché, anche in questo caso, alcuni elementi strutturali

rientrano tra quelli target. Per tale ragione è necessario lo smontaggio di molti componenti prima di poter isolare le parti obiettivo.

Nella tabella successiva sono stati delineate tutte le parti attive e le relative quantità.

Codice	Componenti	Q.tà	Nome
02060015	Guarnizione resistenza	1	5B
03003230	Staffa fissaggio	1	8B
05000047	Copriresistenza	1	9B
09000005	Sonda livello	1	12B
14100031	Resistenza W4500-V220	1	14B
98031002	Cilindro boiler	1	16B
07300213	Corpo scambiatore	4	17B
06200041	Flangia porta resistenza	1	18B
06200042	Flangia 4 fori	1	19B
00016280	Coppa D180	1	20B
00030271	Attacco G1-4F	1	21B
07300163	Attacco vapore lavorato	3	22B
07300165	Raccordo a gomito	2	23B
03000070	Fondo bombato caldaia	1	24B
07300071	Attacco gas	1	25B
07300204	Flangia chiusa scamb.	4	26B
98030056	Tuboscambiatore	2	27B

Tab.34 Componenti attivi ed elementi di collegamento gruppo main boiler

Grazie alla figura successiva è possibile individuare il posizionamento di tutti gli elementi all'interno dell'assieme. Questi sono state indicati con un codice che prevede un numero e la lettera B, che indica l'appartenenza del componente al gruppo main boiler.

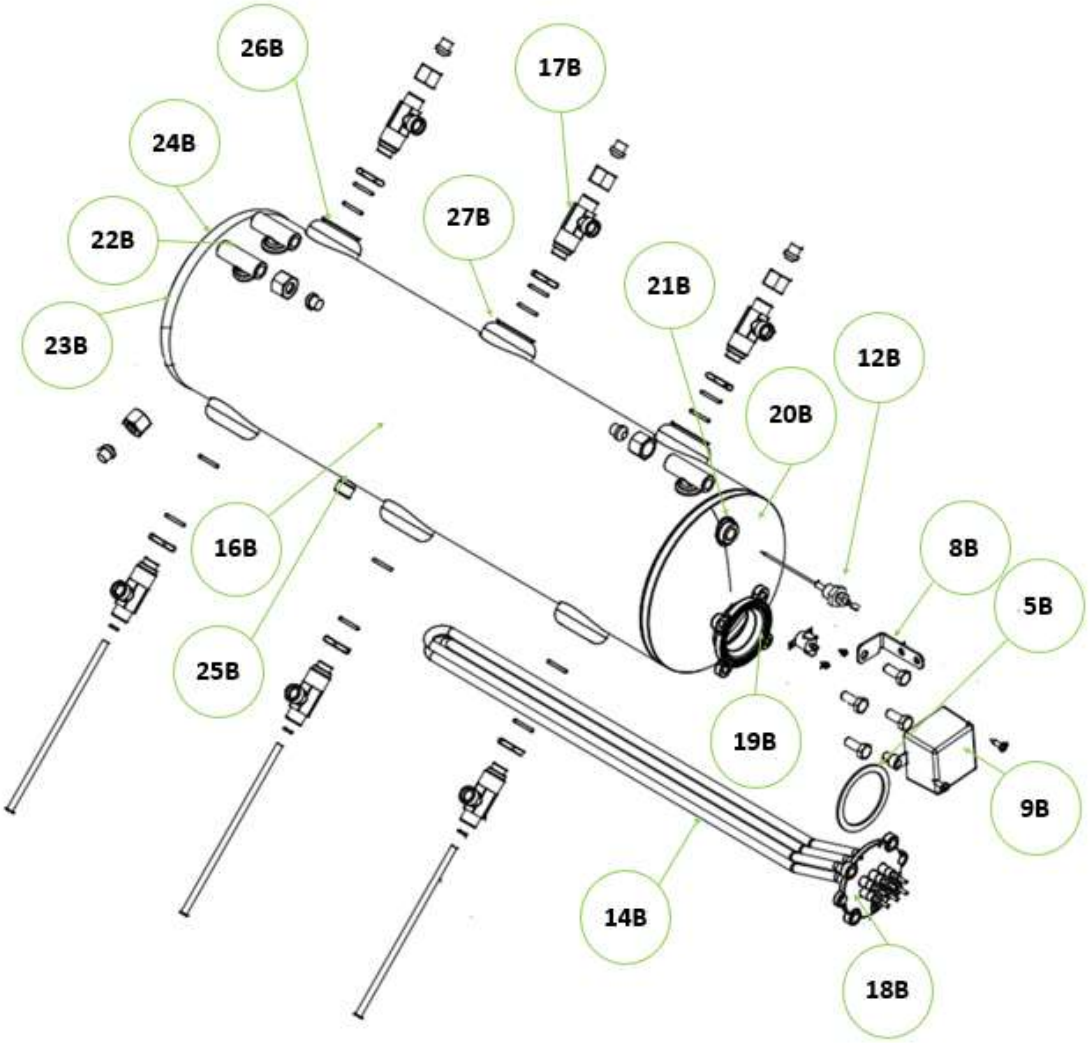


Fig.25 Posizione dei componenti attivi nell'assieme main boiler

La sequenza di disassembly definita è rappresentata da un diagramma reticolare molto articolato e prevede che la coppa del cilindro sia l'ultimo componente obiettivo a poter essere rimosso.

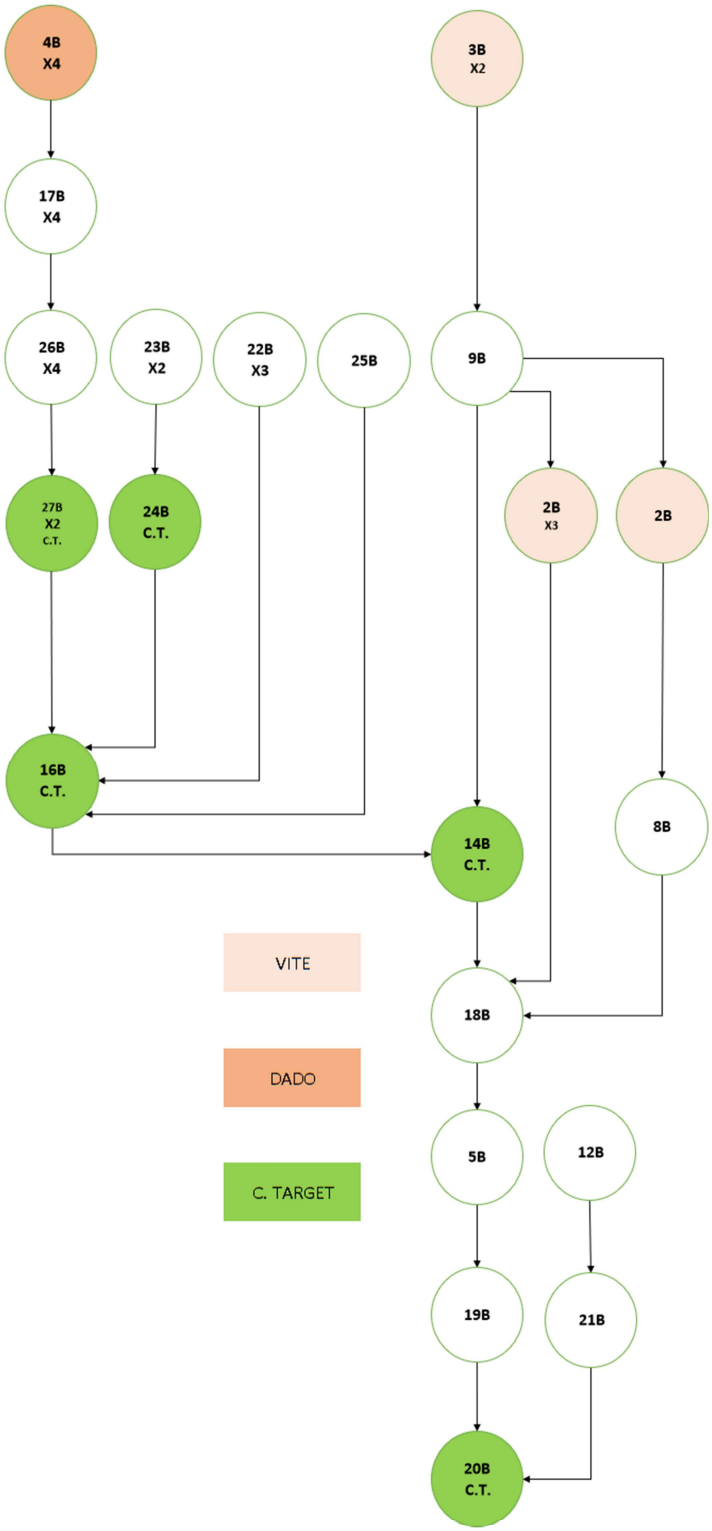


Fig.26 Sequenza di disassembly per la rimozione dei componenti target del gruppo main boiler

In seguito è stata riportata la matrice dei vincoli, per individuare ancora una volta la gerarchia di demanufacturing di ogni componente presente nella sequenza.

		5B	8B	9B	12B	14B	16B	17B	18B	19B	20B	21B	22B	23B	24B	25B	26B	27B	TOTALE	LIVELLO
Copriresistenza	9B	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonda livello	12B	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Corpo scambiatore	17B	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Attacco vapore lavorato	22B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0		
Raccordo a gomito	23B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0		
Attacco gas	25B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0		
Staffa fissaggio	8B	0		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Attacco G1-4F	21B	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		
Fondo bombato caldaia	24B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		0	0	0		
Flangia chiusa scamb.	26B	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0		0		
Tuboscambiatore	27B	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1		2	2
Cilindro boiler	16B	0	0	0	0	0		1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	7	3
Resistenza W4500-V220	14B	0	0	1	0		1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	9	4
Flangia porta resistenza	18B	0	1	1	0	1	1	1		0	0	0	1	1	1	1	1	1	11	5
Guarnizione resistenza	5B		1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	12	6
Flangia 4 fori	19B	1	1	1	0	1	1	1	1		0	0	1	1	1	1	1	1	13	7
Coppa D180	20B	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	16	8

Tab.35 Matrice dei vincoli di precedenza del gruppo main boiler

La matrice presenta 8 livelli di disassembly. Il primo livello annovera il fondo bombato della caldaia, il secondo comprende i due tuboscambiatori mentre nel successivo è presente il cilindro del boiler. Il quarto livello comprende gli elementi della resistenza tubolare mentre l'ultimo è relativo alla coppa D180, che richiede la rimozione di ben 16 costituenti prima di poter essere isolata dal resto del gruppo.

5.6.4 Disassembly del gruppo motore-pompante

Il gruppo motore-pompante è meno complesso dei precedenti, poiché formato da un numero di costituenti e di collegamenti sensibilmente minore.

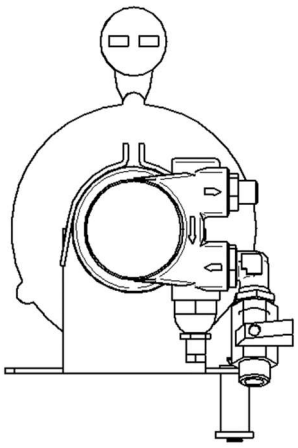


Fig.27 Gruppo motore-pompa della VA358

In questo caso ho solo due componenti target. Il primo è il motore elettrico che è isolato, tramite la rimozione di alcuni collegamenti filettati, dai supporti anti-vibranti, a loro volta svincolati dal basamento del telaio.

L'altra parte obiettivo è la pompante volumetrica, che è rimossa dal resto del gruppo con lo scollegamento di tutti gli elementi di raccordo e del rubinetto a sfera. Anche in questo caso sono presenti solo collegamenti filettati.

I componenti attivi compresi nel gruppo sono presenti nella tabella successiva.

Codice	Componenti	Q.tà	Nome
04500034	Motore elettrico	1	4C
01300005	Pompante volumetico	1	7C
07300017	Raccordo gas	1	8C
07300068	Raccordo L 3/8 M-M	1	9C

Tab.36 Componenti attivi ed elementi di collegamento gruppo motore-pompa

A seguire è stato riportato il posizionamento degli elementi appena introdotti all'interno dell'assieme, identificati con un numero e la lettera C che ne sottolinea l'appartenenza a tale gruppo.

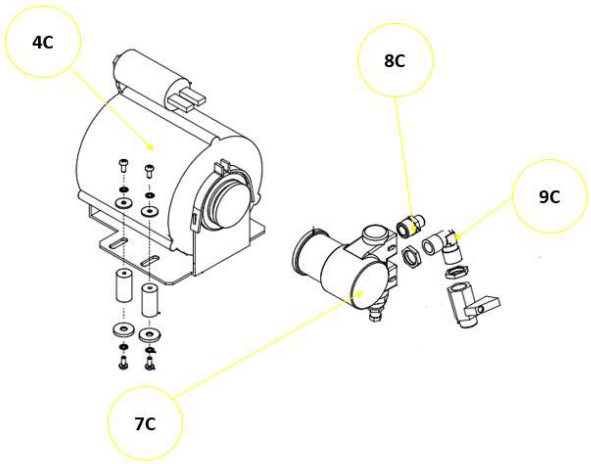


Fig.28 Posizione dei componenti attivi nell'assieme motore-pompa

La sequenza dell'assieme che consente la rimozione delle due parti obiettivo è la seguente:

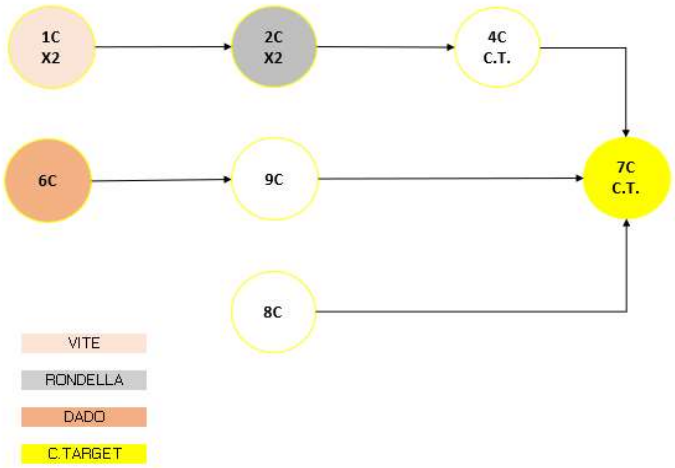


Fig.29 Sequenza di disassembly per la rimozione dei componenti target del gruppo motore-pompa

La matrice che è stata determinata è molto semplice e conta solo un livello di disassembly che comprende la pompante volumetrica, oltre al livello zero che invece annovera tra i vari componenti il motore elettrico.

		4C	7C	8C	9C	TOTALE	LIVELLO
Motore elettrico	4C		0	0	0	0	0
Raccordo gas	8C	0	0		0	0	0
Raccordo L 3/8 M-M	9C	0	0	0		0	0
Pompante volumetrico	7C	1		1	1	3	1

Tab.37 Matrice dei vincoli di precedenza del gruppo motore-pompante

5.6.5 Disassembly del gruppo accessori

Gli accessori che rientrano nel gruppo analizzato sono tutti quegli elementi che permettono di inserire la miscela nel processo di preparazione del caffè.

Fig.30 Gruppo accessori della VA358 per l'inserimento della miscela di caffè

Poiché sono presenti due sistemi di erogazione, la VA358 comprenderà altrettanti gruppi di accessori, che risultano identici tra di loro. I componenti target selezionati sono i due corpi portafiltro in acciaio. Ciascuno di essi verrà svitato sia dal becco a due vie (l'elemento che presenta due canalini in cui scorre il caffè che va a finire nella tazzina), sia dall'inserto della manopola. Inoltre sarà necessario rimuovere il filtro al suo interno.

I componenti attivi presenti in ogni gruppo sono stati riportati nella tabella successiva.

Codice	Componenti	Q.tà	Nome
06200092	Corpo portafiltro	1	4D
07300601	Inserto manopola	1	5D
03000072	Filtro caffè	1	6D
06200008	Becco a due vie	1	9D

Tab.38 Componenti attivi per ciascun gruppo degli accessori

Il posizionamento degli elementi è mostrato nella figura che segue. I componendi sono stati indicati attribuendo un numero identificativo seguito dalla lettera D, che indica l'appartenenza al gruppo degli accessori.

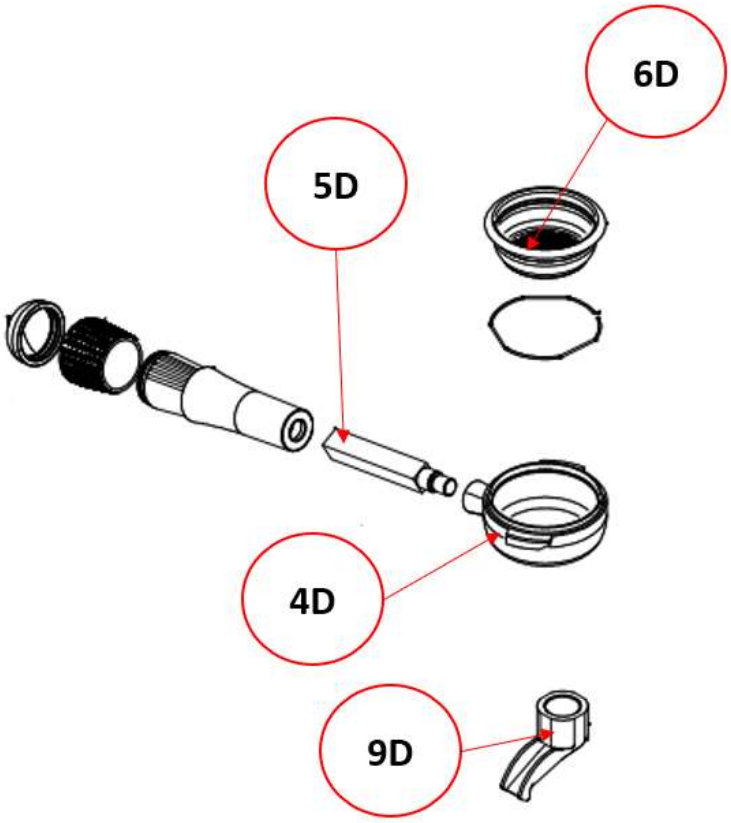


Fig.31 Posizione dei componenti attivi nell'assieme degli accessori

La sequenza di disassembly che permette di isolare ciascun corpo portafiltro è la seguente:

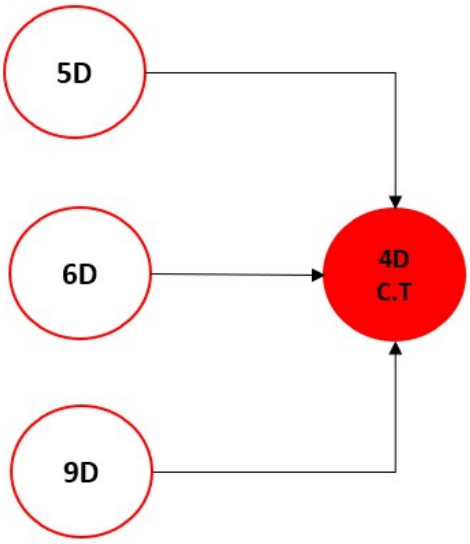


Fig.32 Sequenza di disassembly per la rimozione dei componenti target del gruppo accessori

Infine è stata determinata la matrice dei vincoli di precedenza, che presenterà solo un livello (oltre quello zero) che comprende il componente target selezionato.

		4D	5D	6D	9D	TOTALE	LIVELLO
Inserto manopola	5D	0		0	0	0	0
Filtro caffè	6D	0	0		0	0	0
Becco a due vie	9D	0	0	0		0	0
Corpo portafiltro	4D		1	1	1	3	1

Tab.39 Matrice dei vincoli di precedenza del gruppo accessori

5.7 Tempi di disassembly dei componenti target

Nel paragrafo precedente sono state definite le sequenze di demanufacturing per separare i gruppi più impattanti dall'assieme complessivo e per isolare da questi ultimi i componenti target. L'obiettivo successivo è l'attribuzione delle tempistiche relative a ciascuna operazione di disassembly, per quantificare il tempo di rimozione delle parti maggiormente impattanti.

Il metodo proposto da Mandolini et al. riesce a stimare la durata relativa alla rimozione dei diversi tipi di collegamento in condizioni standard. I valori più significativi (tab.3) sono riportati nel capitolo dell'elaborato che descrive il metodo di analisi alla base del case study e sono relativi anche ai collegamenti presenti nella VA358.

Inoltre, come già espresso nel medesimo capitolo, sono stati utilizzati dei coefficienti correttivi (tab.4) relativi allo stato delle viti, alla loro geometria e all'utensile scelto per effettuarne la rimozione.

Quindi nei successivi sottoparagrafi verrà determinato il tempo di smontaggio di ciascun gruppo impattante e di ogni elemento target.

5.7.1 Tempo di disassembly dei gruppi impattanti dall'assieme complessivo

L'obiettivo iniziale, come è stato accennato nella sezione introduttiva del paragrafo, è la definizione dei tempi necessari per il disassembly dei gruppi impattanti dal resto dell'assieme. I

risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente, in cui gli elementi presenti sono stati classificati nei vari livelli di disassembly, individuati dalla matrice di vincolo illustrata precedentemente (tab.30). Inoltre sono state definite nel dettaglio le operazioni effettuate.

Assieme complessivo							
Livello	Operazione	Componente	Nome	N° collegamenti	Tipologia	Tempo operazione [s]	Tempo tot comples. [s]
0	1	Assieme scaldatazze	2	2	Vite	10,4	10,4
0	2	Assieme coprigruppo-scheda d'erogazione dx	17	1	Movimentazione	1,0	11,4
0	3	Assieme coprigruppo-scheda d'erogazione sx	17	1	Movimentazione	1,0	12,4
0	4	Assieme gruppo portafiltro sx	GR.D	1	Movimentazione	1,0	13,4
0	5	Assieme gruppo portafiltro dx	GR.D	1	Movimentazione	1,0	14,4
1	6	Fianco laterale dx	4	2	Vite	8,8	23,2
1	7	Fianco laterale sx	5	2	Vite	8,8	32,0
2	8	Fianco inferiore dx	8	3	Vite	12,0	44,0
2	9	Fianco inferiore sx	9	3	Vite	12,0	56,0
2	10	Gruppo di erogazione destro	GR.A	4	Vite	30,4	86,4
	11			2	Dado	8,0	94,4
2	12	Gruppo di erogazione sinistro	GR.A	4	Vite	30,4	124,8
	13			2	Dado	8,0	132,8
3	14	Retro carena	14	2	Vite	8,0	140,8
	15			2	Dado	8,0	148,8
	16			2	Perno	6,0	154,8
4	17	Retro carena inferiore	16	4	Vite	16,0	170,8
5	18	Gruppo main-boiler	GR. B	10	Dado	40,0	210,8
6	19	Gruppo motore-pompa	GR. C	3	Vite	12,0	222,8
	20			2	Dado	8,0	230,8

Tab.40 Tempistiche relative allo smontaggio dei gruppi selezionati dall'assieme

L'operazione di demanufacturing di tutti i gruppi impattanti è risultata molto onerosa in termini temporali in quanto richiede ben 230,8 secondi.

Successivamente è stata definita la durata relativa allo smontaggio di ogni singolo gruppo:

- per il sistema di erogazione sono necessari 50,8 secondi e 5 operazioni

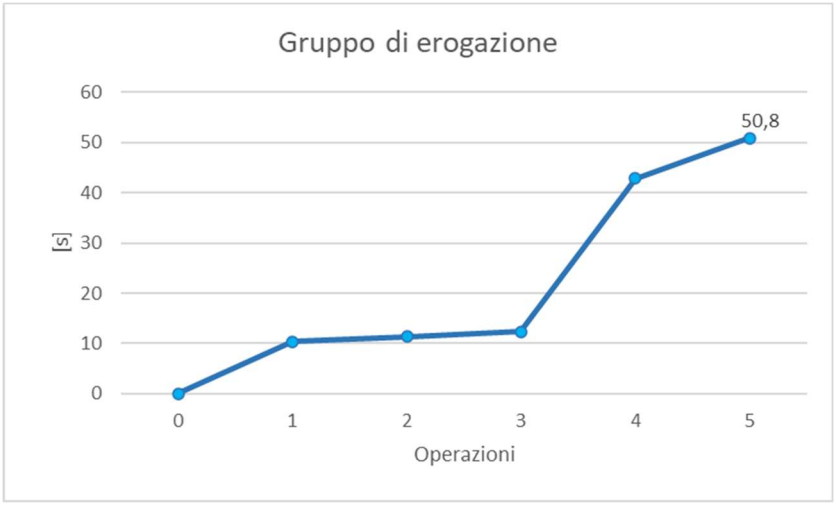


Fig.33 Tempi di rimozione del sistema di erogazione

- il gruppo main boiler richiede 130,0 secondi e 10 operazoni

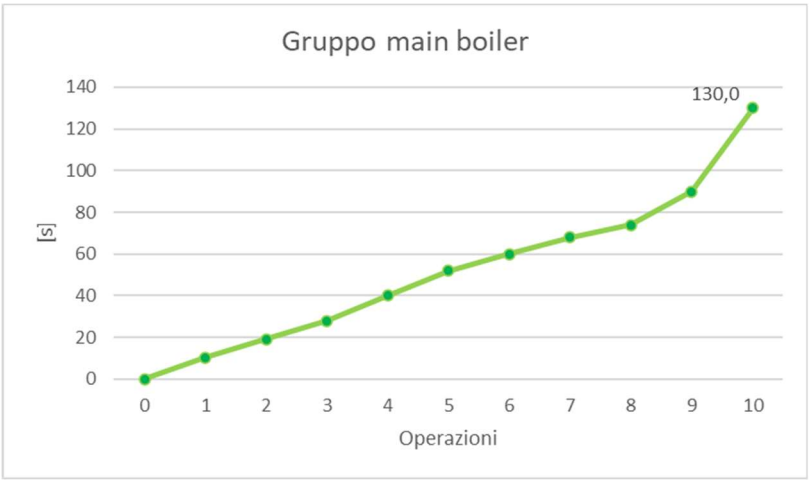


Fig.34 Tempi di rimozione del sistema di erogazione

- l'assieme motore-pompante necessita di 150,0 secondi e 12 operazioni

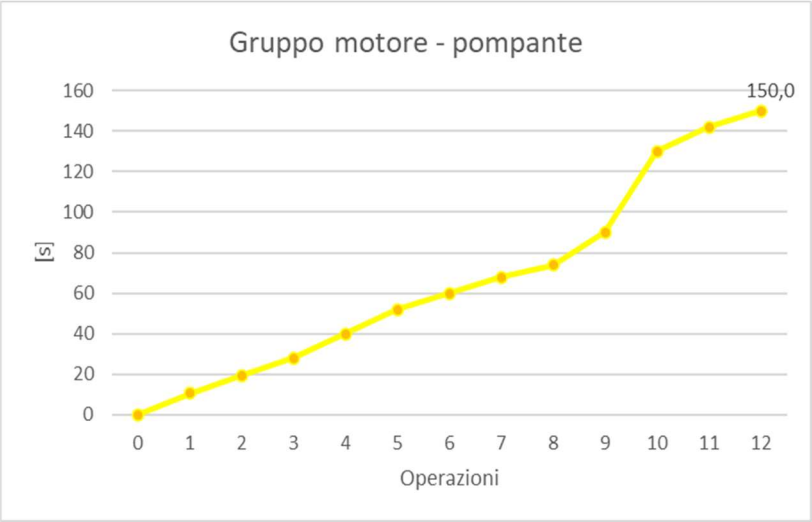


Fig.35 Tempi di rimozione del sistema motore-pompante

- il gruppo degli accessori richiede solamente 1,0 secondi e una singola operazione di rimozione dal sistema di erogazione

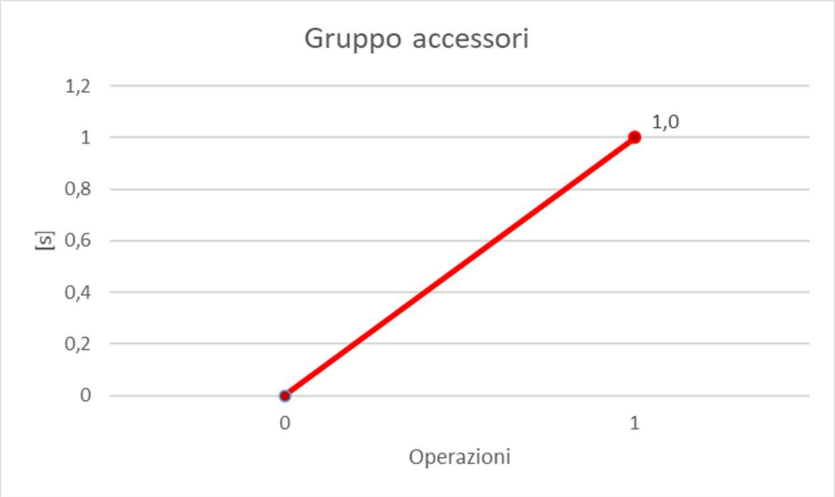


Fig.36 Tempi di rimozione del gruppo accessori

5.7.2 Tempo di disassembly del gruppo di erogazione

Il gruppo di erogazione prevede, come detto in precedenza, tre componenti target:

- l'anello del gruppo

- il corpo del gruppo
- l'elettrovalvola a tre vie Paerker

Le tempistiche e la tipologia delle operazioni necessarie per isolare queste parti sono riassunte nella tabella sottostante, organizzata nei vari livelli definiti dalla matrice di vincolo.

Gruppo erogazione								
Livello	Operazione	Componente	Nome	N° collegamenti	Tipologia	Tempo operazione [s]	Tempo tot.gruppo [s]	Tempo tot compl. [S]
0	1	Isolante gruppo erog.	9A	3	Vite	16,12	16,12	66,93
	2	Doccia inox	13A	1	Vite	5,20	21,32	72,13
		Padiglione gruppo	21A					
		Guarnizione sottocoppa	24A					
	3	Connettore elettrovalvola	14A	1	Movimentazione	1,00	22,32	73,13
	4	Anello gruppo erog.	16A	4	Vite	25,17	47,49	98,30
	5	Tappo 1-4	18A	1	Vite	7,49	54,98	105,79
	6	Tappo 1-4	18A	1	Vite	7,49	62,46	113,28
	7	Tappo chiusura piastrina e.v.	19A	4	Vite	22,88	85,34	136,16
	8	Raccordo 3-8 mm	20A	1	Vite	6,91	92,26	143,07
	9	Raccordo 3-8 mm	20A	1	Vite	8,06	100,32	151,13
1	10	Guarniz. OR2093	10A	1	Movimentazione	1,00	101,32	152,13
	11	Guarniz. Or Di 75,92	11A	1	Movimentazione	1,00	102,32	153,13
	12	Elettrovalvola 3 vie Peaker	15A	2	Vite	16,02	118,34	169,15
2	13	Guarnizione OR D9,5	12A	0		0,00	118,34	169,15
	14	Guarnizione OR D9,6	12A	0		0,00	118,34	169,15
3	15	Corpo gruppo Adonis	17A	1	Vite	7,49	125,82	176,64

Tab.41 Tempistiche relative allo smontaggio di tutti i componenti target di un singolo gruppo di erogazione

Se considero singolarmente i componenti obiettivo sono necessarie:

- 6 operazioni di durata complessiva pari a 76 secondi per isolare un anello di erogazione

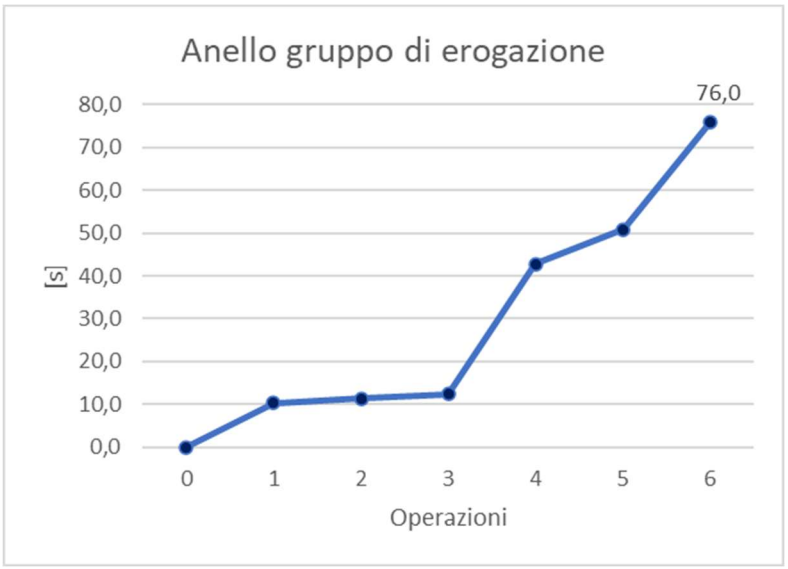


Fig.36 Tempi di rimozione dell'anello di erogazione

- 7 operazioni e 67,8 secondi per lo smontaggio dell'elettrovalvola a tre vie Paerker

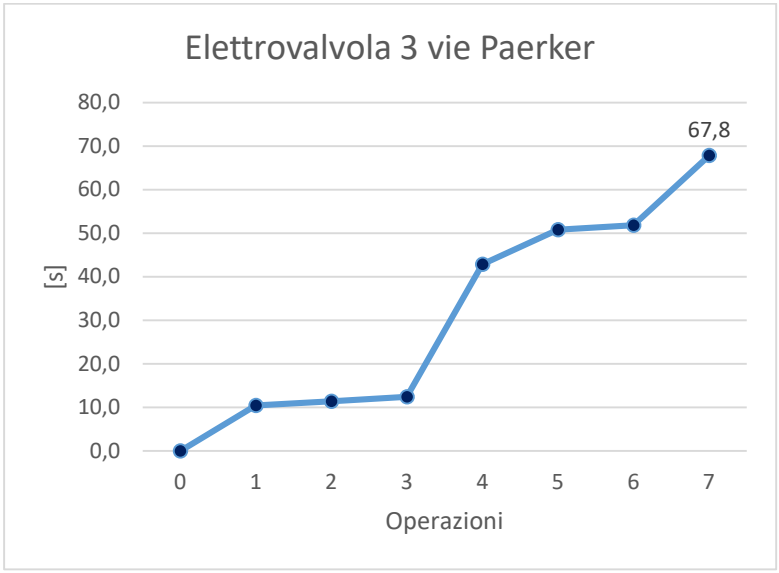


Fig.37 Tempi di rimozione dell'elettrovalvola a 3 vie Paerker

- 22 operazioni e 176,6 secondi per ottenere il corpo del gruppo

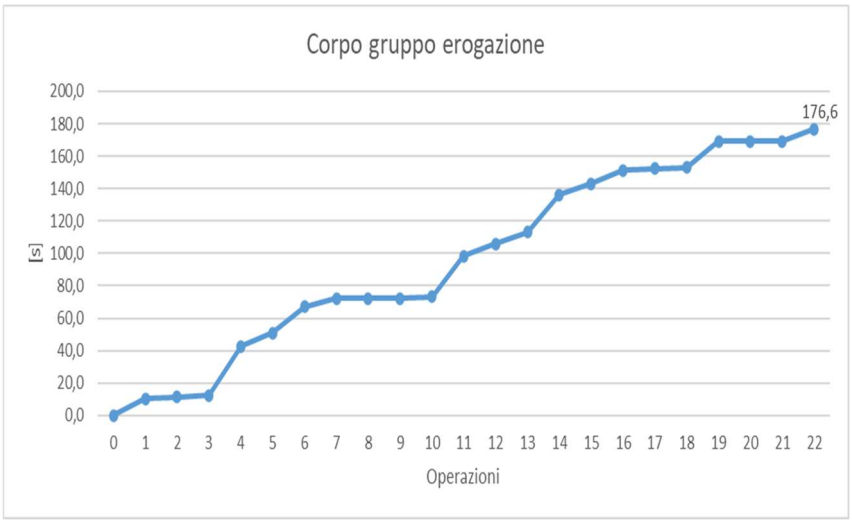


Fig.38 Tempi di rimozione del corpo del gruppo

5.7.3 Tempo di disassembly del gruppo main boiler

Il gruppo della caldaia contiene ben sei elementi target:

- il fondo bombato della caldaia
- due tuboscambiatori
- il cilindro del boiler
- gli elementi di resistenza
- la coppa del boiler

Le tempistiche associate alle varie operazioni di smontaggio sono riportate nella tabella successiva, in cui sono stati evidenziati gli elementi di interesse.

Gruppo main boiler								
Livello	Operazione	Componente	Nome	N° collegamenti	Tipologia	Tempo operazione [s]	Tempo tot.gruppo [s]	Tempo tot compl. [S]
0	1	Copriresistenza	9B	2	Vite	8,0	8,0	138,0
0	2	Sonda livello	12B	1	Vite	10,5	18,5	148,5
0	3	Corpo scambiatore	17B	1	Vite	9,0	27,5	157,5
0	4			1	Dado	4,0	31,5	161,5
0	5	Corpo scambiatore	17B	1	Vite	9,0	40,5	170,5
0	6			1	Dado	4,0	44,5	174,5
0	7	Corpo scambiatore	17B	1	Vite	9,0	53,4	183,4
0	8			1	Dado	4,0	57,4	187,4
0	9	Corpo scambiatore	17B	1	Vite	9,0	66,4	196,4
0	10			1	Dado	4,0	70,4	200,4
0	11	Attacco vapore lavorato	22B	1	Saldatura	10,0	80,4	210,4
0	12	Attacco vapore lavorato	22B	1	Saldatura	10,0	90,4	220,4
0	13	Attacco vapore lavorato	22B	1	Saldatura	10,0	100,4	230,4
0	14	Raccordo a gomito	23B	1	Saldatura	10,0	110,4	240,4
0	15	Raccordo a gomito	23B	1	Saldatura	10,0	120,4	250,4
0	16	Attacco gas	25B	1	Saldatura	10,0	130,4	260,4
1	17	Staffa fissaggio	8B	1	Vite	6,3	136,8	266,8
1	18	Attacco G1-4F	21B	1	Vite	4,0	140,8	270,8
1	19	Fondo bombato caldaia	24B	1	Saldatura	10,0	150,8	280,8
1	20	Flangia chiusa scamb.	26B	1	Saldatura	10,0	160,8	290,8
1	21	Flangia chiusa scamb.	26B	1	Saldatura	10,0	170,8	300,8
1	22	Flangia chiusa scamb.	26B	1	Saldatura	10,0	180,8	310,8
1	23	Flangia chiusa scamb.	26B	1	Saldatura	10,0	190,8	320,8
2	24	Tuboscambiatore	27B	1	Movimentazione	1,0	191,8	321,8
2	25	Tuboscambiatore		1	Movimentazione	1,0	192,8	322,8
3	26	Cilindro boiler	16B	1	Saldatura	10,0	202,8	332,8
4	27	Elementi di resistenza	14B	2	Saldatura	20,0	222,8	352,8
5	28	Flangia porta resistenza	18B	3	Vite	19,0	241,8	371,8
6	29	Guarnizione resistenza	5B	1	Movimentazione	1,0	242,8	372,8
7	30	Flangia 4 fori	19B	1	Saldatura	10,0	252,8	382,8
8	31	Coppa D180	20B	1		0,0	252,8	382,8

Tab.42 Tempistiche relative allo smontaggio di tutti i componenti target del gruppo main boiler

Come si può notare dai dati ottenuti, l'estrazione dei componenti target richiede ben 252,8 secondi, a cui devono essere aggiunti altri 130,0 secondi per isolare il gruppo in questione dalle restanti parti dell'assieme. Quindi il disassembly complessivo richiede 382,8 secondi. Il processo di demanufacturing è di gran lunga il più oneroso in termini temporali rispetto agli altri gruppi. Uno dei motivi è dovuto alla presenza di un elevato numero di saldature, che richiedono tempi

elevati di rimozione e diminuiscono l'attitudine del prodotto al demanufacturing, poiché rappresentano una tipologia di collegamento permanente.

Focalizzando invece l'attenzione su ogni singolo componente target occorrono:

- 13 operazioni e 160,0 secondi per lo smontaggio del fondo bombato della caldaia

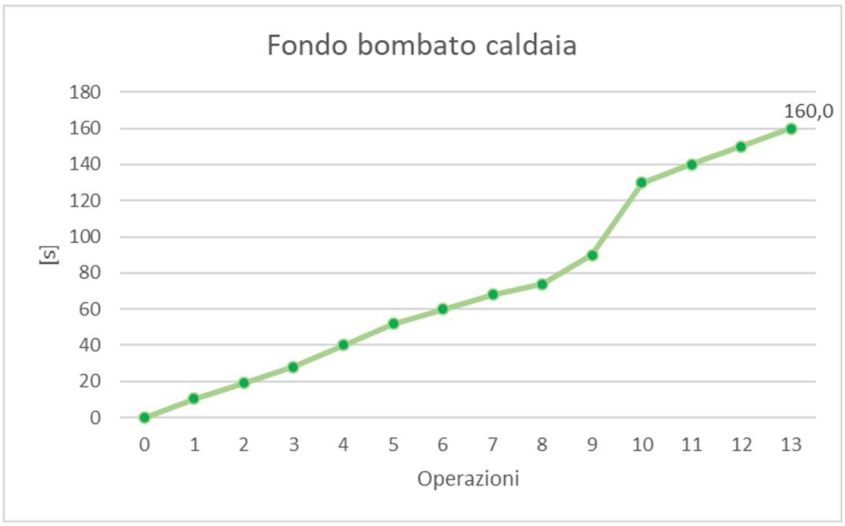


Fig.39 Tempistiche relative allo smontaggio del fondo bombato della caldaia

- 17 operazioni e 177,0 secondi per estrarre ciascuno dei due tuboscambiatori

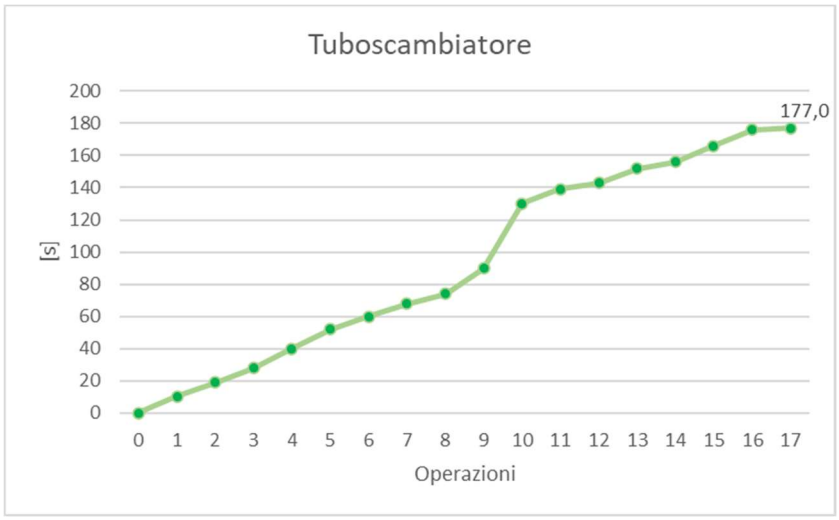


Fig.40 Tempistiche relative allo smontaggio di un tuboscambiatore

- 32 operazioni e 303,9 secondi per ottenere il cilindro del boiler

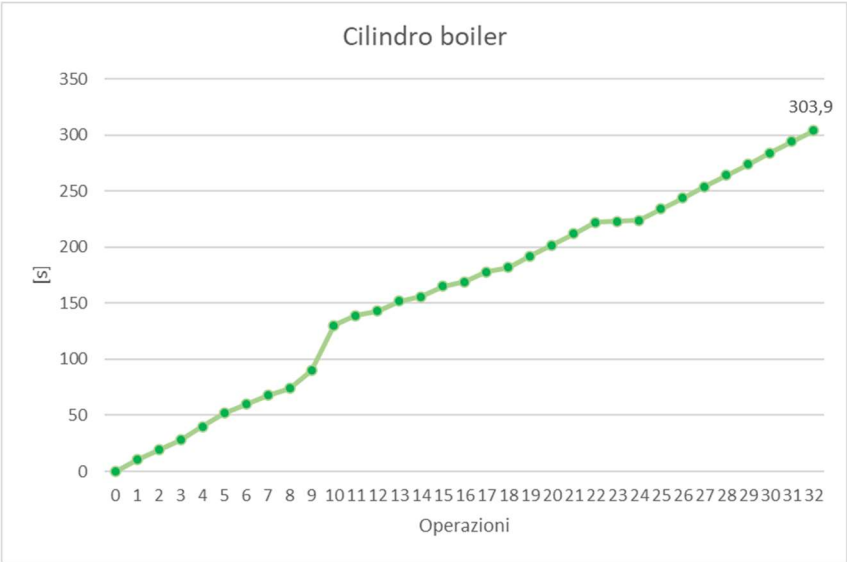


Fig.41 Tempistiche relative allo smontaggio del cilindro costituente il boiler

- 34 operazioni e 331,9 secondi per il disassembly degli elementi di resistenza

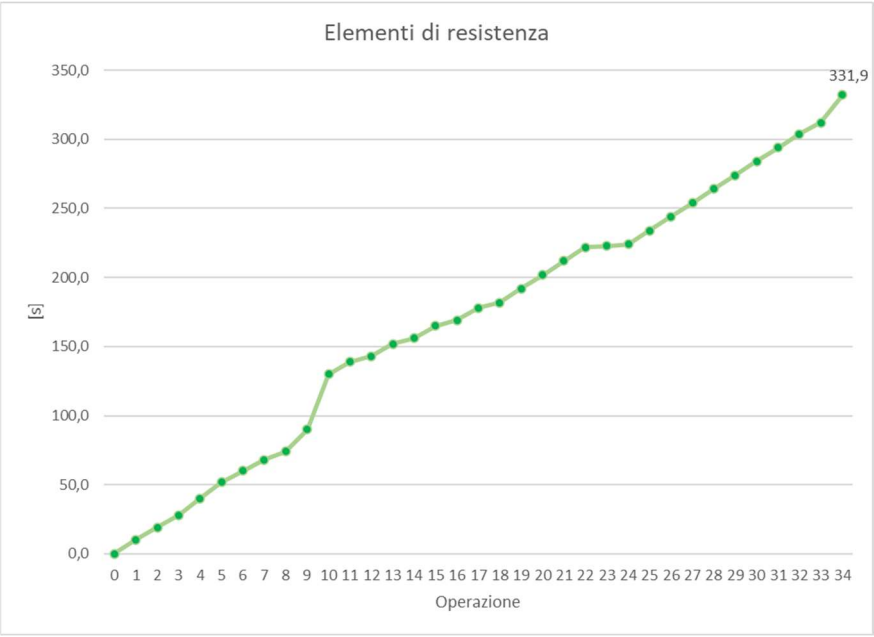


Fig.42 Tempistiche relative allo smontaggio degli elementi di resistenza

- 41 operazioni e 382,8 secondi per lo smontaggio della coppa del boiler

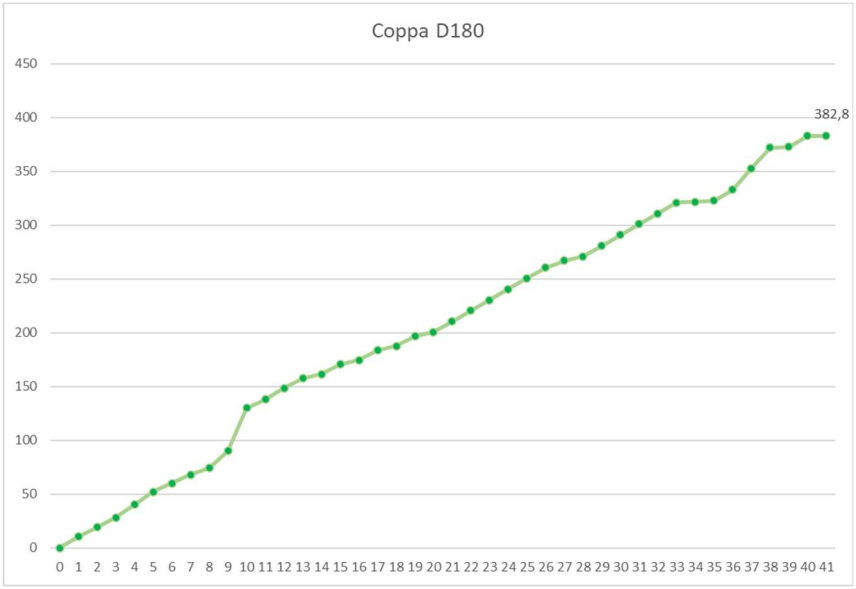


Fig.43 Tempistiche relative allo smontaggio della coppa del boiler

5.7.4 Tempo di disassembly del gruppo motore-pompante

L'analisi dei materiali ha riscontrato due elementi target nel gruppo motore-pompante

- il motore elettrico
- la pompante volumetrica

Come fatto per gli altri sotto-assiemi, sono state raggruppate le operazioni per isolare i componenti target, organizzando in vari livelli di dissassembly i costituenti che vengono rimossi.

Gruppo motore-pompante								
Livello	Operazione	Componente	Nome	N° collegamenti	Tipologia	Tempo operazione [s]	Tempo tot gruppo[s]	Tempo tot comples. [s]
0	1	Motore elettrico 230V 50-60 Hz	4C	2	Vite	8,0	8,0	158,0
0	2	Raccordo gas	8C	1	Vite	6,9	14,9	164,9
0	3	Raccordo L 3/8 M-M	9C	1	Dado	4,0	18,9	168,9
1	4	Pompante volumetrico	7C	0		0,0	18,9	168,9

Tab.43 Tempistiche relative allo smontaggio dei componenti target del gruppo motore-pompa

In precedenza è stato determinato che il tempo di disassembly del gruppo dal resto dell'assieme è pari a 150,0 secondi. La separazione dei componenti obiettivo, che avviene successivamente, è al contrario molto rapida e richiede un tempo ulteriore di soli 20,1 secondi.

Analizzando singolarmente le due parti oggetto di interesse, il demanufacturing richiede:

- 13 operazioni di durata complessiva pari a 158 secondi per il motore elettrico

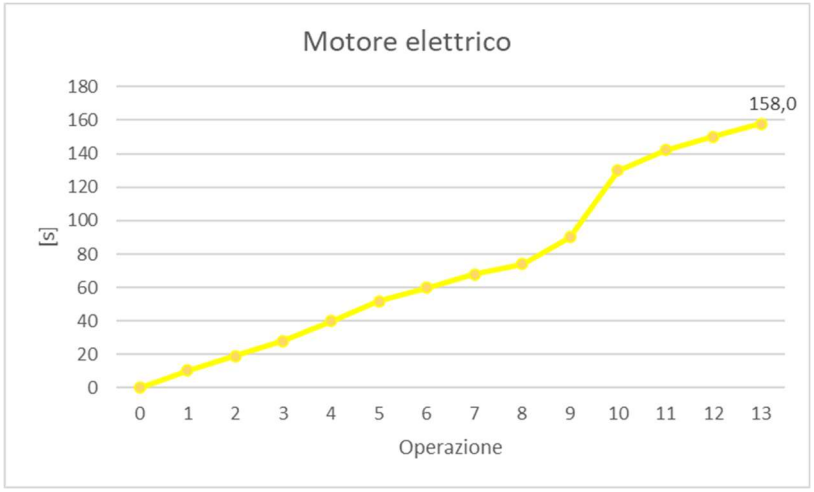


Fig. 44 Tempistiche relative allo smontaggio del motore elettrico

- 17 operazioni e quasi 169 secondi per quanto riguarda la pompante volumetrica

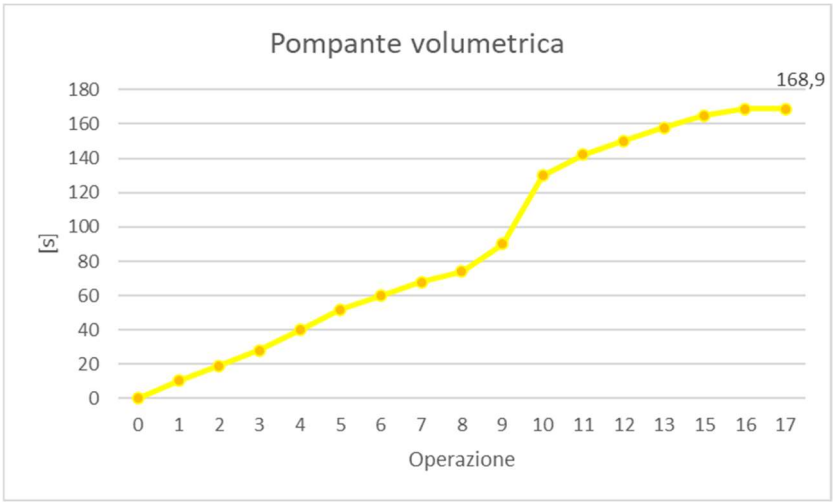


Fig.45 Tempistiche relative allo smontaggio della pompante volumetrica

5.7.5 Tempo di disassembly del gruppo degli accessori

Il gruppo degli accessori, come visto in precedenza, è il più semplice da trattare in quanto è necessaria una semplice operazione di movimentazione per separarlo dall'assieme e occorrono pochi e semplici passaggi per smontare il corpo portafiltro, unico componente target che è stato riscontrato.

Nella tabella successiva è riassunta la tipologia di ogni operazione effettuata e la relativa durata.

Gruppo scatola accessori								
Livello	Operazione	Componente	Nome	N° collegamenti	Tipologia	Tempo operazione [s]	Tempo tot gruppo[s]	Tempo tot comples. [s]
0	1	Inserto manopola	5D	1	Vite	5,6	5,6	6,6
0	2	Filtro caffè	6D	1	Movimentazione	1,0	6,6	7,6
0	3	Becco a due vie	9D	1	Vite	6,7	13,3	14,3
1	4	Corpo portafiltro	4D	0			13,3	14,3

Tab.44 Tempistiche relative allo smontaggio dei componenti target del gruppo degli accessori

Il disassemblaaggio del gruppo ha una durata complessiva di 13,3 secondi a cui deve essere aggiunta l'operazione di movimentazione di 1 secondo, necessaria per estrarre il corpo portafiltro dal gruppo di erogazione.

In questo caso sono necessarie solo 5 operazioni per lo smontaggio dell'elemento target ed un tempo complessivo di 14,3 secondi.

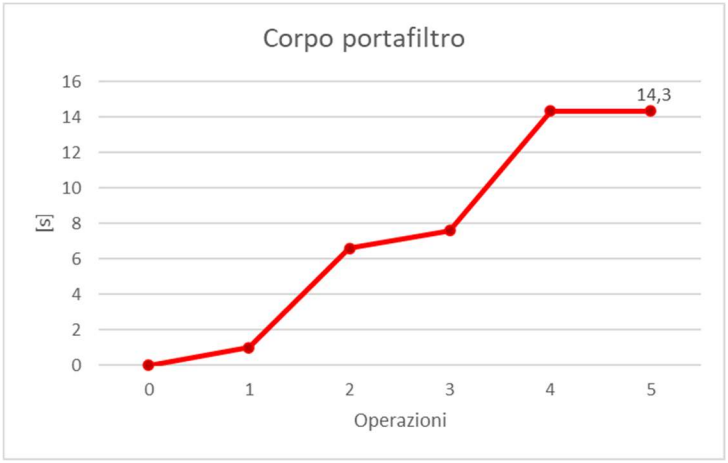


Fig.46 Tempistiche relative allo smontaggio corpo portafiltro

5.8 Indicatori di fine vita

Una volta terminata l'analisi relativa al disassembly dei componenti target, è possibile determinare diversi indicatori che quantificano le potenzialità ed il valore del materiale a fine vita. Alcuni indici saranno inoltre fondamentali per l'elaborazione di una strategia di end of life alternativa a quella attuale, grazie alla quale verranno sviluppati diversi scenari di fine vita. Il primo indicatore considerato è il disassembly index for manual disassembly (D_{Manual}), che quantifica la propensione di ciascuna parte selezionata allo smontaggio. Come illustrato nella sezione dedicata alla descrizione della metodologia (capitolo 4), la determinazione di questo indicatore si basa sul numero di operazioni necessarie per lo smontaggio:

- nel caso in cui sia minore di 10 il valore sarà determinato dal numero di operazioni stesse e dal tempo di demanufaturing (tab.6)
- se invece è maggiore di 10, è necessario considerare la massa del componente e il tempo complessivo di rimozione (tab.7)

Altro indice fondamentale è il disassembly index for mechanical shredding ($D_{mechanical}$), espresso come il D_{man} in termini percentuali. Esso deve essere considerato nel momento in cui sono presenti dei collegamenti permanenti, rimovibili cioè grazie ad un'operazione meccanica distruttiva. Nel caso della VA358 tale indicatore ha riguardato tutti gli elementi target del gruppo main boiler, in cui erano presenti delle saldature che diminuiscono l'efficienza della fase di demanufacturing. Il valore è stato assegnato considerando quelli espressi nella tabella relativa (tab.8).

Successivamente si è passati alla quantificazione del degrado relativo al materiale di ogni componente target, seguendo la procedura illustrata nel capitolo 4 (Fig.4). Sono stati determinati tre degradation sub-indices, il cui prodotto ha consentito il calcolo dell'indicatore di degrado complessivo (M_D). Quest'ultimo si basa quindi su diversi fattori, come lo stress chimico-meccanico subito dal costituente e il grado in cui un utilizzo scorretto ne possa compromettere le funzionalità. Tali aspetti possono essere solo supposti, poiché non si è potuto eseguire lo studio su un esemplare di VA358 a fine vita. L'indice di degrado complessivo, come spiegato in maniera approfondita nel paragrafo successivo, è fondamentale nella definizione della strategia di fine vita adottata.

Gli indicatori che sono stati determinati consentono di calcolare, grazie alla formula (1), la massa di materiale potenzialmente riutilizzabile di ogni parte considerata. Andando ad utilizzare la formula (2) si può finalmente determinare l'indice di riuso (R_{reuse}), ovvero il rapporto in termini percentuali tra la massa complessiva riciclabile dei componenti target e la massa totale di questi ultimi. Il valore ottenuto è pari al 26,28%, pertanto risulta complessivamente buono, ma è stato limitato dalla scarsa propensione al riutilizzo del motore elettrico. Quest'ultimo ha una massa notevole pari a 14,94 kg, contro i 33,13 kg relativi al peso di tutti gli elementi target. L'elevato degrado di tale componente al termine della sua vita utile, comporta un valore di M_D pari al 13% che causa una diminuzione drastica della massa del motore potenzialmente idonea al riuso, pari a soli 1,49 kg.

Il calcolo degli indici successivi è finalizzato alla quantificazione della massa idonea al riciclo delle parti obiettivo. Il primo indicatore analizzato è quello di riciclabilità (M_R), i cui valori per i metalli puri più impiegati sono riportati nella tabella relativa (tab.8). Nel caso in cui la parte oggetto dello studio sia in lega, il valore attribuito sarà quello dell'elemento che presenta minore riciclabilità. La macchinetta del caffè possiede numerose parti obiettivo in ottone, a cui è stato correlato lo stesso M_D del rame (M_D=0,94).

Successivamente è stato calcolato il contamination index for recyclability "C_1'" grazie alla metodologia definita in precedenza (tab.8). Per la stima dei valori sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Il motore elettrico e la pompante presentano alcune delle sostanze pericolose indicate dalla normativa ROHS. Tuttavia la percentuale di queste ultime è stata considerata minore dei limiti massimi tollerabili. Ai due costituenti pertanto è stato attribuito un valore medio di contaminazione(C_1'=50%)
- il rame che costituisce gli elementi del gruppo main boiler è stato considerato privo dei penalty elements (tab.10)
- per l'acciaio dei corpi portafiltro sono state fatte considerazioni analoghe a quelle del rame
- per quanto riguarda l'ottone, che costituisce molte parti del gruppo di erogazione, essendo una lega che può presentare diversi alliganti ed elementi differenti da quelli principali, è stata considerata la presenza di elementi penalizzanti (tab.10)

Una volta esplicitati gli indici di riciclo e di contaminazione, è possibile effettuare il loro prodotto con l'indice di disassembly e la massa del componente, ricavando così la massa potenzialmente riciclabile, come espresso nella formula (3).

Successivamente si può calcolare l'indice di riciclo $R_{Recycle}$, esprimendo in percentuale il rapporto tra la somma delle masse riciclabili dei componenti target e la somma delle masse totali di questi ultimi. Il valore che si ottiene è molto elevato ed è pari al 40,79%.

Si può quindi concludere che una parte significativa della massa relativa alle parti che presentano maggiore impatto ambientale può essere recuperata o riciclata.

Componente target	Gruppo	Materiale	Peso [kg]	N°operazioni	Tdis [s]	D_{man}	D_{mech}	$M_{D,1}$	$M_{D,2}$	$M_{D,3}$	M_D	m_{reuse} [kg]	C'_1	M_R	$m_{recycle}$ [kg]
Anello gruppo di erogazione sx	G. erogazione	Ottone	1,14	6	76,0	80%		100%	100%	100%	100%	0,91	50%	0,94	0,43
Anello gruppo di erogazione dx	G. erogazione	Ottone	1,14	6	76,0	80%		100%	100%	100%	100%	0,91	50%	0,94	0,43
Elettrovalvola 3 vie Paerker sx	G. erogazione	Ottone e altri	0,61	7	67,8	78%		50%	75%	50%	19%	0,09	50%	0,94	0,22
Elettrovalvola 3 vie Paerker dx	G. erogazione	Ottone e altri	0,61	7	67,8	78%		50%	75%	50%	19%	0,09	50%	0,94	0,22
Corpo gruppo di erogazione sx	G. erogazione	Ottone	2,92	22	176,6	70%		100%	75%	100%	75%	1,53	50%	0,94	0,96
Corpo gruppo di erogazione dx	G. erogazione	Ottone	2,92	22	176,6	70%		100%	75%	100%	75%	1,53	50%	0,94	0,96
Fondo bombato caldaia	G. main boiler	Rame	0,5	13	160,0	65%	85%	100%	50%	100%	50%	0,14	100%	0,94	0,26
Tuboscambiatore	G. main boiler	Rame	0,49	17	177,0	60%	85%	100%	50%	100%	50%	0,12	100%	0,94	0,23
Tuboscambiatore	G. main boiler	Rame	0,49	17	177,0	60%	85%	100%	50%	100%	50%	0,12	100%	0,94	0,23
Cilindro boiler	G. main boiler	Rame	2,97	32	303,9	70%	85%	100%	50%	100%	50%	0,88	100%	0,94	1,66
Elementi di resistenza	G. main boiler	Rame	1,14	34	331,9	60%	85%	50%	50%	50%	13%	0,07	100%	0,94	0,55
Coppa 180D	G. main boiler	Rame	0,47	41	382,8	50%	85%	100%	50%	100%	50%	0,10	100%	0,94	0,19
Motore elettrico 230V 50-60 Hz	G. motore-pompante	Metalli vari	14,94	13	158,0	80%		50%	50%	50%	13%	1,49	50%	0,94	5,62
Pompante volumetrico	G. motore-pompante	Ottone e altri	1,73	17	168,9	70%		50%	50%	50%	13%	0,15	50%	0,94	0,57
Corpo portafiltro sx	G. accessori	Acciaio	0,53	5	14,3	92%		100%	75%	75%	56%	0,27	100%	1,00	0,49
Corpo portafiltro dx	G. accessori	Acciaio	0,53	5	14,3	92%		100%	75%	75%	56%	0,27	100%	1,00	0,49
		TOTALE	33,13								TOTALE	8,7065		TOTALE	13,51
											R_{reuse}	26,28%		$R_{recycle}$	40,79%

Tab.45 Panoramica dei valori relativi agli indici calcolati per i componenti target

5.9 Strategie e scenari di EoL

Per definire la strategia di fine vita dei componenti target si è scelto di utilizzare l'indice di degradazione del materiale, stabilendo dei valori limite per tracciare i vari scenari.

Seguendo questa logica, i componenti che hanno un valore dell'indicatore $M_D \geq 75\%$ possono essere riutilizzati nel loro stato attuale o, in alternativa, essere rilavorati o riciclati. Le parti con un indice $75\% \geq M_D \geq 25\%$ possono essere destinate al remanufacturing o al riciclo. I costituenti rimanenti invece sono sottoponibili unicamente ad un processo di riciclo, a patto di presentare dei materiali idonei al processo subito.

In base all'analisi effettuata solo i due corpi dei gruppi di erogazione destro e sinistro e i due anelli dei medesimi sistemi rientrano tra i componenti adatti al riutilizzo.

Tuttavia, i corpi di erogazione sono correlati ad un valore molto elevato in termini di impatto ambientale, che può essere abbattuto completamente o in gran parte nel caso in cui si scelga di eseguire una rilavorazione. Anche il contributo degli anelli di erogazione seppur minore non è certo trascurabile.

I componenti che invece possono essere soggetti a remanufacturing ma non al riutilizzo sono i due portafiltro e tutte le parti target relative al gruppo caldaia eccetto gli elementi di resistenza che, presentando un indice M_D<25%, insieme alla pompante volumetrica, al motore elettrico e alle elettrovalvole a 3 vie Paerker destra e sinistra, possono essere destinati al solo riciclo.

Componente target	Peso [kg]	N°operazioni	Tdis [s]	M_d	
Motore elettrico 230V 50-60 Hz	14,94	13	158,0	13%	RICICLO
Pompante volumetrico	1,73	17	168,9	13%	
Elementi di resistenza	1,14	34	223,9	13%	
Elettrovalvola 3 vie Peaker sx	0,61	7	67,8	19%	
Elettrovalvola 3 vie Peaker dx	0,61	7	67,8	19%	
Fondo bombato caldaia	0,5	13	133,0	50%	REMANUFACTURIG
Tuboscambiatore	0,49	17	159,0	50%	
Tuboscambiatore	0,49	17	159,0	50%	
Cilindro boiler	2,79	32	195,9	50%	
Coppa 180D	0,47	41	266,8	50%	
Corpo portafiltro sx	0,3	5	14,3	56%	
Corpo portafiltro dx	0,3	5	14,3	56%	
Corpo gruppo di erogazione sx	2,92	22	176,6	75%	RIUSO
Corpo gruppo di erogazione dx	2,92	22	176,6	75%	
Anello gruppo di erogazione sx	1,14	6	76,0	100%	
Anello gruppo di erogazione dx	1,14	6	76,0	100%	

Tab.46 Strategie di fine vita in funzione dell'indice di degradazione

In base allo studio effettuato sono stati individuati tre scenari di vita:

- nel primo scenario i componenti con $M_D \geq 75\%$ sono stati destinati al riuso, quelli con $75\% \geq M_D \geq 25\%$ hanno subito rilavorazioni, mentre i restanti con indice minore del 25% sono stati destinati al riciclo
- nel secondo scenario invece non è stato preso in considerazione il riuso, in quanto le parti con $M_D \geq 25\%$ sono soggette al remanufacturig e le rimanenti al riciclo

- nel terzo scenario invece si è considerato il riciclo come unica operazione a cui sono sottoposte tutte le parti, a prescindere dal valore dell'indicatore.

SCENARI DI FINE VITA								
Scenario 1			Scenario 2			Scenario 3		
RIUSO	Corpo del gruppo di erogazione sx		REMANUFACTURING	Corpo del gruppo di erogazione sx		RICICLO	Corpo del gruppo di erogazione sx	
	Corpo del gruppo di erogazione dx			Corpo del gruppo di erogazione dx			Corpo del gruppo di erogazione dx	
	Anello gruppo di erogazione sx			Anello gruppo di erogazione sx			Anello gruppo di erogazione sx	
	Anello gruppo di erogazione dx			Anello gruppo di erogazione dx			Anello gruppo di erogazione dx	
REMANUFACTURING	Fondo bombato caldaia			Fondo bombato caldaia			Fondo bombato caldaia	
	Tuboscambiatore			Tuboscambiatore			Tuboscambiatore	
	Tuboscambiatore			Tuboscambiatore			Tuboscambiatore	
	Cilindro boiler			Cilindro boiler			Cilindro boiler	
	Coppa 180 D			Coppa 180 D			Coppa 180 D	
	Corpo portafiltro sx			Corpo portafiltro sx			Corpo portafiltro sx	
	Corpo portafiltro dx			Corpo portafiltro dx			Corpo portafiltro dx	
RICICLO	Motore elettrico 230V 50-60 Hz		RICICLO	Motore elettrico 230V 50-60 Hz			Motore elettrico 230V 50-60 Hz	
	Pompante volumetrico			Pompante volumetrico			Pompante volumetrico	
	Elementi di resistenza			Elementi di resistenza			Elementi di resistenza	
	Elettrovalvola 3 vie Paerker sx			Elettrovalvola 3 vie Paerker sx			Elettrovalvola 3 vie Paerker sx	
	Elettrovalvola 3 vie Paerker dx			Elettrovalvola 3 vie Paerker dx			Elettrovalvola 3 vie Paerker dx	

Tab.47 Scenari di EoL dei componenti target appartenenti alla VA358

Una volta determinati gli scenari di fine vita bisogna quantificare il loro impatto e confrontarlo rispetto a quello del ciclo di vita standard, il quale non contempla le operazioni e le valutazioni effettuate in questa trattazione. Bisogna infatti comprendere la bontà in termini di sostenibilità ambientale dei risultati relativi all'analisi svolta.

La modellizzazione di tutte le parti obiettivo per ottenere i tre scenari è basata sui criteri delineati nella sezione dell'elaborato che descrive la metodologia di analisi (cap.4).

I confronti tra lo scenario standard e quelli alternativi, generati grazie alla modellizzazione, riguardano:

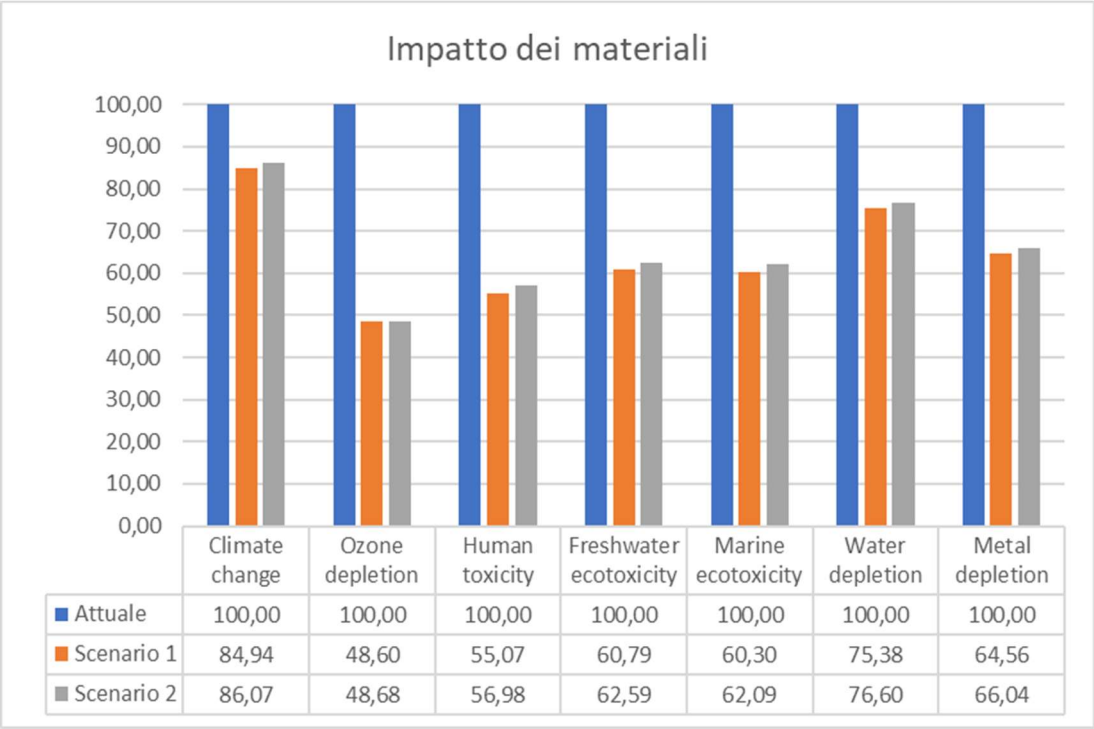
- l'impatto dei materiali di manufacturing dell'intero assieme
- l'impatto dei materiali relativo ai gruppi in cui sono stati riscontrati dei componenti target. In particolare nel gruppo degli accessori e in quello del main boiler gli scenari 1 e

2 si equivalgono. Questo perché il riutilizzo è previsto solo per alcuni elementi del gruppo di erogazione, mentre per i componenti di questi due assiemi entrambi gli scenari prevedono il remanufacturing. Per il sotto-assieme motore-pompante non ci sono invece differenze per quanto riguarda la fase di manufacturing dato che tutti i componenti sono destinati al riciclo

- l'impatto relativo ai materiali e al fine vita senza considerare la fase di funzionamento della VA358. Quest'ultimo contributo dipende da parametri diversi rispetto a quelli considerati nella trattazione, quali i tempi e le modalità di utilizzo del prodotto da parte dell'acquirente.

Nel primo confronto è subito evidente la bontà dei risultati raggiunti. Relativamente allo scenario 1, le percentuali di impatto che sono state ottenute nella sola fase dei materiali, considerando quelle del ciclo di vita attuale pari al 100%, sono uguali al 48,6% per l'ozone depletion, al 55,1% per l'human toxicity, al 60,8% per la freshwater toxicity, al 60,3% per quanto riguarda la marine ecotoxicity e al 64,6% nel caso del metal depletion. La diminuzione dei danni apportati all'ambiente riguarda anche le restanti voci, seppure i benefici raggiunti siano meno significativi specie per quanto concerne water depletion e climate change

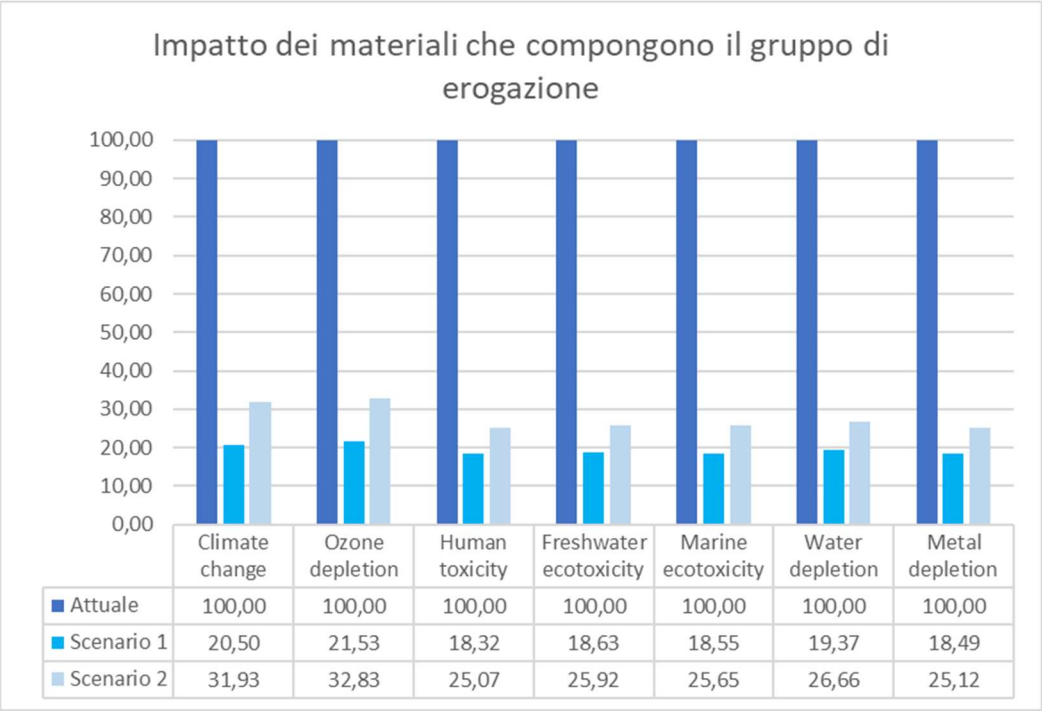
I valori raggiuti considerando il secondo scenario non si discostano tanto da quelli del primo. Ciò è dovuto al fatto che le lavorazioni aggiuntive da effettuare riguardano solamente i due corpi dei sistemi di erogazione e i due anelli del medesimo gruppo.



	Climate change	Ozone depletion	Human toxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Water depletion	Metal depletion
Attuale	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Scenario 1	84,94	48,60	55,07	60,79	60,30	75,38	64,56
Scenario 2	86,07	48,68	56,98	62,59	62,09	76,60	66,04

Fig,47 Confronto tra i diversi scenari relativo alla fase del manufacturing

Il secondo tipo di confronto tra gli scenari ha riguardato, come detto in precedenza, i gruppi che contengono i componenti target. Per quanto riguarda l'assieme di erogazione, la riduzione dei danni ambientali è considerevole e si possono apprezzare i diversi contributi dati dai primi due scenari. Considerando sia il processo di riuso che di rilavorazione, ho una diminuzione del peso ambientale in tutte le voci tra il 78,5% e l'81,7%. Se sono previste esclusivamente lavorazioni di remanufacturing e di riciclo, i benefici si attestano invece tra il 67,2% e il 74,9%. La differenza massima tra i due scenari si riscontra nelle voci di climate change (11,4%) e ozone depletion (11,3%). In entrambi i casi si parla di risultati notevoli, relativi ad un singolo sistema di erogazione.

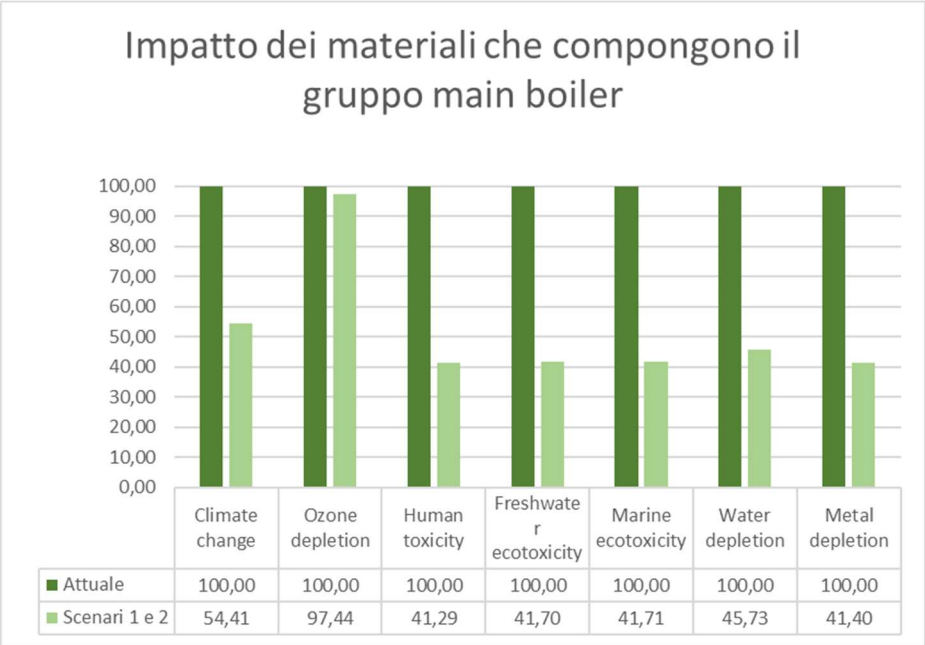


	Climate change	Ozone depletion	Human toxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Water depletion	Metal depletion
Attuale	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Scenario 1	20,50	21,53	18,32	18,63	18,55	19,37	18,49
Scenario 2	31,93	32,83	25,07	25,92	25,65	26,66	25,12

Fig,48 Confronto tra i diversi scenari relativo al manufacturing del gruppo di erogazione

Per quanto riguarda il gruppo main boiler, come anticipato in precedenza, gli scenari uno e due sono del tutto equivalenti perché entrambi non considerano il riuso.

Per le voci di human toxicity, marine ecotoxicity e water deplation la diminuzione di impatto ambientale rispetto alla situazione attuale è molto simile per tutte le voci, in quanto compresa tra il 58% e il 59%. Leggermente minori, ma ugualmente significativi, sono i decrementi di water depletion (54,27%) e climate change (45,59%). La situazione è differente per quanto concerne l'ozone depletion, dato che i benefici ottenuti risultano minimi. Quest'ultimo contributo però ha un'importanza trascurabile in quanto, all'inizio dell'analisi, si è visto che oltre il 50% dell'impatto della VA358 relativamente all'ozono è dovuto al gruppo degli accessori, mentre il sistema caldaia ha un peso complessivo trascurabile in questa voce.



Fig,49 Confronto tra i diversi scenari relativo al manufacturing del gruppo main boiler

Anche per il gruppo degli accessori i benefici relativi ai due scenari sono identici, poiché non è previsto riuso. Le diminuzioni relative all'impatto ambientale sono in ogni caso significative e nelle voci di human toxicity e ozone depletion i danni ambientali nella fase di manufacturing tendono ad essere nulli. Proprio sull'ozone depletion, per i motivi più volte spiegati è importante focalizzare l'attenzione. La rilavorazione dei due corpi portafiltro consente di abbattere il 50% dei danni all'ozono dovuti alla fase di manufacturing della VA358 rispetto alla produzione dei due elementi ex-novo.

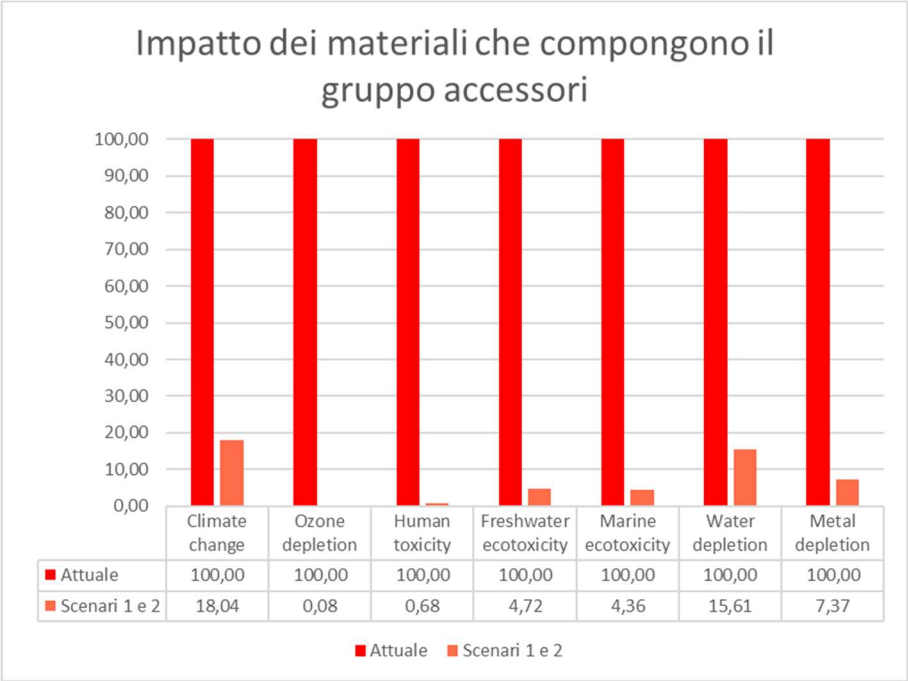


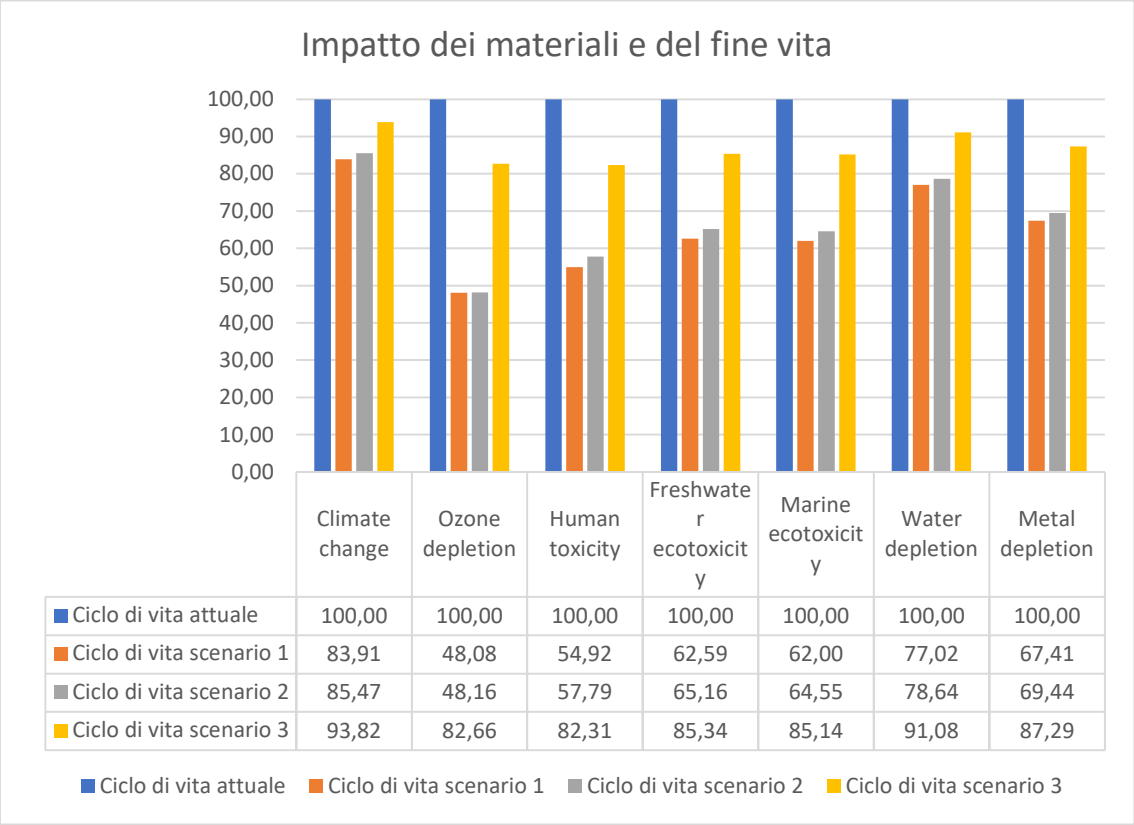
Fig.50 Confronto tra i diversi scenari relativo al manufacturing del gruppo main boiler

Per l'analisi dei materiali non è stato considerato il sistema motore-pompa, poiché tutti i componenti target sono destinati al riciclo. I benefici ambientali relativi al gruppo saranno osservabili una volta che si considera il fine vita, data la maggiore efficienza in termini di recupero del processo di riciclo riguardante le parti selezionate.

L'ultimo confronto tra le varie soluzioni di end of life considera invece sia il contributo dei materiali sia quello del fine vita. Esaminando il primo scenario, la diminuzione più significativa riguarda l'ozone depletion che è pari al 51,92%. Segue poi il decremento relativo alla human toxicity che si attesta sul 45,08% e a gli impatti legati alla freshwater ecotoxicity e alla marine ecotoxicity quantificabili tra il 37% e il 38%. Il consumo di acqua diminuisce di quasi il 23%. Miglioramenti meno significativi si hanno per il climate change, che risultano poco maggiori del 16%. Il primo scenario di end of life è logicamente quello che consente di ottenere i migliori risultati. Escludendo il riuso e considerando il secondo panorama impattante, i decrementi sono minori in tutte le voci ma i delta percentili sono molto contenuti, nell'ordine del 2-3% e prossimi allo zero per l'ozone depletion. Quindi a livello complessivo le prime due soluzioni alternative apportano dei benefici molto simili rispetto alla soluzione attuale. Nel terzo scenario invece tutti gli elementi target sono stati destinati al riciclo, per cui le uniche differenze con il ciclo di vita standard riguardano solo il fine vita. Pur in assenza di miglioramenti nella fase di manufacturing,

l'aumento dell'efficienza legata al recupero apporta effetti benefici, specie per quanto concerne l'human toxicity e l'ozone depletion in cui si hanno dei valori che sono pari rispettivamente al 17,69% e al 17,34%. Risultati simili sono stati ottenuti per la freshwater ecotoxicity per la marine ecotoxicity, quantificabili come il 14,66% e il 14,86% rispettivamente. Meno marcati sono quelli legati all'esaurimento dell'acqua, pari al 12,71% e ancora minori sono quelli relativi al cambiamento climatico, pari solamente al 6,18%.

In seguito è stato riportato il grafico che sintetizza tutte queste considerazioni, per permettere anche un confronto visivo e una maggiore immediatezza nella lettura e nella comprensione dei dati.



	Climate change	Ozone depletion	Human toxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Water depletion	Metal depletion
Ciclo di vita attuale	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ciclo di vita scenario 1	83,91	48,08	54,92	62,59	62,00	77,02	67,41
Ciclo di vita scenario 2	85,47	48,16	57,79	65,16	64,55	78,64	69,44
Ciclo di vita scenario 3	93,82	82,66	82,31	85,34	85,14	91,08	87,29

Fig.51 Confronto tra i diversi scenari di EoL e quello attuale

6 Risultati

Lo studio effettuato dimostra come la fase di manufacturing abbia in questo caso un impatto ambientale maggiore rispetto alle operazioni di dismissione del prodotto. Tale considerazione è evidente se si considerano i vantaggi ottenuti nei primi due scenari, in cui il riuso e la rilavorazione consentono il reimpiego della parte in un nuovo assemblaggio, limitando i danni ambientali derivanti dal manufacturing. I benefici ottenuti nel terzo scenario, incentrati esclusivamente sull'ottimizzazione del fine vita, sono sensibilmente minori. Tuttavia adottando quest'ultimo il disassembly dei componenti target permette un recupero che presenta una maggiore efficienza, poiché il loro smontaggio limita la contaminazione del materiale, riducendo pertanto la frazione non riciclabile.

	ΔI_1 (%)	ΔI_2 (%)	ΔI_3 (%)
Climate change	-16,09	-14,53	-6,18
Ozone depletion	-51,92	-51,84	-17,34
Human toxicity	-45,08	-42,21	-17,69
Freshwater ecotoxicity	-37,41	-34,84	-14,66
Marine ecotoxicity	-38,00	-35,45	-14,86
Water depletion	-22,98	-21,36	-8,92
Metal depletion	-32,59	-30,56	-12,71

Tab.49 Riassunto dei decrementi percentuali relativi ai tre scenari determinati rispetto a quello attuale

Guardando ancora ai risultati ottenuti, andando ad effettuare il demanufacturing e delle lavorazioni dedicate a soli 16 componenti (quelli target), si ottengono risultati molto significativi in termini di riduzione dell'impatto ambientale della VA358 in quasi tutte le voci, pur trascurando le restanti centinaia di parti che continuano ad essere soggette ai processi standard. I miglioramenti risultano meno marcati per quanto riguarda lo spreco di acqua e i danni che

comportano il cambiamento climatico. Uno studio a completamento della trattazione potrebbe riguardare la selezione di altri componenti obiettivo, da integrare a quelli già selezionati, che presentano una scarsa ecocompatibilità se si considerano queste due voci. Tale selezione non è avvenuta in questo studio, dato che i risultati sono stati ottenuti solamente una volta analizzati gli scenari di fine vita.

Inoltre occorre ricordare che i valori determinati derivano da una serie di considerazioni relative ad un prodotto già immesso sul mercato.

La massimizzazione dei risultati può avvenire considerando anche tutte le fasi a monte, ovvero includendo nella progettazione della macchinetta i principi di ecodesign illustrati ad inizio della trattazione e relativi all'intero ciclo di vita. In questo senso risultano importanti i concetti di design for environment e design for disassembly sin dalle prime fasi della progettazione. L'obiettivo che deve essere perseguito fin dall'inizio non riguarda solo la massimizzazione del rapporto prestazioni-costi ma anche la minimizzazione dei danni arrecati all'ambiente, in termini di emissione di elementi inquinanti e climalteranti, consumo delle risorse disponibili sul nostro pianeta e generazione dei rifiuti.

L'analisi effettuata ha permesso anche di individuare dei limiti relativi alla metodologia impiegata in questo case study. Bisogna infatti considerare che molti dati di input sono relativi ad un prodotto modellizzato sul CAD. In altre parole non si è potuto esaminare fisicamente un esemplare a fine vita e ciò ha reso necessarie alcune supposizioni relative allo stato in cui versano i componenti target nella fase di end of life. Infatti, non si ha una precisa conoscenza di fattori quali il tempo di utilizzo, il tipo di ambiente di lavoro, il rispetto del programma di manutenzione ecc.

Altro aspetto critico riguarda anche il tipo di lavorazione effettuata. Purtroppo non è stato possibile modellizzare sul software processi di remanufacturing precisi, pertanto è stata assegnata alle parti interessate un'operazione generica, la cui unica discriminante riguarda la tipologia del materiale. Inoltre la percentuale di massa rilavorata è la medesima per ogni componente, non potendo usufruire delle informazioni menzionate in precedenza. In realtà potrebbe capitare che l'impatto della rilavorazione risulti sensibilmente minore rispetto a quello considerato, in quanto riguarda una percentuale di materiale minore rispetto a quella stimata. Altre volte la rilavorazione potrebbe essere risultare particolarmente impattante e quindi risulterebbe più conveniente il riciclo del pezzo, piuttosto che un suo reimpiego. Tale considerazione è importante per leggere in maniera critica gli scenari analizzati e comprendere

tutte le variabili racchiuse in ogni singolo valore. Quindi, in realtà, il terzo scenario potrebbe essere più ecocompatibile dei primi due, sovvertendo le considerazioni effettuate nella trattazione.

Inoltre lo studio svolto deve essere integrato da analisi tecniche e di natura economica per comprendere la fattibilità reale di ogni strategia alternativa che è stata delineata. Bisogna infatti determinare il rapporto costi-benefici correlato a ciascuna lavorazione prevista, confrontando i risultati ottenuti con le capacità e i mezzi produttivi dell'azienda e delle eventuali imprese esterne di cui Nuova Simonelli è cliente, qualora alcune parti costituenti siano prodotte da terzi.

7 Conclusioni

I problemi ambientali legati ai danni apportati all'ecosistema e all'esaurimento delle risorse presenti sul nostro pianeta rappresentano una questione sottovalutata dall'uomo fino a qualche anno fa. Solo recentemente si è compresa la necessità di invertire questo trend negativo. Il cambiamento deve partire dalla mentalità di ogni individuo per poi radicarsi in ogni meandro del tessuto politico, sociale ed economico dell'intera collettività.

Gli obiettivi da perseguire sono legati al raggiungimento di un modello economico-produttivo di tipo circolare, che prevede il riuso delle risorse introdotte ad inizio ciclo, nel pieno rispetto degli equilibri dell'ecosistema del pianeta. Le direttive europee, relative alla minimizzazione dell'impatto ambientale delle varie fasi di vita del prodotto, rappresentano sicuramente uno sforzo significativo per sovvertire il trend negativo dal punto di vista ecologico, ma da sole non sono sufficienti. I capisaldi di tali normative non devono essere visti dal produttore e dal consumatore come delle imposizioni a cui sottostare in maniera passiva, bisogna comprendere le necessità e le potenzialità legate al conseguimento degli obiettivi. I benefici correlati non riguardano solo la salvaguardia dell'ambiente e la preservazione delle risorse, ma anche il contesto economico-produttivo. Occorre infatti comprendere che la strada apparentemente più semplice da seguire, basata su canoni produttivi e di dismissione del prodotto che non contemplano l'aspetto ambientale, non è quella corretta e comporta benefici economici probabilmente immediati, ma comunque inferiori rispetto a quelli che potrebbero essere conseguiti se ci si basasse sui principi di rigenerazione ed ecosostenibilità. Un esempio potrebbe

essere il fine vita di un prodotto complesso, come quello esaminato nel caso di studio, costituito da un gran numero di componenti e tipologie di materiali. L'eventuale processo di triturazione dell'intero assieme sarebbe molto meno complicato e più conveniente in termini economici rispetto al demanufacturing dello stesso per recuperare i materiali riutilizzabili. Questi vantaggi però potrebbero essere compensati dal risparmio che si può avere in un momento successivo, grazie al reimpiego del componente invece di produrne uno nuovo. Economia, prestazione ed ecocompatibilità non devono essere visti come concetti antitetici tra di loro, in quanto possono coesistere e dare vita ad un prodotto ancora più competitivo su tutti i fronti. In quest'ottica vanno viste le direttive analizzate e tutti i concetti chiave del design for environment e il design for demanufacturing, analizzati nel corso della trattazione. Risulta evidente che si è ancora lontani dall'ottenimento della competa circolarità relativa al modello economico illustrato, specie per quanto riguarda i prodotti molto complessi, come la VA358.

Il fine dello studio effettuato è l'elaborazione di nuovi scenari di end of life che minimizzino sia l'impatto ambientale del fine vita, sia quello dei materiali e della relativa fase di manufacturing, in caso di riuso e di rilavorazione dei componenti. Molteplici aspetti legati al recupero dei costituenti non riciclabili o ai metodi di produzione di alcune parti rappresentano ancora degli aspetti critici. Per cui l'obiettivo dello studio non è il raggiungimento dell'economia circolare ma è l'ottenimento di risultati che possano rappresentare un altro passo in avanti per il raggiungimento di tale modello.

In futuro sarà quindi molto importante ottenere risultati che siano sempre più prossimi all'azzeramento dei consumi delle risorse, delle emissioni climalteranti ed inquinanti e della produzione di rifiuti. Tutto questo dipenderà dal senso di responsabilità di ognuno di noi, che permetterà di dedicare il giusto impegno e le giuste risorse a favore di un processo tecnologico che possa mirare al raggiungimento di tali fini, dalla fase di progettazione del prodotto alla dismissione dello stesso.

Bibliografia

[1] C. Lobina, «Italia che cambia,» 01 07 2020. [Online].

[2] D. Dainese, «Home green home blog,» 18 10 2017. [Online]. www.homegreeenhomeblog. com.

[3] E. Parliament, «European directive ISO14040,» 2006.

[4] International Reference Life Cycle Data system (ILCD) Handbook: general guide for life cycle assesment.

[5] W. K. C. D. G. Fernanda Cruz Riosa, Design for Disassembly and Deconstruction - Challenges and, 2015.

[6] E. P. Council, «Directive 2012/19/EU on waste electrical and electronic equipment (WEEE),» 2012.

[7] E. Parliament, «Directive 2011/65/EU on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment Text with EEA relevance,» 2011.

[8] «passaporto ambientale,» 07 01 2020. [Online]. Available: www.passaportoambientale.it.

[9] C. F. M. G. Marco Mandolini, «Time-based disassembly method: how to assess the best disassembly sequence and time of target components in complex products,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* p. 409–430, 2018.

[10] Q. P. J. Z. P. G. Hengyu Wanga, «Selective disassembly planning for the end-of-life product,» 2017.

[11] M.-A. W. F. M. D. P. Fulvio Ardente, «Integration of resource efficiency and waste management criteria in the Ecodesign Directive,» 2011.

[12] «Pagina ufficiale della Nuova Simonelli,» [Online].

www.nuovasimonelli.it.

[13] «Comunicaffè,» 18 02 2020. [Online].

www.comunicaffè.it.

[14] «beverfood,» 19 07 2017. [Online].

www.beverfood.com.