



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica

ANALISI LCA DI SISTEMI MECCATRONICI

LCA ANALYSIS OF MECHATRONIC SYSTEMS

Relatore:  
Prof. Michele Germani

Tesi di Laurea di:  
Francesco Tempestilli

Correlatrice:  
Ing. Marta Rossi

A.A. 2020/2021



# Indice

<b>Indice</b> .....	II
Indice Figure .....	IV
Indice Tabelle.....	VI
Introduzione .....	1
1 Sostenibilità ambientale .....	3
1.1 Economia circolare: principi e obiettivi .....	5
1.2 Ecodesign .....	8
1.3 Obiettivi ambientali: contesto attuale e scenari futuri.....	12
1.3.1 Contesto attuale:.....	12
1.3.1.1 Il contesto internazionale .....	12
1.3.1.2 Il contesto europeo.....	13
1.3.1.3 Il contesto italiano.....	14
1.3.2 Strategie future: Europa 2030 e 2050.....	17
1.4 La teoria dell'analisi LCA .....	20
1.4.1 Strumenti e metodi per il <i>Life Cycle Assessment</i> .....	21
1.4.2 Metodologia e criteri LCA.....	22
1.4.3 Software LCA .....	26
1.4.4 Limiti dell'analisi LCA.....	28
1.4.5 Metodo alternativo all'analisi LCA .....	30
2 Caso studio: progetto Electrolux Genesi.....	32
2.1 Electrolux .....	35
2.2 Frigoriferi Electrolux.....	37
2.2.1 Electrolux Genesi.....	37
2.3 Interpretazione dei risultati.....	43

3	Approfondimento risultati.....	46
3.1	Evoluzione mix energetico.....	46
3.2	Food waste.....	53
3.3	Analisi sensitività.....	57
	Conclusioni.....	59
4	Bibliografia.....	62

## Indice Figure

Figura 1 Le tre dimensioni dello sviluppo sostenibile .....	4
Figura 2 Esempi di sistemi ad economia lineare (sopra) e ad economia circolare (sotto) .....	6
Figura 3 Un modello semplificato di economia circolare per i materiali e l'energia .....	8
Figura 4 Fasi e considerazioni per l'Ecodesign .....	10
Figura 5 Consumo materiale domestico in Italia, altri Paesi G7 e Mondo (tonnellate pro capite).....	15
Figura 6 Produttività delle risorse in Italia, negli altri Paesi G7 e nel Mondo (US \$/kg) .....	16
Figura 7 Logo della campagna NextGenerationEU, lanciata nel 2020 dalla Commissione Europea per la ripresa dalla pandemia da Covid-19 .....	17
Figura 8 I vari obiettivi del Green Deal europeo .....	18
Figura 9 Fasi interessate dall'analisi LCA.....	20
Figura 10 Strategie e normative dell'analisi LCA .....	22
Figura 11 Fasi di uno studio Life Cycle Assessment (LCA) .....	22
Figura 12 loghi dei software Simapro e Gabi per studi LCA .....	26
Figura 13 Fasi della metodologia Lids.....	30
Figura 14 Spyder Diagram della metodologia Lids .....	31
Figura 15 I frigoriferi Baseline 2020 e Genesi 2022 della Electrolux .....	32
Figura 16 I confini del sistema definiti nella prima fase dello studio LCA.....	33
Figura 17 Electrolux headquarter a Stoccolma .....	35
Figura 18 Timeline story dell'azienda Electrolux .....	36
Figura 19 Confronto tra Baseline e Genesi sull'impatto del ciclo vita complessivo .....	37
Figura 20 Confronto sul driver Fase d'uso tra il Baseline 2020 e il Genesi 2022 con le sue future generazioni. ....	38
Figura 21 Confronto tra Baseline 2020 e Genesi 2022 sul modulo del Compressore .....	39

Figura 22 Istogrammi di confronto tra i moduli del Baseline 2020 e Genesi 2022 .....	41
Figura 23 Istogrammi del ciclo vita complessivo per ogni scenario di installazione del Genesi suddivisi in: Materiali, Fase d'uso e Fine vita.....	42
Figura 24 Grafici a torta per ogni scenario di installazione.....	42
Figura 25 Evoluzione storica del contributo delle varie fonti rinnovabili alla produzione di energia elettrica in Italia.....	46
Figura 26 Evoluzione storica delle emissioni di CO2 relative alla produzione di energia elettrica ottenuta con le diverse tipologie di combustibile.....	48
Figura 27 Emissioni totali di CO2 del sistema energetico: dati storici, traiettorie verso gli obiettivi 2030 e proiezione su ipotesi di continuazione del trend degli ultimi 5 anni (Mt).....	49
Figura 28 Generazione di food waste mondiale suddivisa nei vari continenti, nell'anno 2018.....	53
Figura 29 La gestione della catena alimentare.....	55

## Indice Tabelle

Tabella 1 Impatto della Fase d'uso del Genesi 2022 sul ciclo vita complessivo con la relativa riduzione percentuale rispetto al Baseline 2020.....	38
Tabella 2 Impatto del Compressore del Genesi 2022 con la relativa riduzione percentuale rispetto al modello Baseline 2020.....	39
Tabella 3 Riduzione dell'impatto del Food waste sul ciclo vita complessivo del refrigeratore Genesi 2022.....	40
Tabella 4 Impatto del Food waste sul ciclo vita complessivo e spreco alimentare evitato nell'arco di vita del refrigeratore Genesi 2022.....	40
Tabella 5 Driver presi in considerazione nell'analisi LCA del refrigeratore Genesi 2022.....	43
Tabella 6 Confronto Baseline e Genesi 2025 (a sinistra) – Baseline e Genesi 2030 (a destra).....	44
Tabella 7 Composizione mix energetico italiano negli anni 2017, 2018, 2019....	51
Tabella 8 Composizione fonti rinnovabili e carbone nel mix energetico italiano, nell'anno 2020 e ipotesi scenario futuro per l'anno 2030 .....	51
Tabella 9 Analisi di sensitività relativa all'impatto sul ciclo vita complessivo variando la Fase d'uso .....	57
Tabella 10 Analisi di sensitività relativa all'impatto del ciclo vita complessivo del Genesi 2022 variando il compressore .....	58

# Introduzione

Il cambiamento climatico è una realtà e sta già provocando impatti e fenomeni con una frequenza e un'intensità mai visti nella storia umana e con essi sofferenze, perdite di vite, ma soprattutto sta portando ad uno sconvolgimento degli ecosistemi e della ricchezza di biodiversità che sono necessari per la nostra vita.

I gas serra nell'atmosfera hanno raggiunto livelli senza precedenti.

Per evitare che la situazione precipiti e che gli impatti del *Climate change* siano ancora più violenti è necessario limitare il riscaldamento globale a 1,5°C e per farlo è necessario azzerare le emissioni di CO<sub>2</sub> entro il 2050.

Per salvare il nostro pianeta è indispensabile che l'attività dell'uomo si orienti verso azioni sempre più eco-sostenibili.

Definire cosa sia sostenibile per l'ambiente, valutare i potenziali impatti di un sistema, vedere in prospettiva futura scenari differenti, progettare in termini di efficienza e a basso impatto è quello di cui mi sono interessato nell'affrontare questo argomento.

Negli ultimi anni le problematiche legate all'inquinamento hanno spinto molte imprese, quali Electrolux, alla produzione di modelli di elettrodomestici sempre più ecosostenibili. Nel caso studio affrontato nella tesi, sono stati presi in considerazione due modelli di refrigeratori della stessa azienda.

Per realizzare un'analisi dettagliata ci affideremo alla metodologia di studio LCA (*Life Cycle Assessment*) che permette di associare ad ogni fase del ciclo vita di un prodotto i relativi impatti ambientali, al fine di identificare le maggiori criticità e di valutare i miglioramenti ottenibili attraverso soluzioni migliorative.

L'elaborato è stato così strutturato: nel primo capitolo viene sviluppato il tema della sostenibilità ambientale, attraverso i concetti di economia circolare ed ecodesign, facendo il punto sulla situazione attuale con uno sguardo agli scenari futuri e alle sfide lanciate dall'Europa per lo sviluppo sostenibile. Viene anche introdotta la teoria dell'analisi LCA, dagli strumenti e metodi per la valutazione del ciclo vita passando per i software che la supportano, fino ai limiti e ai metodi di analisi alternativi.



Nel secondo capitolo analizzeremo il caso studio “Electrolux Genesi”, un progetto sviluppato attraverso le fasi dell’analisi LCA, focalizzato sul confronto tra due modelli di refrigeratori dell’azienda Electrolux: il modello Baseline 2020 e il modello Genesi 2022.

In particolare, ci siamo concentrati sul miglioramento del modello Genesi dal punto di vista dell’impatto ambientale, prendendo in considerazione i driver più significativi come la fase d’uso, il *food waste*, la componente elettrica ed elettronica e il compressore durante tutto il ciclo vita del refrigeratore.

Infine, nel terzo ed ultimo capitolo sono stati approfonditi argomenti interessanti e attuali emersi dall’analisi del caso studio, come l’evoluzione della composizione del mix energetico, che risulta determinante per la riduzione delle emissioni di CO2 e quindi la decarbonizzazione, il tema del *food waste* che ad oggi è uno dei problemi che preoccupano molto a livello mondiale, uniti ad un’analisi di sensitività eseguita sull’assorbimento energetico del frigorifero Genesi.

# 1 Sostenibilità ambientale

Il termine “sostenibilità” è stato introdotto nel corso della Conferenza delle Nazioni Unite sull’ambiente del 1972, per poi essere codificato nel 1987 con la pubblicazione del rapporto Brundtland [1].

Il documento definisce sostenibile un modello di sviluppo in grado di soddisfare i bisogni del presente senza compromettere alle future generazioni le capacità di soddisfare i propri. Si tratta di una definizione nata dalla presa di coscienza che le risorse del pianeta non sono infinite ma vanno preservate con cura, senza sprechi, rispettando ambiente e biodiversità.

Il significato di sostenibilità ambientale, indica uno degli aspetti chiave del concetto più ampio di sviluppo sostenibile, dal quale nascono tutte le azioni che possono essere messe in campo da istituzioni, aziende e singole persone per preservare il nostro pianeta.

Possiamo definire la sostenibilità ambientale anche attraverso le tre condizioni di Herman Daly [2].

Un sistema umano può essere eco-sostenibile solo se:

1. La velocità con cui si sfruttano le risorse rinnovabili è inferiore a quella con cui si rigenerano.
2. L’immissione di particelle inquinanti e scorie nell’ambiente non supera la sua capacità di assimilarle, cioè la sua capacità di carico.
3. L’esaurimento di risorse non rinnovabili si compensa passando a risorse rinnovabili sostitutive

La sostenibilità ambientale dipende molto dalla capacità di carico e autoregolazione dei sistemi naturali, quindi dalla loro resilienza.

Se lasciata sola la natura ha un’enorme capacità di autoregolarsi, risanarsi e rinnovarsi. Le cose si complicano quando gli ecosistemi si scontrano con il sistema antropico, cioè con la pressione esercitata dagli esseri umani.

Il primo obiettivo della sostenibilità ambientale è quello di preservare le risorse del pianeta in questo modo:

- Adottando fonti di energia sostenibili e rinnovabili, abbandonando le fonti fossili
- Permettere a tutti di avere le stesse possibilità, quindi consentire l'uguaglianza.
- Far rispettare le risorse dell'ecosistema creando comunità sostenibili
- Progettare città sostenibili in base ai criteri di rispetto ambientale e sociale
- Educare i cittadini ad un consumo sostenibile, consapevole, informato.
- Curare l'efficienza d'uso delle risorse, per un commercio sostenibile.

Secondo un'indagine dell'Istat, le imprese italiane con 50 e oltre addetti evidenziano chiari segnali di orientamento allo sviluppo sostenibile e di accresciuta attenzione all'ambiente naturale e sociale, sia interno che esterno.

Lo sviluppo sostenibile prevede un approccio globale che tenga conto non solo degli aspetti ambientali ma anche di quelli economici e sociali, in modo che le varie componenti si rafforzino reciprocamente.



*Figura 1 Le tre dimensioni dello sviluppo sostenibile*

La sostenibilità sociale si realizza attraverso l'eliminazione della povertà e la realizzazione di condizioni di dignità di base per la vita di ogni uomo, tali da poter vivere in un contesto ambientale e socioeconomico che gli consenta di esprimere la propria individualità.

Il concetto di sostenibilità economica è legato alla verifica degli impatti economici verso i cittadini e le imprese. Si attua offrendo prodotti e servizi vicini a famiglie e aziende al fine di non gravare sui bilanci finanziari.

## 1.1 Economia circolare: principi e obiettivi

Il termine economia circolare definisce un sistema economico pensato per potersi rigenerare da solo garantendo dunque la sua sostenibilità [3].

La transizione verso un'economia circolare richiede cambiamenti fondamentali nella produzione e nei sistemi di consumo, andando ben oltre l'efficienza delle risorse e il riciclaggio dei rifiuti.

Nel concetto di economia circolare, gioca dunque un ruolo fondamentale il ciclo vita dei prodotti che deve essere più lungo possibile e che sta spostando sempre di più la propria visione dai materiali al problema dei rifiuti [4].

Progettare i prodotti in modo più intelligente estendendone vite utili e cambiando il ruolo di tali prodotti all'interno del sistema è fondamentale per il raggiungimento di un'economia circolare.

La rigenerazione e la ristrutturazione che passano attraverso il riutilizzo e la riparazione hanno finora ricevuto meno attenzione rispetto alle questioni e alle strategie relative ai rifiuti.

Per aumentare la circolarità è necessario conoscere i driver, la forma e la funzione del prodotto, comprese le tendenze che possono cambiarle.

Attualmente il modello economico dell'economia lineare è profondamente radicato, anche se le tendenze emergenti indicano che il ruolo dei prodotti all'interno della società sta cambiando, ad esempio lo sviluppo di tecnologie di manifattura additiva può stimolare la riparazione dei prodotti se i pezzi di ricambio sono forniti su richiesta.

Una barriera per il riciclaggio può essere rappresentata dalla tecnologia stessa, se porta a complesse miscele di differenti materiali integrati in un unico prodotto.

La transizione verso un'economia circolare richiede migliori conoscenze dei collegamenti tra i prodotti, i loro modelli di business, la società, le infrastrutture e la governance.

L'uso circolare dei materiali, compreso il riciclaggio, il riutilizzo e la ristrutturazione, mira a ridurre la produzione di rifiuti così come la dipendenza della nostra economia dall'estrazione e importazione di materie prime.

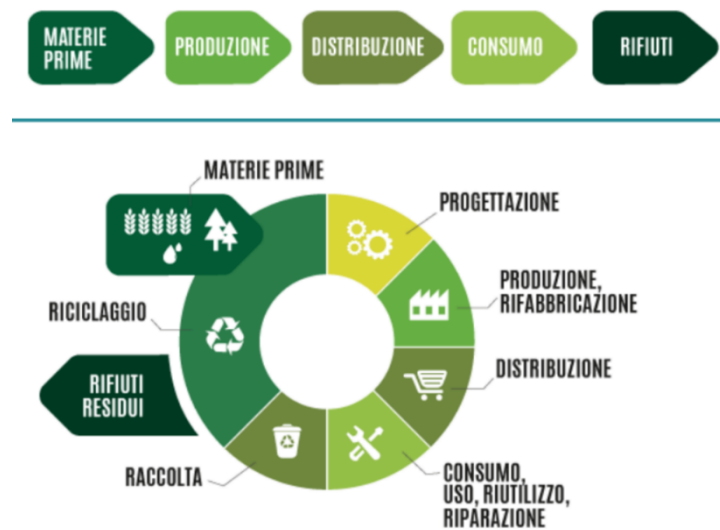


Figura 2 Esempi di sistemi ad economia lineare (sopra) e ad economia circolare (sotto)

Il concetto di economia circolare, garantisce che il valore dei prodotti e dei materiali sia mantenuto il più a lungo possibile riducendo al minimo la necessità di immissione di nuovo materiale ed energia, riducendo la pressione ambientale legata al ciclo di vita: dall'estrazione delle risorse, passando per la produzione fino alla fine del ciclo vita.

I vantaggi delle strategie di circolarità sono più efficaci negli approcci di riutilizzo, riparazione, redistribuzione, rinnovamento e rigenerazione che per il riciclaggio e l'energia di recupero, a causa delle perdite durante la raccolta e lavorazione e al degrado della qualità dei materiali durante la raccolta differenziata.

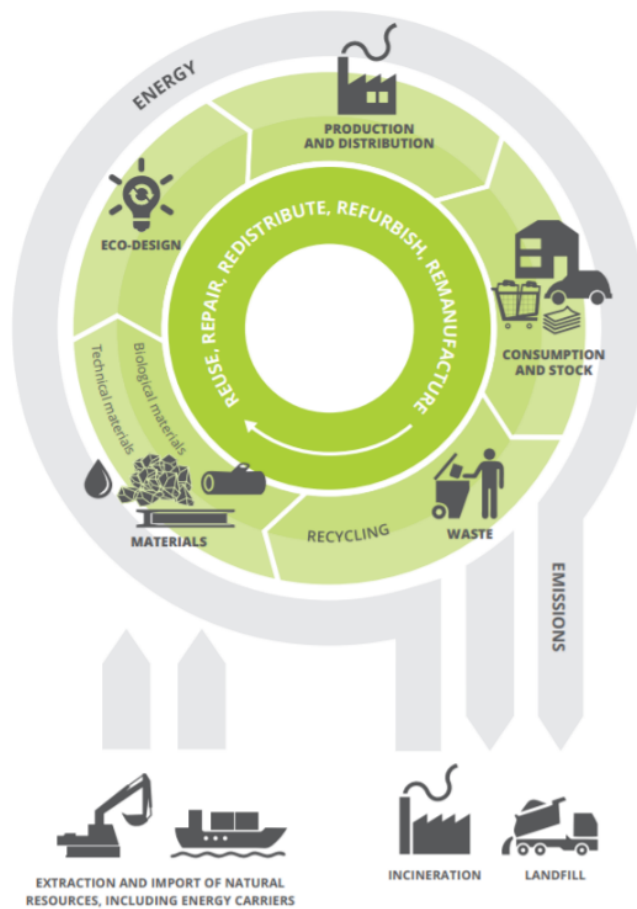
I benefici dell'economia circolare inoltre dipendono da molti fattori, tra cui l'intensità di carbonio nel mix energetico ipotizzato. Incentivi per un'economia a basse emissioni di carbonio, come politiche in materia di efficienza energetica, energie rinnovabili o limiti di emissione, possono innescare o rafforzare la circolarità delle soluzioni economiche.

Ad esempio, l'aumento dei prezzi dei combustibili fossili, attraverso l'imposizione di limiti alle emissioni di carbonio può portare a soluzioni più sostenibili.

Sebbene i recenti documenti strategici dell'UE siano incentrati su un'economia a basse emissioni di carbonio, efficienza delle risorse e riciclaggio dei rifiuti, c'è ancora del potenziale da sviluppare in merito alla riduzione delle emissioni di carbonio e sulle politiche di economia circolare.

Le sinergie tra economia circolare e basse emissioni sono rappresentate dal ruolo che i materiali svolgono nella generazione dei gas serra: dal punto di vista del ciclo di vita, il 55%-65% delle emissioni di gas serra derivano dall'estrazione delle materie prime, dalla produzione, dal trasporto e dallo smaltimento dei prodotti finiti.

## 1.2 Ecodesign



*Figura 3 Un modello semplificato di economia circolare per i materiali e l'energia*

Nell'economia circolare, l'ecodesign risulta una scelta etica per la conservazione delle risorse del nostro pianeta e per la sua sopravvivenza, perché tiene in considerazione sia delle materie prime impiegate nei processi di produzione, sia dell'energia dissipata in ogni fase del ciclo vita del prodotto.

L'ecodesign associa la necessità di un continuo sviluppo economico alla corretta gestione e al corretto impiego delle risorse a nostra disposizione.

È un modello economico che coinvolge l'intero processo di ideazione, progettazione, vendita sul mercato e smaltimento di un prodotto che rispetti l'ambiente attraverso la riduzione ai minimi livelli dell'impatto negativo che potrebbe avere sull'ecosistema.

L'Ecodesign deve basarsi su precise linee guida, applicabili a tutte le fasi del ciclo vita di un prodotto, con l'obiettivo finale di ridurre l'impatto ambientale complessivo di tutta la catena produttiva.

Queste linee guida riguardano:

- L'analisi dei materiali usati
- L'analisi del consumo di energia necessaria alla produzione
- L'analisi del ciclo vita del prodotto
- L'impiego di materiali riciclabili e riutilizzabili
- La riduzione di qualsiasi forma di spreco

La direttiva sulla progettazione ecocompatibile attualmente si applica solo ai prodotti che consumano energia, con l'obiettivo di allargare la cornice anche ad altri prodotti significativi dal punto di vista ambientale; in futuro l'ambito sarà esteso a tutti i prodotti legati all'energia, ad eccezione dei mezzi di trasporto che già sono soggetti a politiche e normative per la riduzione degli impatti ambientali. Secondo le direttive UE, si implementeranno le misure per i prodotti con impatto ambientale significativo, con un potenziale miglioramento e significati volumi di vendite e scambi, tenendo conto della legislazione comunitaria esistente.

Oggi molte organizzazioni hanno sviluppato strumenti e approcci per aiutare le aziende a ripensare a come progettare e produrre prodotti per migliorare i profitti e la competitività e allo stesso tempo ridurre gli impatti ambientali. Come conseguenza dell'esperienza acquisita, l'Ecodesign si è evoluto per comprendere questioni più ampie come la componente sociale della sostenibilità legata alla necessità di sviluppare nuovi modi per soddisfare le esigenze dei consumatori in modo che vengano sfruttate meno risorse.

Il *Design for Sustainability* (D4S) va oltre alla semplice realizzazione di un prodotto "verde", ora il concetto sta nel soddisfare le esigenze sociali, economiche e ambientali dei consumatori, tre elementi chiave della sostenibilità indicati anche come persone, profitto e pianeta.



Molte aziende hanno riconosciuto l'importanza dell'impatto ambientale dei loro prodotti ed hanno iniziato ad incorporare aspetti ambientali significativi nei processi di progettazione e sviluppo dei prodotti.

Ciò ha richiesto l'identificazione dei principali problemi ambientali relativi al prodotto durante l'intero ciclo vita. In passato i prodotti sono stati progettati senza considerare gli impatti negativi sull'ambiente. I fattori tipici considerati nella progettazione del prodotto includevano funzione, qualità, costo, ergonomia e sicurezza.

L'industria manifatturiera è stata accusata di gestire un sistema che prende, produce e spreca, sebbene abbia il potenziale per diventare un creatore di prodotti che generano valore ecologico, sociale ed economico. Un modo possibile per migliorare questo punto di vista è che l'industria abbracci gli approcci di eco-efficienza. Nel caso specifico del processo di progettazione, ciò comporta l'adozione di tecniche di Ecodesign.

Quindi attraverso azioni che interessano l'intero ciclo di vita del prodotto come le attività, i processi e i materiali, partendo dall'acquisizione, produzione, distribuzione, utilizzo e smaltimento delle materie prime, le aziende dovrebbero sapere che l'adozione della progettazione ecocompatibile, nel loro processo di sviluppo dei prodotti, contribuirà ad aumentare la loro competitività e a differenziarsi dalla concorrenza attraverso una "immagine verde" che ha sempre più impatto sociale.

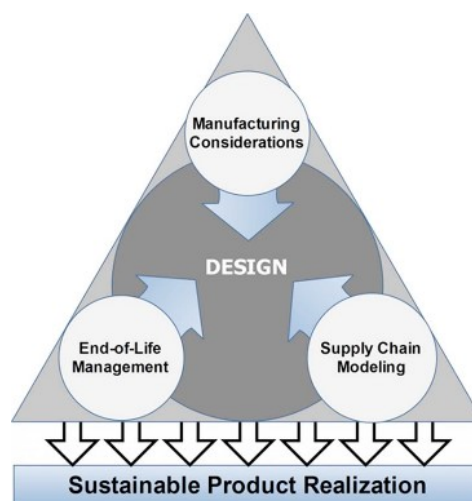


Figura 4 Fasi e considerazioni per l'Ecodesign

I principali benefici apportati dall'Ecodesign hanno carattere: ambientale, economico e sociale.

Si parla di vantaggi ambientali in quanto si ha un minore impatto nello sviluppo dei prodotti e una maggiore e migliore attuazione della legislazione ambientale.

Vantaggi economici dovuti all'ottimizzazione nell'uso delle risorse, come materie prime ed energia, e dei fattori produttivi per generare un minore impatto ambientale e ridurre l'impatto dei trasporti con minori consumi di carburante ed emissioni.

Vantaggi sociali grazie ad una migliore immagine dell'azienda e grazie alla sua risposta ai bisogni di una società con una crescente sensibilità ecologica. "Eco pubblicità" e "pubblicità verde", che cattura l'attenzione dei consumatori, segnando una chiara differenziazione rispetto alla concorrenza.

## 1.3 Obiettivi ambientali: contesto attuale e scenari futuri

L'applicazione dell'Agenda 2030 proposta dall'Organizzazione delle Nazioni Unite da un lato e il Green Deal europeo dall'altro rappresentano i due pilastri fondamentali per porre fine alla povertà e per assicurare un'esistenza pacifica, sana e sicura alle generazioni presenti e future.

L'Unione Europea e i suoi Stati membri svolgono un ruolo guida nell'attuazione degli obiettivi di sviluppo sostenibile sia all'interno dell'UE che in altre parti del mondo, sostenendo allo stesso tempo un multilateralismo efficace e un ordine internazionale fondato su regole.

### 1.3.1 Contesto attuale:

#### 1.3.1.1 Il contesto internazionale

La transizione verso un'economia efficiente nell'uso delle risorse, a basse emissioni di carbonio e resiliente ai cambiamenti climatici costituisce una nuova sfida a livello mondiale per raggiungere una crescita sostenibile ed inclusiva. Con una popolazione mondiale di più di 9 miliardi di persone prevista per il 2050 e la rapida crescita economica dei paesi in via di sviluppo, si prevede che la domanda di risorse naturali, in particolare di materie prime, continuerà a crescere in maniera esponenziale nei prossimi decenni. Tale tendenza determinerà anche un aumento degli impatti ambientali e climatici qualora non vengano adottate politiche e misure per un uso più efficiente delle risorse. In questo contesto, la diffusione di un nuovo modello "circolare" di produzione e consumo costituisce un elemento di importanza strategica per raggiungere gli obiettivi globali di sostenibilità.

A livello internazionale, nel corso di questi ultimi anni, il concetto più ampio di efficienza delle risorse è stato sviluppato in numerose iniziative in ambiti quali OCSE, UNEP *International Resource Panel* (UNEP-IRP) e G7/G8/ G20. [5]

### 1.3.1.2 Il contesto europeo

L'economia dell'Unione Europea è in gran parte lineare, dalla progettazione all'uso inefficiente delle risorse naturali e l'eccessiva dipendenza dalle risorse fuori dall'Europa, con conseguente impatto ambientale e sulla salute umana che potrebbero essere evitabili

Passare ad un'economia circolare allevia le pressioni e le preoccupazioni al fine di ottenere vantaggi economici, sociali e ambientali.

Il Settimo programma di Azione Ambientale promosso dall'Unione Europea (7°PAA) definisce le coordinate entro le quali proporre le politiche ambientali europee fino al 2020, in particolare chiede che l'Europa diventi un'economia efficiente sotto il profilo delle risorse e a basse emissioni di carbonio. Riducendo la dipendenza dai combustibili fossili, attraverso il riciclaggio dei materiali e il riutilizzo dei prodotti è importante per ridurre l'impatto ambientale dell'Europa nell'uso delle risorse restando nei limiti planetari.

L'obiettivo dell'UE è quello di ridurre le emissioni di gas serra dell'80%-95% entro il 2050, ciò richiede cambiamenti fondamentali, non solo nei sistemi energetici, alimentari e di mobilità, ma anche nel modo in cui materie prime e prodotti sono scambiati, utilizzati, mantenuti e restituiti nell'economia alla fine della loro vita.

Nel 2015 la Commissione Europea ha presentato un pacchetto di misure ambiziose sull'economia circolare in cui si analizza l'interdipendenza di tutti i processi della catena di valore: dall'estrazione delle materie prime alla progettazione dei prodotti, dalla produzione alla distribuzione, dal consumo al riuso e al riciclo dei materiali.

Le misure proposte contribuiranno a "chiudere" il ciclo vita dei prodotti attraverso un maggior riciclo e riutilizzo, portando benefici sia per l'ambiente che per l'economia.

In particolare, il piano integra le proposte relative alla legislazione sui rifiuti stabilendo misure che impattano su tutte le fasi del ciclo di vita dei prodotti. Il piano include anche azioni specifiche per alcuni settori o flussi di materiali, come la plastica, i rifiuti alimentari, le materie prime critiche, la costruzione e la demolizione, la biomassa e i bioprodotto nonché misure orizzontali in settori come l'innovazione e gli investimenti. Tra le misure previste dal Piano, particolare importanza assumono quelle che incideranno sulla progettazione dei prodotti

finalizzata alla loro riparabilità, durabilità e riciclabilità. Inoltre, la revisione di tutta la normativa di settore, dovrà prestare particolare attenzione alla coerenza delle varie misure, con particolare riferimento all'interfaccia prodotti-rifiuti e contenuto di sostanze chimiche. È infine importante ribadire la necessità di allocare ulteriori finanziamenti per la ricerca e per il trasferimento tecnologico per lo sviluppo dell'economia circolare, supportando anche le partnership pubblico-private [6].

#### 1.3.1.3 Il contesto italiano

La transizione verso un modello di economia circolare rappresenta un input strategico di rilevanza con il passaggio da una "necessità", in termini di efficienza nell'uso delle risorse e gestione razionale dei rifiuti, ad una "opportunità" ovvero progettare i prodotti in modo tale da utilizzare ciò che adesso è destinato ad essere rifiuto come risorsa per un nuovo ciclo produttivo. L'Italia è un paese tecnologicamente avanzato e da sempre abituato a competere grazie ad innovazione e sostenibilità, ora deve necessariamente muoversi in una visione europea di transizione verso un'economia circolare, sfruttando le opportunità e facendosi promotrice di iniziative concrete.

Dal punto di vista ambientale, la preservazione del capitale naturale e degli ecosistemi passa per la ridotta pressione sulle risorse e il minore utilizzo di territorio per lo smaltimento dei rifiuti in discarica. Questo è fondamentale in un paese come l'Italia in cui il fattore naturale può costituire una delle principali leve di sviluppo economico come dimostrato dalla crescente domanda di turismo sostenibile e culturale.

Dal punto di vista economico, puntare sull'economia circolare vuol dire quindi stimolare la creatività del sistema imprenditoriale italiano in funzione della valorizzazione economica del riuso di materia: il materiale non diventa mai rifiuto. Investire in ricerca e sviluppo facendo sistema, rappresenta una possibilità concreta soprattutto per il settore manifatturiero, di ripensare e modificare il proprio modello produttivo per consolidare la propria presenza nelle catene del valore globali [6].

La creazione di un'economia circolare, diffusa sul territorio nazionale, consente di trasformare una serie di problematiche proprie del sistema produttivo nazionale in opportunità. Una maggiore informazione relativa ai processi produttivi, grazie alla

maggior trasparenza, da una parte contribuisce a ridurre i fenomeni illeciti sia in fase di produzione che di smaltimento dei rifiuti, dall'altra consente alle imprese virtuose di veder premiata la qualità delle loro produzioni, grazie alla loro tracciabilità, dai consumatori sempre più attenti e consapevoli.

Inoltre, per un paese come l'Italia che ha un territorio povero di materie prime, utilizzare e riutilizzare materiale riciclato generato internamente permette di essere meno dipendenti dall'approvvigionamento estero, con annessa minore vulnerabilità alla volatilità dei prezzi specie in un momento di grande instabilità nei paesi che hanno le maggiori dotazioni di tali risorse.

In un momento di difficoltà l'economia circolare può dar vita ad un processo virtuoso.

Qualche dato relativo alla situazione nazionale:

L'Italia ha un consumo materiale domestico (DMC) pari a circa 10 tonnellate pro capite, tra i più bassi dei Paesi G7 e in ambito EU28. La tendenza di riduzione negli ultimi anni è stata molto forte, così come anche le importazioni nette di risorse che sono scese dalle circa 225 milioni di tonnellate nel 2005 alle 155 nel 2015 (OCSE, *Green Growth Indicators*). Questo importante risultato è dovuto in parte alla congiuntura economica negativa internazionale ma anche alla sostanziale crescita nell'efficienza nell'uso delle risorse, che tuttavia evidenzia ancora un forte divario con paesi quale Regno Unito e Giappone.

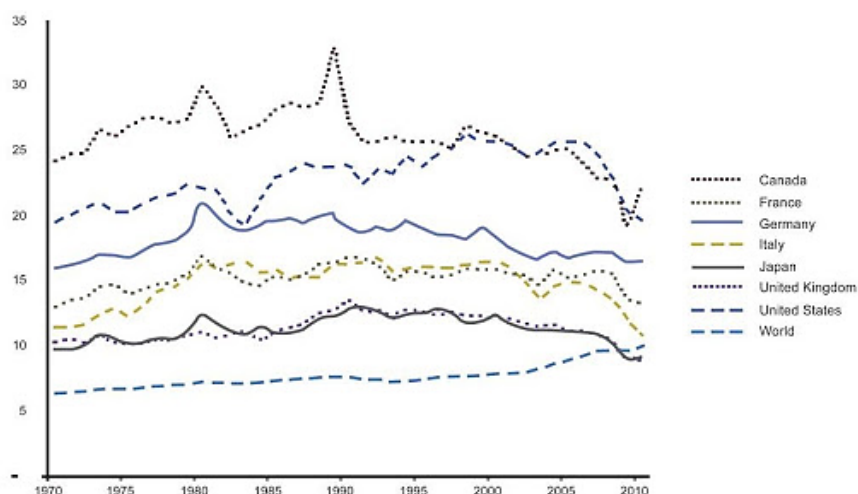


Figura 5 Consumo materiale domestico in Italia, altri Paesi G7 e Mondo (tonnellate pro capite)

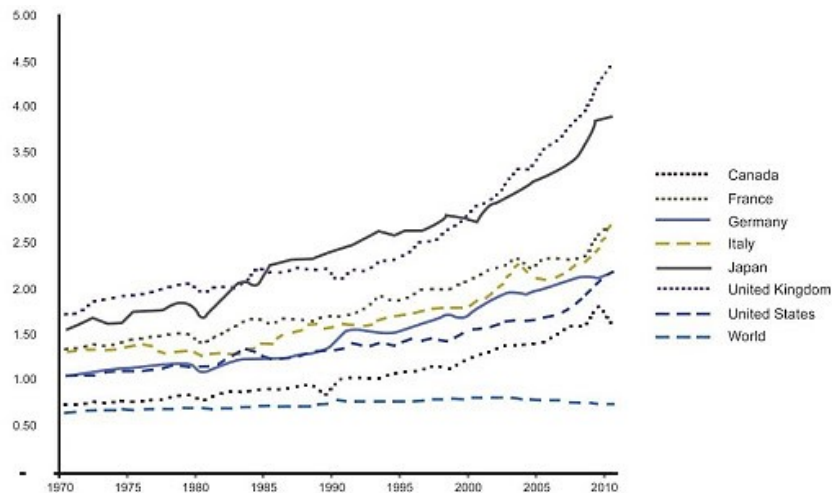


Figura 6 Produttività delle risorse in Italia, negli altri Paesi G7 e nel Mondo (US \$/kg)

Per quanto riguarda il settore rifiuti, nel 2015 la loro produzione risulta pari a 159 (29 urbani e 130 speciali) milioni di tonnellate [7]. A fronte del dato aggregato, che rimane costante negli ultimi 5 anni, cresce la frazione idonea a processi di riciclo, aumentando così le potenzialità per rendere sempre più circolare l'economia italiana. Interessante il dato sulle materie prime seconde generate a partire dalla raccolta differenziata urbana. Considerando carta, legno, vetro, plastica ed organico, sono state reimmesse sul mercato circa 10,6 milioni di tonnellate nel 2014 (oltre 60% come recupero di materia), in aumento del 2% nel 2015 sulla base di dati preliminari [6]. Questo dato va confrontato con i 15,6 milioni di tonnellate recuperate: la differenza è dovuta sia ai rendimenti connessi alle tecnologie impiegate (rese molto basse soprattutto per l'organico) sia alla generazione di scarti in uscita dai processi di riciclo [5].

### 1.3.2 Strategie future: Europa 2030 e 2050



Figura 7 Logo della campagna NextGenerationEU, lanciata nel 2020 dalla Commissione Europea per la ripresa dalla pandemia da Covid-19

Il primo programma globale di politiche eco-sostenibili è stato l'Agenda 21, adottata dalla Conferenza Onu su ambiente e sviluppo tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992 [5]. Nel settembre 2015, l'Unione Europea ha ulteriormente ampliato il piano d'intervento definendo con l'Agenda 2030 i 17 obiettivi di sviluppo sostenibile, un quadro di azioni e target per migliorare la vita delle popolazioni di tutto il mondo e salvaguardare gli ecosistemi del pianeta.

Attraverso l'attuazione di un *Green Deal*, l'Europa punta ad essere il primo continente ad impatto climatico zero.

Il *Green Deal* europeo è la giusta risposta alle sfide del cambiamento climatico e del degrado ambientale che rappresentano una minaccia enorme. Si tratta di una strategia di crescita mirata a trasformare l'UE in una società giusta e prospera dotata di un'economia moderna, efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva garantendo che: nel 2050 non genererà emissioni nette di gas a effetto serra e in cui la crescita sarà dissociata dall'uso delle risorse.

Il Green Deal è parte integrante della strategia della Commissione per attuare l'Agenda 2030 e gli obiettivi di sviluppo sostenibile delle nazioni unite al fine di porre la sostenibilità e il benessere dei cittadini al centro della politica economica e rendere gli obiettivi di sviluppo sostenibile il fulcro della definizione, delle politiche e degli interventi UE [8].



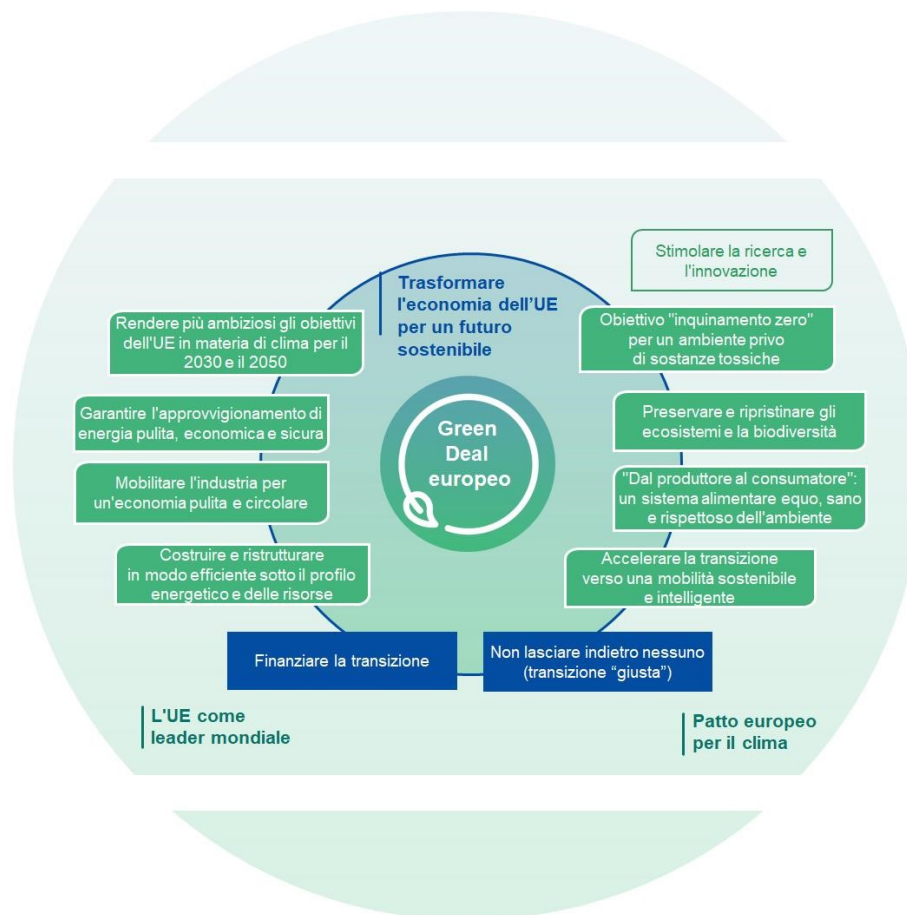


Figura 8 I vari obiettivi del Green Deal europeo

L'obiettivo dell'UE è quello di ridurre le emissioni di gas a effetto serra per il 2030 di almeno il 50%-55% rispetto ai livelli del 1990.

Queste riforme strategiche contribuiranno a garantire un'efficace fissazione del prezzo del carbonio in tutta l'economia. Ciò incoraggerà i consumatori e le imprese a modificare i propri comportamenti, facilitando un aumento degli investimenti sostenibili, pubblici e privati.

La Commissione proporrà per determinati settori, un meccanismo di adeguamento del carbonio alle frontiere, al fine di ridurre il rischio di rilocalizzazione delle emissioni di carbonio.

Un'ulteriore decarbonizzazione del sistema energetico è fondamentale per conseguire gli obiettivi 2030 in materia di clima. La produzione e l'uso dell'energia nei diversi settori economici rappresentano oltre il 75% delle emissioni di gas a effetto serra dell'UE. La priorità deve essere data dall'efficienza energetica.

Occorre sviluppare un settore dell'energia basato su fonti rinnovabili, con la rapida eliminazione del carbone e la decarbonizzazione del gas.

Nell'industria, il piano d'azione per l'economia circolare, comprenderà una politica per i prodotti sostenibili al fine di sostenere la progettazione circolare di tutti i prodotti sulla base di una metodologia e di principi comuni, dando priorità alla riduzione e al riutilizzo dei materiali prima del loro riciclaggio. [9]

Il *Green Deal* europeo è anche la nostra ancora di salvezza per lasciarci alle spalle la pandemia da Covid-19 infatti sarà finanziato da un terzo dei 1800 miliardi di euro di investimenti del piano per la ripresa NextGenerationEU e dal bilancio settennale dell'UE.

## 1.4 La teoria dell'analisi LCA

Il *Life Cycle Assessment* è una metodologia che permette di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o attività.

L'LCA prende in esame l'intero ciclo di vita di un prodotto “dalla culla alla tomba” (from cradle to grave), e il potenziale impatto ambientale derivante dall'uso e consumo delle risorse naturali (estrazione, trattamento e lavorazione delle materie prime) dai rilasci dovuti alla trasformazione del prodotto, dal trasporto del prodotto sul mercato (logistica), dalla fase d'uso e riuso, dal fine vita fino al riciclo e alla sua collocazione finale dopo l'uso.

Con precisione la definizione sulla metodologia LCA, proposta dalla SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) e formalizzata nella ISO 14040 è la seguente:

*“è un procedimento oggettivo di valutazione di carichi energetici e ambientali relativi a un processo o un'attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente.*

*La valutazione include l'intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale”. [10]*



Figura 9 Fasi interessate dall'analisi LCA

### 1.4.1 Strumenti e metodi per il *Life Cycle Assessment*

L'analisi LCA è un mezzo che esprime in termini numerici il potenziale impatto ambientale sui diversi macrosistemi terrestri, attraverso l'identificazione e la quantificazione dei consumi di materia, energia e delle emissioni nell'ambiente. Permette inoltre di confrontare in modo quantitativo prodotti simili, di individuare e valutare le opportunità per diminuire gli impatti sull'ambiente.

L'analisi LCA può essere effettuata in qualunque fase del ciclo vita, soprattutto nella fase iniziale di progettazione: l'Ecodesign.

L'LCA è finalizzata al marketing, ha come obiettivo dare un messaggio al cliente per dimostrare come i prodotti venduti dall'azienda, sono più sostenibili rispetto ai prodotti venduti dai competitor.

Il suo utilizzo può aiutare a identificare opportunità per migliorare le prestazioni ambientali dei prodotti in vari punti del loro ciclo vita ed informare i decisori, nell'industria, nel governo o nelle organizzazioni non governative nella pianificazione strategica, nella definizione di priorità, nella progettazione di prodotti o processi; inoltre, l'LCA assiste nella selezione di indicatori rilevanti delle prestazioni ambientali e nelle tecniche di misurazione.

## 1.4.2 Metodologia e criteri LCA

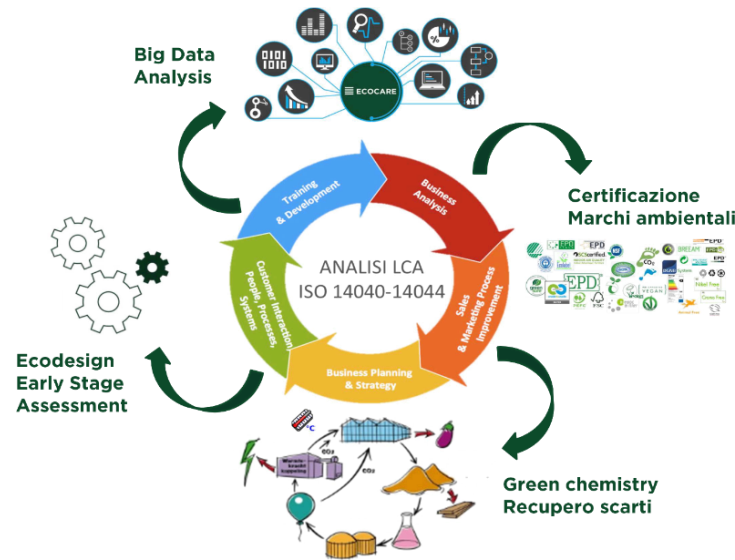


Figura 10 Strategie e normative dell'analisi LCA

Lo sviluppo dell'analisi LCA è strettamente legato alla normativa ISO 14040, che permette di identificare durante lo studio, quattro fasi fondamentali che sono tra di loro distinte, ma nello stesso tempo consecutive.

Le fasi di esecuzione della metodologia LCA sono quattro:

- I. la definizione dell'obiettivo, dell'unità funzionale e del campo di applicazione
- II. l'analisi di inventario (LCI)
- III. la valutazione degli impatti
- IV. l'interpretazione dei risultati

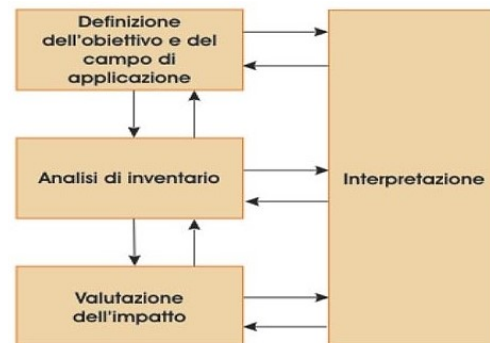


Figura 11 Fasi di uno studio Life Cycle Assessment (LCA)

La prima fase della metodologia consiste nel definire un obiettivo per poter calcolare il danno ambientale ad un ecosistema, le emissioni di CO<sub>2</sub> e le opportunità di miglioramento di prodotto. Definire un'unità funzionale (prodotto, attività umana, processo produttivo) per comparare prodotti diversi ai fini dello stesso scopo e rappresenta un riferimento necessario per consentire la comparabilità dei risultati dell'LCA.

L'analisi inizia con la definizione della funzione da analizzare che permette di rappresentare il processo di sistema tramite un diagramma di flusso che indichi i processi unitari e le loro interrelazioni. Ciascun processo unitario deve essere descritto per poter definire un inizio, in termini di ricevimento di materie prime o di prodotti intermedi, la natura delle trasformazioni e operazioni che si svolgono entro il processo unitario e una fine del processo stesso, intesa come destinazione dei prodotti intermedi o finali.

La scelta degli elementi in ingresso da studiare, si basa sull'identificazione degli elementi significativi associati con ciascun processo unitario attraverso la raccolta di dati da siti specifici o da fonti pubblicate. I flussi in ingresso e in uscita, modellati come flussi elementari, devono comprendere i flussi collegati alla produzione e alla distribuzione di combustibili, di energia di alimentazione e di energia di processo, utilizzati entro il sistema di cui si realizza il modello. I criteri di scelta degli elementi in ingresso e uscita e le assunzioni fatte per l'esclusione di elementi devono essere descritti chiaramente e il loro effetto sui risultati deve essere valutato e descritto nel rapporto finale.

I parametri per la scelta degli elementi in ingresso e uscita da includere nella valutazione sono: la massa, l'energia e la rilevanza ambientale.

Definire un campo di applicazione per determinare l'affidabilità dei risultati e per includere nell'analisi diversi aspetti, al fine di facilitare l'interpretazione a chiunque voglia eseguire una comparazione affidabile e accurata, come: il confine del sistema di analisi, le categorie d'impatto ambientale da valutare, le metodologie di valutazione degli impatti (*ReCiPe*), la qualità dei dati e delle ipotesi iniziali, le limitazioni del metodo. Un'analisi LCA potrebbe essere ad estensione infinita ma in tal caso non sarebbe fattibile, per questo motivo è necessario studiare il confine del sistema per stabilire i processi unitari da includere nel sistema stesso.

I criteri utilizzati per definire il confine di sistema sono importanti per il grado di fiducia dei risultati di uno studio e la possibilità di raggiungere l'obiettivo. Nel definire il confine del sistema, devono essere prese in considerazione molte fasi del ciclo vita, dei processi unitari e dei flussi: l'acquisizione delle materie prime, gli elementi in ingresso e in uscita nella sequenza principale di fabbricazione/processo, la distribuzione/trasporto, la produzione e l'utilizzo di combustibili, di elettricità e

di calore, l'uso e la manutenzione dei prodotti, lo smaltimento di rifiuti e prodotti di processo, il recupero di prodotti dopo l'uso (compresi il riutilizzo, il riciclaggio e il recupero di energia), la fabbricazione dei materiali ausiliari, la fabbricazione, la manutenzione e la dismissione delle attrezzature principali, le operazioni aggiuntive, come l'illuminazione e riscaldamento. In molti casi, i confini del sistema definiti inizialmente è necessario che vengano ridefiniti.

La seconda fase è l'analisi di inventario (*Life Cycle Inventory*) che comprende la raccolta dei dati e dei procedimenti di calcolo che consentono di quantificare gli elementi in ingresso e in uscita di un sistema di prodotto.

I dati per ogni processo unitario entro i confini identificati sono classificabili in:

- elementi in ingresso (energia, materie prime, materiali ausiliari)
- prodotti, coprodotti e rifiuti del processo
- emissioni in aria, scariche nell'acqua e nel suolo
- altri aspetti ambientali

Dopo la raccolta dei dati questi devono poter essere validati, messi in relazione con i processi unitari e correlati al flusso di riferimento (unità funzionale).

I dati selezionati per LCA dipendono dall'obiettivo e dal campo di applicazione dello studio. Questi dati possono essere raccolti attraverso siti di produzione associati ai processi unitari entro i confini del sistema, oppure possono essere misurati, calcolati o stimati da altre fonti. Gli elementi in ingresso possono includere l'uso di risorse minerali (metalli da giacimenti o riciclaggio, servizi come il trasporto o l'approvvigionamento energetico e l'uso di materiali ausiliari quali lubrificanti o fertilizzanti). Le emissioni nell'aria, nelle acque e nel suolo spesso rappresentano rilasci da sorgenti puntuali o diffuse, a valle dei dispositivi di controllo dell'inquinamento. Infine si devono specificare i requisiti sulla qualità dei dati, al fine di rispettare l'obiettivo e il campo di applicazione dell'LCA.

La terza fase, la più complessa e delicata dell'intera analisi, è la fase di valutazione degli impatti. La valutazione solitamente è assistita da un software di calcolo (Gabi, Simapro) che aggrega i risultati dell'analisi LCA come flussi in ingresso e in uscita e li normalizza in grandezze, definite Eco-punti o Eco-indicatori. Lo schema principale del metodo valuta tre tipi di danno ambientale: la salute umana, la qualità dell'ecosistema e lo sfruttamento delle risorse.

La quarta ed ultima fase è l'interpretazione dei risultati.

I risultati delle fasi precedenti vengono sintetizzati, analizzati, controllati e discussi in accordo con l'obiettivo dello studio, per giungere a conclusioni ed indicazioni che permettano l'analisi delle maggiori criticità di prodotto e di identificare le cause degli impatti di ciascuna fase del ciclo vita al fine di migliorare le prestazioni ambientali del sistema-prodotto analizzato.

Le normative di riferimento per l'Analisi LCA sono quelle appartenenti alla famiglia delle UNI EN ISO 14000, che forniscono strumenti gestionali alle organizzazioni che vogliono porre sotto controllo i propri aspetti ed impatti ambientali e al fine di migliorare le proprie prestazioni in tale campo.

Fra le norme della famiglia ISO 14000, la serie ISO 14040 codifica la Valutazione del Ciclo di Vita (LCA) di un prodotto.

La UNI EN ISO 14040 riconosce l'utilità dello strumento LCA nell'identificare le opportunità di miglioramento degli aspetti ambientali del prodotto nei diversi stadi del ciclo vita, nell'individuare gli indicatori più opportuni per misurare le prestazioni ambientali, nel guidare la progettazione di nuovi prodotti/processi al fine di minimizzarne l'impatto ambientale e nel supportare la pianificazione strategica delle imprese e dei policy makers.

La norma UNI EN ISO 14044 definisce i requisiti e le linee guida e afferma che: *“l'obiettivo e il campo di applicazione devono essere definiti chiaramente e devono essere coerenti con l'applicazione prevista. A causa della natura iterativa dell'LCA, è possibile che il campo di applicazione debba essere corretto nel corso dello studio.”* [11]



### 1.4.3 Software LCA



*Figura 12 loghi dei software Simapro e Gabi per studi LCA*

Sono numerosi i software e le banche dati messi a punto per consentire lo sviluppo agevole di studi LCA.

I principali software che supportano l'analisi LCA sono Simapro e Gabi, il primo è stato sviluppato dalla PRE (Product Ecology Consultant-NL) per conto del ministero dell'ambiente olandese mentre il secondo, sempre di estrazione europea è un software tedesco.

Sono strumenti simili che permettono di fare un uso rapido di informazioni alla base dell'analisi del ciclo vita, inoltre permettono di modellare in modo flessibile e parametrico il prodotto stesso.

Una volta costruito il modello questi software permettono di fare valutazioni d'impatto finali in modo quasi immediato in quanto i sistemi hanno inglobati determinati indicatori di impatto che sono calcolati sulla base del modello costruito. Simapro nasce dall'esigenza del ministero di dotarsi di uno strumento di valutazione di impatto ambientale il più possibile accurato, oggettivo e versatile ed è da trent'anni il software leader mondiale per la valutazione del ciclo vita (LCA). È considerato un software affidabile dall'industria e dal mondo accademico in più di 80 paesi. È stato sviluppato per aiutare ad applicare efficacemente l'esperienza LCA al fine di guidare un cambiamento sostenibile.

Il software s'interfaccia con parecchie banche dati europee, con l'obiettivo di avere il maggior numero di dati a disposizione e la possibilità di scegliere il processo o materiale più vicino a quello che si vuole prendere in esame.

All'interno della banca dati comune, i materiali e i processi sono classificati secondo il contenuto (materiali da costruzione, energia, trasporti, ecc.) permettendo così la facile comparazione tra processi simili ma provenienti da database differenti. Ogni dato proveniente dalla banca dati può essere modificato secondo le proprie esigenze, qualora si disponga di dati specifici su alcuni prodotti.

Tra le banche dati disponibili è presente il database Ecoinvent 3.6 che risulta il più aggiornato e che è stato utilizzato nel caso studio.

Tale database, pubblicato dallo “*Swiss Centre for Life Cycle Inventories*” contiene dati di inventario internazionali sui processi industriali relativi ad approvvigionamento energetico, sfruttamento delle risorse, fornitura dei materiali, prodotti chimici, metalli, agricoltura, servizi di gestione dei rifiuti e servizi di trasporto.

Il software Simapro offre la possibilità di effettuare le valutazioni di impatto ambientale utilizzando diverse metodologie, permettendo di comparare i risultati su basi di valutazione differenti.

I diversi metodi hanno differenti pesi delle categorie di danno ambientale, in base alla filosofia con cui sono stati concepiti.

I principali metodi di valutazione del danno utilizzabili sono:

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

Il metodo Recipe comprende un set di categorie d'impatto con i relativi fattori di caratterizzazione chiamati “midpoint level”.

Queste vengono aggregate tramite un fattore di pesa unitario nel secondo set, chiamato “endpoint level”, che comprende tre categorie di danno.

ReCiPe, utilizza la teoria delle prospettive culturali di Thompson (1990) per effettuare la pesatura secondo tre prospettive: individualista (I), gerarchica (H) ed egualitaria (E).

#### 1.4.4 Limiti dell'analisi LCA

L'LCA può presentare limiti dovuti a scarsa qualità dei dati di input, ipotesi soggettive, metodologie e interpretazioni non accettate dalla comunità scientifica.

Uno degli attuali limiti dell'analisi LCA è l'incapacità di integrare la complessa gamma di impatti ambientali che risultano dall'attività industriale, cosa che risulta particolarmente vera per gli impatti sul terreno e sulla bio-diversità.

L'LCA è maggiormente applicabile a indicatori di impatti su scala globale (es: *global warming*) e meno agli impatti locali come lo smog, dove i fattori temporali e spaziali delle emissioni hanno più rilevanza.

Altro limite è rappresentato dal fatto che non è utilizzabile in indagini che trattano gli aspetti tecnici, economici o sociali di un prodotto o di un servizio dal momento che le informazioni non hanno legami con le prestazioni dei prodotti in termini di qualità ed economicità.

Un altro aspetto critico è rappresentato dalla necessità di usare anche dati nel caso in cui, tali dati, non siano disponibili o sufficientemente accurati. Altri limiti che uno studio LCA può presentare sono:

- un'analisi complessa a causa delle numerose variabili considerate;
- la qualità dei risultati fortemente dipendente dalla qualità dei dati in input, nel caso in cui siano presentati come valori medi o aggregati;
- la mancanza di indicazioni sugli impatti locali e quindi l'impossibilità di realizzare uno studio completo sulla valutazione locale dei rischi;
- la necessità di interpretare e discutere i risultati finali, con la conseguente possibilità di molteplici interpretazioni;
- la necessità di compiere scelte ed assunzioni di natura soggettiva, tra cui i confini del sistema, le sorgenti dei dati e le categorie d'impatto;
- la mancanza di metodi univoci e quindi la possibilità di utilizzo di diversi software di calcolo;
- l'impiego di modelli per la valutazione d'impatto, che presentano dei limiti dovuti alle assunzioni fatte e che non sono adatti a qualsiasi impatto ambientale;
- il conseguimento di scelte che possono avere un valore politico;

- la possibilità di avere ampi margini di soggettività con un inevitabile ricorso a compromessi nella fase decisionale;
- l'esigenza di impiegare strategie e metodi quanto più possibile coerenti e di ampia estensione;
- i limiti sulla validità dei risultati nel tempo, in base al tipo di prodotto o servizio analizzato e al campo di applicazione (approccio di tipo stazionario);
- i costi, in termini di risorse e di tempo, per la realizzazione di uno studio LCA.

Infine, si sottolinea che uno studio LCA non determina in assoluto quale sia il prodotto migliore, ma fornisce solamente informazioni che possono essere utilizzate per prendere decisioni in modo maggiormente consapevole.

### 1.4.5 Metodo alternativo all'analisi LCA

Il metodo Lids (*life cycle design strategy wheel*): un metodo opposto al Life Cycle Assessment ma che rappresenta una valida alternativa.

È uno dei metodi qualitativi utilizzati dall'Ecodesign che aiutano ad evitare gli errori in termini di ecosostenibilità ed è di particolare importanza.

“La ruota della strategia di progettazione”, o ruota Lids, è usata nella fase di *brainstorming*, quando si sta pensando ad una soluzione concettuale di un prodotto; la soluzione esistente può essere analizzata attraverso un diagramma a ragnatela (*spyder web diagram*) in cui si assegna un punteggio a ciascuna fase della progettazione del prodotto, ritrovandosi uno stato dell'arte. Questo strumento è stato sviluppato da Carolien Van Hemel e Han Brezet per l'UNEP Ecodesign Manual.

Il diagramma, modellato attraverso l'assegnazione di punteggi, rappresenta l'esito di una valutazione qualitativa del team di lavoro, ciò permette di assegnare dei target al nuovo prodotto esaminando i pro e i contro delle strategie a breve e lungo termine; aiuta lo sviluppo del prodotto attraverso una visione grafica.

Si possono in questo modo analizzare le diverse idee progettuali del prodotto senza entrare nel dettaglio.

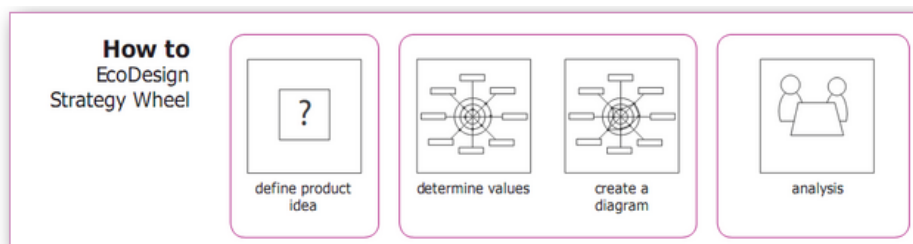


Figura 13 Fasi della metodologia Lids

Ad ogni radiante dello *spyder web diagram* si assegna un punteggio, sia al prodotto esistente in grigio chiaro sia i punteggi che si vogliono ottenere nel nuovo prodotto, o punteggi in funzione delle varie soluzioni alternative che si stanno ideando.

Attraverso questo diagramma, si ha una visualizzazione delle idee di un team di progetto per poter scegliere la soluzione migliore fra quelle analizzate.

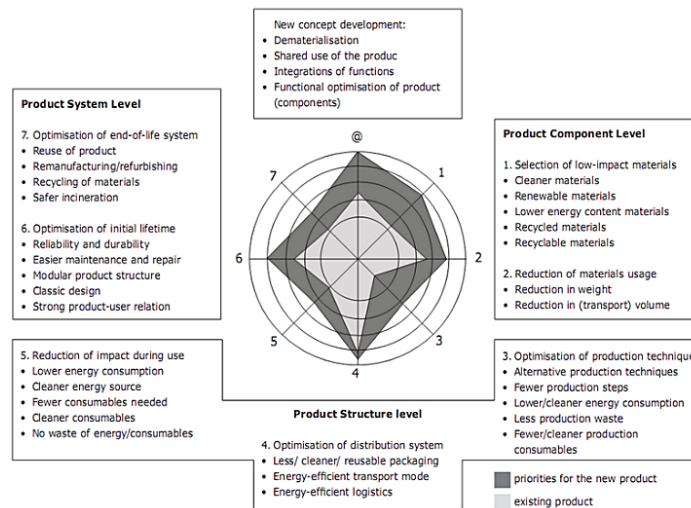


Figura 14 Spyder Diagram della metodologia Lids

Le quattro macroparti che vanno completate sono:

Lo sviluppo di nuovi concetti in cui vengono analizzati non solo i componenti ma anche le funzioni assegnate a ciascun gruppo di componenti.

Il secondo livello, legato al componente del prodotto.

Il terzo livello, legato alla struttura del prodotto, prevede un'ottimizzazione delle tecniche e del sistema di produzione.

L'ultima parte da analizzare è legata al sistema prodotto, in quanto la struttura modulare del prodotto aiuta molto ad allungare la sua life time, poiché il singolo modulo può essere sostituito, diventa più facile estendere il suo ciclo vita.

Altri principi su cui andare a lavorare sono il classic design, eseguire una progettazione di prodotti "ever green" che hanno un impatto sul mercato.

Per aumentare la life time è importante la fidelizzazione dell'utilizzatore verso il prodotto, perché è stato concepito per essere utilizzato con fedeltà da parte del cliente nonostante abbia un'obsolescenza tecnologica.

Nel caso in cui il materiale finisca in discarica bisogna fare in modo che l'impatto sull'ambiente non diventi significativo.

Analizzare il prodotto con questa metodologia permette di conoscerlo meglio, di valutare idee alternative grazie ai criteri dei 7 punti e quindi confrontarne qualitativamente le soluzioni più interessanti per poi compararle durante il completamento del progetto anche da un punto di vista quantitativo.

L'altro estremo è l'Analisi basata sulla metodologia LCA.

## 2 Caso studio: progetto Electrolux Genesi



Figura 15 I frigoriferi Baseline 2020 e Genesi 2022 della Electrolux

L'obiettivo del caso studio è stato quello di comparare gli impatti ambientali di due modelli di refrigeratori: il modello 1780CBFFVSD A+ Baseline e il modello 17CBSNV0S E Genesi.

L'unità funzionale dell'analisi è quella di conservare gli alimenti in un ambiente domestico per un intervallo di tempo pari a 16 anni.

I metodi utilizzati nell'analisi LCA sono: il Recipe 2016 Midpoint (H) V1.04 / World (2010) per gli indicatori Climate Change espresso in [kgCO<sub>2</sub>eq] e il Mineral resource scarcity espresso in [kgCueq] e il metodo Aware V1.03 per l'indicatore Water use espresso in [m<sup>3</sup>]

Il software utilizzato nell'analisi è Simapro v9 supportato dal database Ecoinvent 3.6 allocation, cut-off by classification, che contiene informazioni relative ai processi, alle attività e ai materiali necessari alla modellazione e rappresenta il punto di forza in quanto offre all'utente tutti i dataset necessari per la fase *di Life Cycle Inventory*.

Nella scelta del campo di applicazione i confini del sistema sono stati definiti in modo tale da racchiudere la maggior parte delle fasi del ciclo vita del frigorifero Genesi:

- Fase di Pre-produzione: comprendente la ricerca e lo sviluppo, la distinta base, l'approvvigionamento dei componenti
- Fase di trasporto delle materie prime
- Fase di produzione nello stabilimento di Susegana
- Fase di trasporto del prodotto finito
- Fase d'uso
- Fase di manutenzione
- Fase di fine vita

Alle quali si aggiunge la riduzione di Food Waste al di fuori dei confini del ciclo vita.

L'unica fase che non è stata considerata è quella relativa al trasporto del frigorifero verso il fine vita.

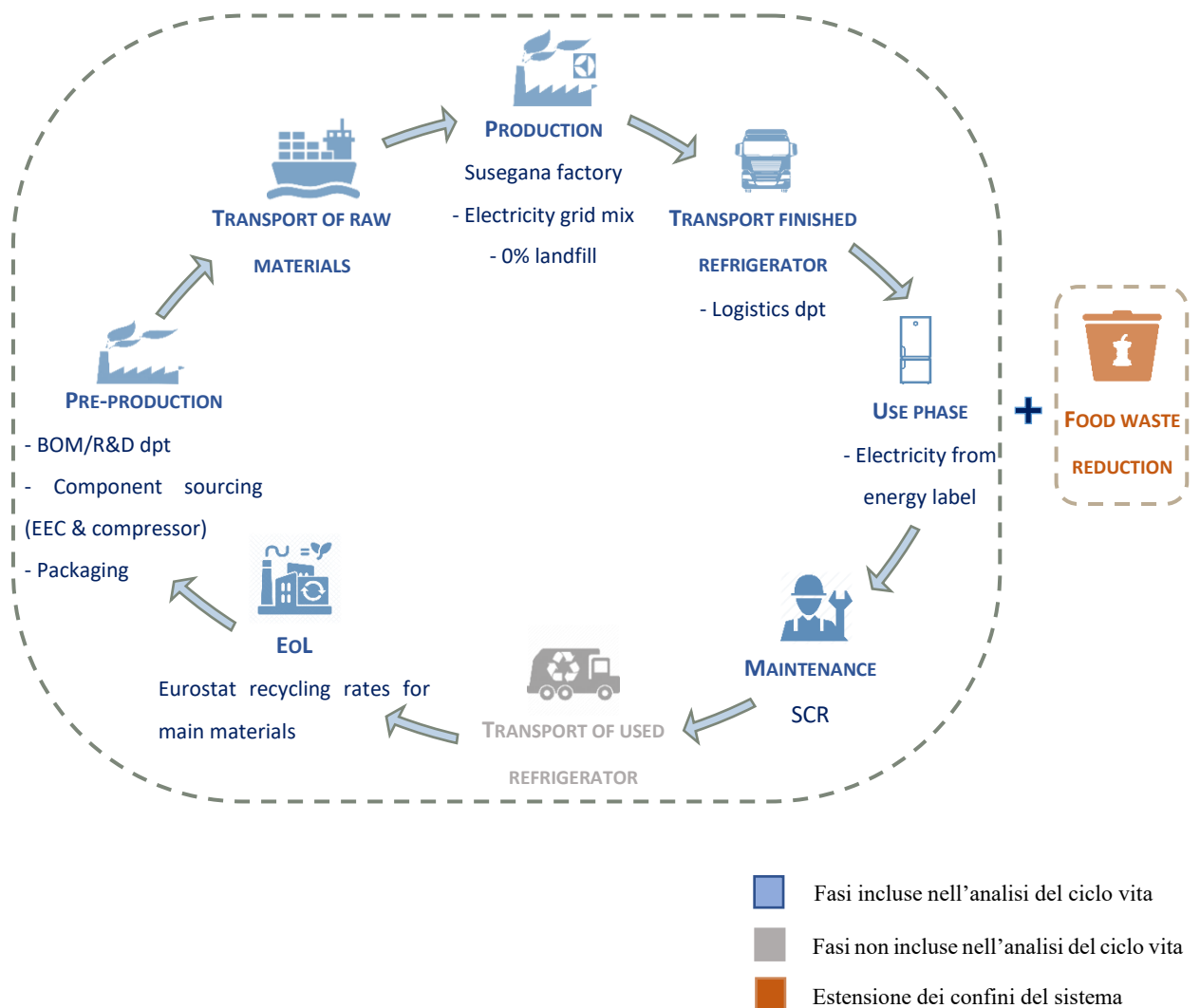


Figura 16 I confini del sistema definiti nella prima fase dello studio LCA



La prima fase dello studio si è incentrata sulla riorganizzazione dei dati LCI forniti da Electrolux sui vari moduli che compongono il frigorifero Genesi.

Questi moduli sono stati poi modellati tramite Simapro.

La seconda parte si è incentrata sull'analisi dei moduli modellati su Simapro tramite l'interfaccia di Analisi e Confronto del software stesso e sulla successiva esportazione dei dati ricavati in Excel.

Nella terza ed ultima parte i dati sono stati strutturati in tabelle e grafici ad istogramma per poter essere interpretati.

Il focus dell'analisi è stato:

- confronto degli impatti fra i due cicli vita complessivi del Genesi e del Baseline
- confronto fra i moduli
- confronto della Fase d'uso
- confronto di uno dei due moduli più importanti: il Compressore
- confronto del driver Food Waste

## 2.1 Electrolux



Figura 17 Electrolux headquarter a Stoccolma

AB Electrolux è un'azienda multinazionale svedese con sede a Stoccolma, che opera da oltre cento anni nella produzione di elettrodomestici per la casa e per un uso professionale.

Fondata nel 1910, è la terza maggiore azienda del proprio settore, in cui opera dal 1919, sia in Europa che a livello mondiale.

Con diversi marchi noti quali Electrolux, AEG, Zanussi, Frigidaire ed Electrolux Grand Cuisine, il Gruppo vende più di 60 milioni di prodotti a clienti in oltre 150 mercati ogni anno [12]. L'Europa con il 40% delle vendite rappresenta il mercato di riferimento, in particolare in Italia sono presenti diversi stabilimenti, tra cui quello di Susegana dove verrà prodotto il frigorifero Genesi.

L'obiettivo dell'azienda è quello di creare elettrodomestici sempre più efficienti e ad alte prestazioni, che aiutino i consumatori a vivere una vita migliore, risparmiare denaro e ridurre l'impatto ambientale.

I punti chiave della *roadmap* 2030 sono quelli di diventare leader nell'efficienza energetica e idrica sviluppando prodotti con buone prestazioni ambientali e continuare a guidare il mercato attraverso campagne di sensibilizzazione dei consumatori integrando la sostenibilità nei marchi del gruppo.

Gli elettrodomestici possono contribuire attraverso il risparmio energetico ad affrontare il cambiamento climatico riducendo le emissioni dei gas serra e la domanda d'acqua.

Poiché l'uso dell'energia dei prodotti è responsabile di oltre l'80% dell'impatto climatico, l'efficienza energetica degli stessi, rappresenta il punto sul quale l'azienda può dare maggior contributo nella lotta al cambiamento climatico.

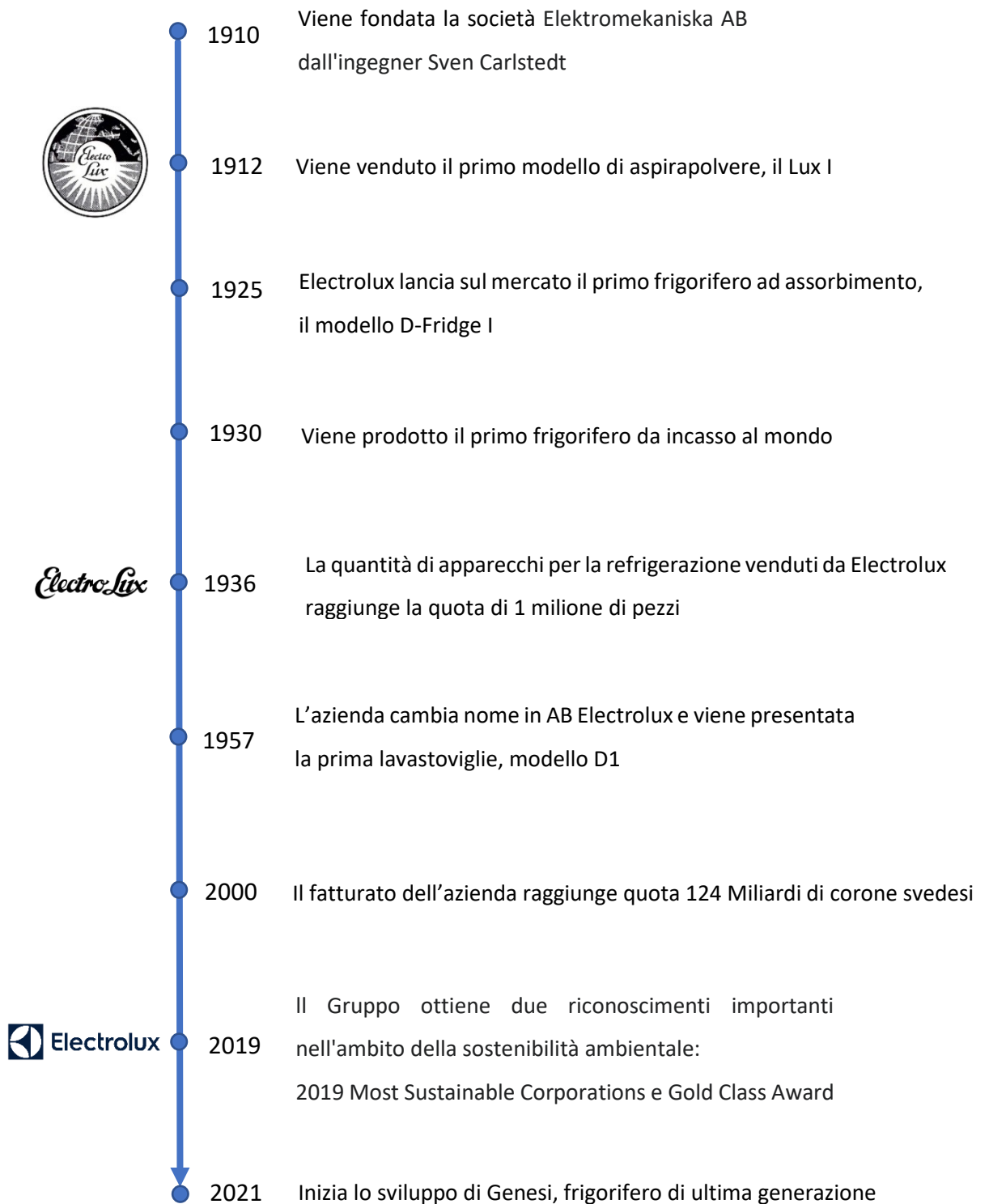


Figura 18 Timeline story dell'azienda Electrolux

## 2.2 Frigoriferi Electrolux

I modelli di refrigeratore presi in considerazione nel caso studio sono il Baseline 2020 attualmente in commercio e il Genesi 2022 che deve essere ancora lanciato sul mercato.

Entrambi sono frigoriferi a singola porta freestanding, caratterizzati da una struttura esterna in alluminio e in acciaio, zincato e lavorato a freddo, mentre internamente le pareti sono ricoperte di propilene per garantire ottime prestazioni di isolamento termico. Il rivestimento interno della porta è in *polystyrene high impact* e i ripiani per la conservazione degli alimenti sono realizzati in vetro.

Il compressore rappresenta per entrambi i refrigeratori un componente fondamentale, costruito in ghisa, nel Baseline 2020 ha un peso pari a 10 kg mentre nel Genesi 2022 ha un peso inferiore pari a 6,5 kg.

I due modelli sono molto simili nella forma ma con differenti pesi: 60 kg per il Baseline 2020 e 63 kg per il Genesi 2022

### 2.2.1 Electrolux Genesi

- Confronto ciclo vita complessivo

La prima analisi riportata è stata quella relativa al confronto tra il refrigeratore Baseline 2020 e il Genesi 2022 sul ciclo vita complessivo secondo i tre indicatori: *Climate Change*, *Mineral resource scarcity* e *Water Use*, anche se nel report finale si è concentrata l'attenzione sul primo indicatore. Le percentuali di impatto raggiungono una riduzione pari a circa il 20% per tutti gli indicatori nel passaggio dal modello Baseline al Genesi.

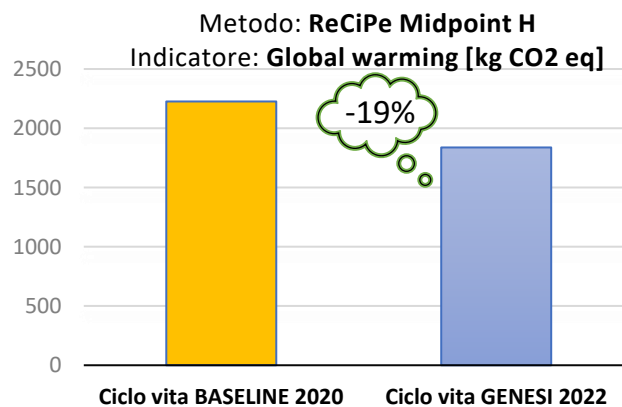


Figura 19 Confronto tra Baseline e Genesi sull'impatto del ciclo vita complessivo

- Confronto Fase d'Uso

	RIDUZIONE IMPATTO GENESI (%)	FASE D'USO GENESI [kgCO2eq]	IMPATTO FASE D'USO GENESI SU CICLO VITA (%)
<b>Global warming [kg CO2 eq]</b>	20	1452	79

Tabella 1 Impatto della Fase d'uso del Genesi 2022 sul ciclo vita complessivo con la relativa riduzione percentuale rispetto al Baseline 2020

La seconda analisi si è basata sul confronto tra le fasi d'uso del Baseline 2020 e del Genesi 2022.

Variando l'assorbimento energetico annuo, ovvero passando dalla classe A+ del Baseline alla classe E della nuova etichetta energetica del Genesi si assiste ancora ad una variazione proporzionale per tutti gli indicatori pari a 20%.

Si evidenzia in termini percentuali come l'impatto della fase d'uso secondo l'indicatore *Climate change* sia molto rilevante assestandosi intorno all'80% sia per il Genesi che per il Baseline.

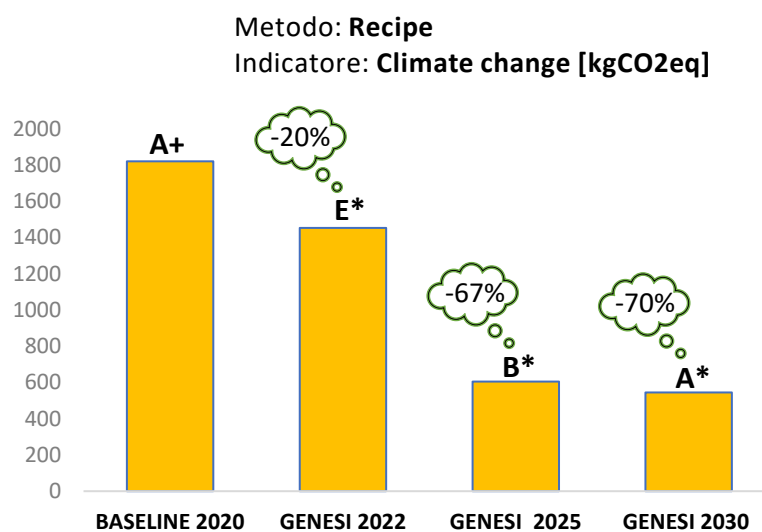


Figura 20 Confronto sul driver Fase d'uso tra il Baseline 2020 e il Genesi 2022 con le sue future generazioni.

\*classi del refrigeratore secondo la nuova etichetta energetica entrata in vigore a marzo 2021.

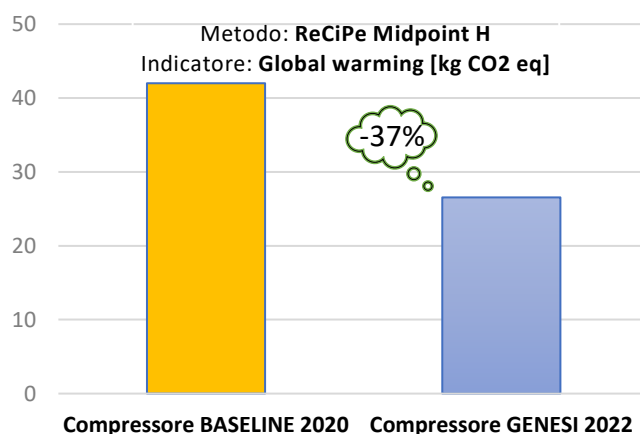
- Confronto Compressori

	RIDUZIONE IMPATTO GENESI (%)	IMPATTO COMPRESSORE GENESI SUL CICLO VITA (%)	RIDUZIONE IMPATTO SUL CICLO VITA GENESI (%)
<b>Global warming [kg CO2 eq]</b>	37	1,5	0,8

*Tabella 2 Impatto del Compressore del Genesi 2022 con la relativa riduzione percentuale rispetto al modello Baseline 2020*

Anche se il compressore non gioca un ruolo chiave in termini d'impatto sull'intero ciclo vita, pari a circa l'1,5% nel Genesi 2022 e il 2% nel Baseline 2020, tuttavia risulta il modulo che in termini di cambiamento relativo, ha determinato una migliore prestazione sull'impatto ambientale rispetto al modello precedente.

Essendo il compressore poco impattante sul ciclo vita complessivo porta ad una riduzione nel nuovo modello pari solo a 0,8%.



*Figura 21 Confronto tra Baseline 2020 e Genesi 2022 sul modulo del Compressore*

- Food waste

	Carne rossa e pesce	Frutta e verdura	Totale		Riduzione food waste [kg/family in 16 years]
<b>Global warming [kg CO2 eq]</b>	34	37	71	Carne rossa e pesce	2 kg
				Frutta e verdura	10 kg

*Tabella 4 Impatto del Food waste sul ciclo vita complessivo e spreco alimentare evitato nell'arco di vita del refrigeratore Genesi 2022*

Food waste	Riduzione impatto su ciclo vita (%)
-71	4

*Tabella 3 Riduzione dell'impatto del Food waste sul ciclo vita complessivo del refrigeratore Genesi 2022*

Un aspetto interessante sul quale l'azienda Electrolux sta puntando è quello relativo allo spreco alimentare (Food Waste), ovvero quanto le nuove tecnologie possano contribuire nella riduzione dello spreco di cibo, sviluppando sempre più nuovi e sofisticati metodi per la conservazione del cibo, con l'obiettivo di creare anche una miglior conoscenza e consapevolezza nei clienti sensibilizzando sul tema dello spreco alimentare dovuto ad una cattiva conservazione.

Il driver Food Waste è stato modellato ipotizzando uno scenario familiare che comprende la conservazione di carne, pesce, frutta e verdura.

I dati modellati hanno portato ad un riscontro sulla riduzione dell'impatto pari a circa il 4% dell'impatto del ciclo vita complessivo, facendo risparmiare ad ogni famiglia più di 12kg tra carne, pesce, frutta e verdura in 16 anni di attività del frigorifero.

- Confronto sui moduli (*materials*)

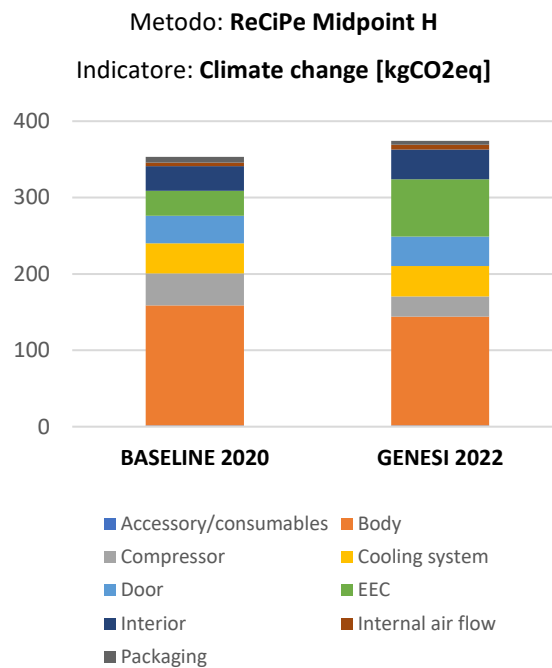


Figura 22 Istogrammi di confronto tra i moduli del Baseline 2020 e Genesi 2022

Focalizzando l'attenzione sui moduli, sempre in riferimento all'indicatore *Climate change* si nota come l'impatto dei Materiali passando dal Baseline al Genesi aumenta in quanto i cambiamenti relativi sono per la maggior parte positivi, anche se di piccola entità, in particolare si evidenzia un incremento significativo relativo al modulo della componente elettrica ed elettronica che registra un aumento d'impatto.

Tra i moduli che subiscono una diminuzione maggiore nel cambiamento relativo, registrando una riduzione pari a circa il 37%, vi è il compressore che nel passaggio dal Baseline al modello Genesi migliora molto dal punto di vista del peso passando da circa 10 kg a 6,5 kg.



- Analisi sui differenti scenari di installazione per il Genesi 2022

È stata eseguita un'ulteriore analisi sull'installazione del Genesi in diversi paesi, per poter offrire un quadro più ampio a livello europeo.

Questa analisi sulla base dell'indicatore *Climate change*, si è incentrata sulla variazione dell'impatto totale del ciclo vita e della fase d'uso a seconda della diversa collocazione in paesi con mix energetici differenti rispetto a quello italiano (dove circa il 60% proviene da fonte fossile).

In particolare, spostandosi più a nord, in Francia, dove le fonti di energia provengono principalmente dal nucleare, c'è una differenza sostanziale rispetto alla collocazione in Italia, infatti si registra una riduzione pari a circa il 61% sull'impatto del ciclo vita complessivo. Mentre spostandosi in Svezia dove l'80% dell'energia proviene da fonti rinnovabili come eolico ma soprattutto idroelettrico sia arriva ad una riduzione sull'impatto nel ciclo vita complessivo pari a circa il 70%.

Per il driver fase d'uso le percentuali di riduzione degli impatti raggiungono valori ancora più significativi: 78% passando allo scenario francese e 87% per lo scenario svedese.

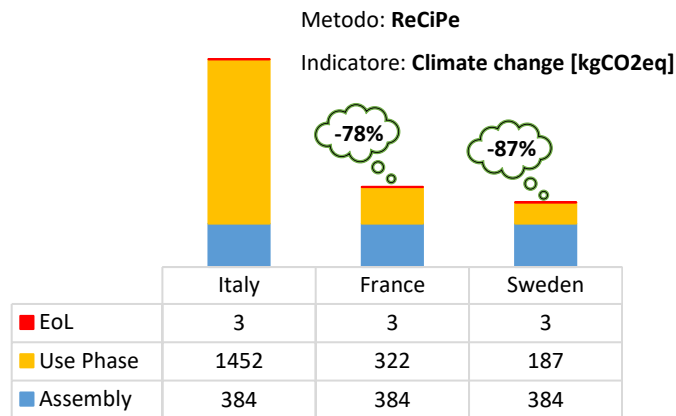


Figura 23 Istogrammi del ciclo vita complessivo per ogni scenario di installazione del Genesi suddivisi in: Materiali, Fase d'uso e Fine vita.

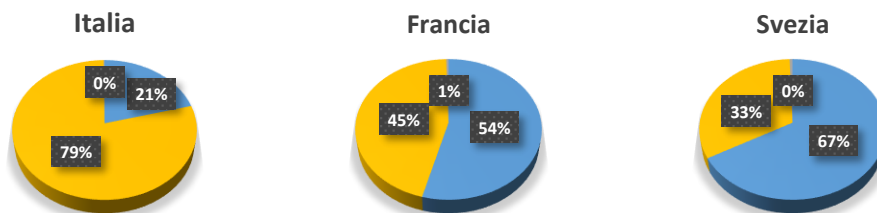


Figura 24 Grafici a torta per ogni scenario di installazione.

## 2.3 Interpretazione dei risultati

Driver		Climate Change Weight [%]	Climate Change [kgCO <sub>2</sub> eq]
			Relative change, %
<b>Life cycle</b>			<b>-19%</b>
Energy [IT energy grid mix]		82%	-20%
Packaging [%]		<0.5%	-31%
Min food waste	Fruit&Veg [%]	4%	-100%
	Fish&Meat [%]		-100%
Process		<0.5%	-
Logistics		0.5%	-
Comp. Sourcing	Electronics	4%	129%
	Compressor	1.5%	-37%

Tabella 5 Driver presi in considerazione nell'analisi LCA del refrigeratore Genesi 2022

Nella tabella vengono riepilogati tutti i driver che sono stati presi in considerazione:

- Fase d'uso
- Packaging
- Food waste
- Processi
- Logistica
- Approvvigionamento componenti

Dall'analisi effettuata secondo l'indicatore *climate change* risulta che la fase d'uso con l'82%, è la fase che impatta maggiormente sul ciclo vita complessivo, altri driver che assumono importanza sono: la riduzione di food waste con una percentuale d'impatto sul totale del 4% e il driver relativo all'approvvigionamento dei componenti che comprende la parte elettrica ed elettronica (4%) e il compressore del refrigeratore (1,5%) per una percentuale d'impatto del 5,5% sul totale.

Altri driver come il Packaging, i Processi e la Logistica risultano trascurabili sul totale impatto che ha il ciclo vita secondo l'indicatore *climate change*.

Nel nuovo frigorifero Genesi, la percentuale negativa legata al cambiamento relativo in ciascun driver indica una riduzione dell'impatto rispetto al modello precedente, il Baseline.

L'unica eccezione è rappresentata dalla componente elettrica ed elettronica che ha un peso del 4% sul ciclo di vita complessivo e che nel Genesi subisce un peggioramento sull'impatto del 129%, a causa dell'aumento del peso della scheda elettronica e dell'interfaccia utente.

I principali miglioramenti sono rappresentati dai driver relativi alla Fase d'Uso con e al Food Waste.

Il dato più significativo nel confronto tra i due modelli è rappresentato da una riduzione del 19% del frigorifero Genesi 2022, rispetto al modello precedente Baseline, in termini di indicatore *Climate change*.

Per poter capire la corretta direzione seguita dall'azienda nello sviluppo del refrigeratore Genesi e delle sue future possibili evoluzioni è stato fatto un focus sui confronti tra i modelli Baseline e Genesi 2025 e tra Baseline e Genesi 2030.

Le evoluzioni del Genesi 2025 e 2030 sono state fatte ipotizzando un miglioramento della classe energetica del Genesi stesso.

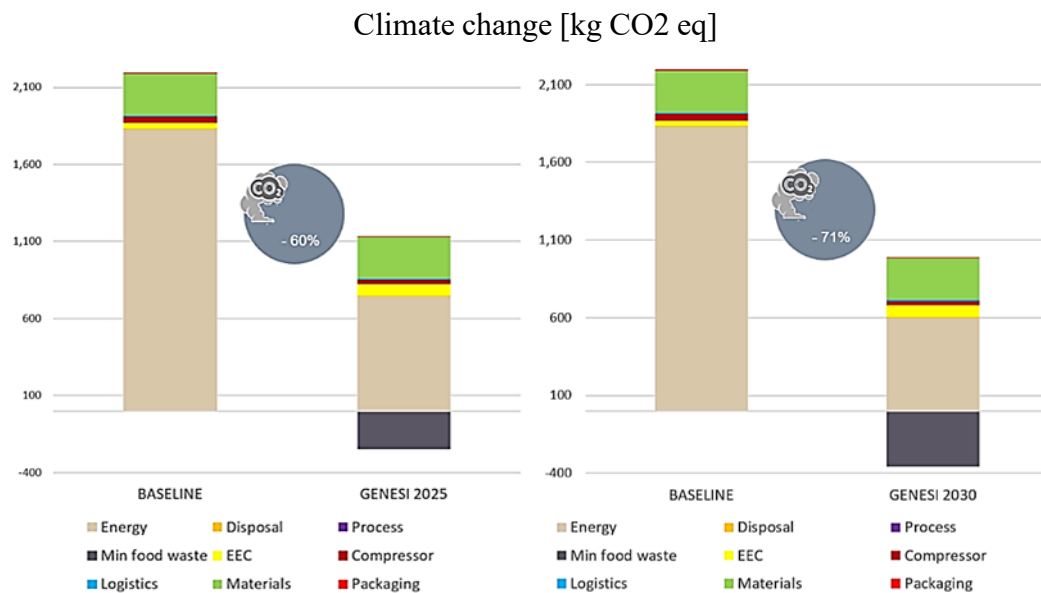


Tabella 6 Confronto Baseline e Genesi 2025 (a sinistra) – Baseline e Genesi 2030 (a destra)

Genesi 2025 ha dimezzato il consumo annuo posizionandosi nel mercato come frigorifero di classe B secondo la nuova etichetta energetica entrata in vigore a Marzo 2021. [13]

Secondo le assunzioni fatte nello scenario futuro Genesi 2025 si arriva ad ottenere una diminuzione sull'impatto del ciclo vita complessivo rispetto al modello Baseline pari a circa il 60%.

Genesi 2030 ha migliorato ulteriormente l'assorbimento energetico diventando un frigorifero di classe energetica A diminuendo il proprio impatto sul ciclo vita complessivo del 71%.

Dagli istogrammi è possibile osservare che andando verso scenari a minor consumo energetico assumono sempre più importanza altri driver di progettazione come la riduzione di *food waste* e l'utilizzo di materiali a minor impatto.

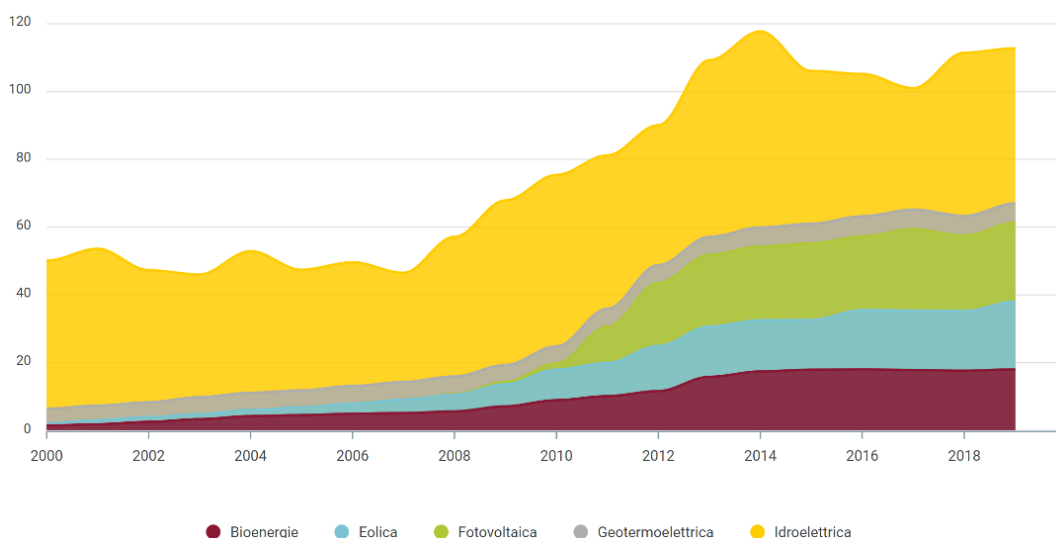
Dai risultati dell'analisi si ricavano le seguenti conclusioni:

- L'energia è ancora il principale contributore nel 2022 e la riduzione del *food waste* copre circa il 4% dell'intero impatto.
- I nuovi prodotti hanno subito un'ottimizzazione dal punto di vista dell'efficienza energetica e gli impatti ambientali nel tempo diminuiscono passando a soluzioni a minor assorbimento energetico.
- Le nuove soluzioni proposte da Electrolux sono in grado di allungare la vita utile dei prodotti conservati nel frigo quindi ridurre lo spreco alimentare connesso ad una cattiva conservazione.
- Variazione mix energetico verso la decarbonizzazione.

## 3 Approfondimento risultati

### 3.1 Evoluzione mix energetico

Il Mix Energetico (o fuel mix), è l'insieme di fonti energetiche primarie utilizzate per la produzione dell'energia elettrica fornita dalle imprese di vendita ai clienti finali. Per fonte primaria si intende una fonte che è presente in natura e quindi non deriva dalla trasformazione di nessuna altra forma di energia. Come previsto dal decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 31 luglio 2009.



*Figura 25 Evoluzione storica del contributo delle varie fonti rinnovabili alla produzione di energia elettrica in Italia*

La produzione di energia elettrica in Italia avviene a partire dall'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili (i combustibili fossili) quali gas naturale, carbone e petrolio e in misura sempre più rilevante con fonti rinnovabili, come lo sfruttamento dell'energia geotermica, dell'energia idroelettrica, dell'energia eolica, delle biomasse e dell'energia solare.

Il restante fabbisogno elettrico (12%), viene soddisfatto con l'acquisto di energia elettrica dall'estero, trasportata nel paese attraverso l'utilizzo di elettrodotti e diffusa tramite la rete di trasmissione e la rete di distribuzione.

Il fabbisogno di energia elettrica è comunque solo una parte dell'intero fabbisogno energetico nazionale dovendo considerare anche i consumi legati ad esempio all'autotrazione, al trasporto marittimo e aereo, al riscaldamento degli ambienti e a parte della produzione industriale, in larga parte coperti dall'uso diretto dei combustibili fossili, anch'essi in massima parte di provenienza estera.

Attraverso l'analisi del mix energetico italiano si cerca di capire la sua possibile evoluzione verso uno scenario più sostenibile mediante l'aumento della quota proveniente da fonti rinnovabili al fine di potersi dimostrare utile nella diminuzione dell'impatto ambientale (*Climate change*), in particolare nell'utilizzo di elettrodomestici come il frigorifero Genesi e le sue future evoluzioni.

Ripercorrere quello che è accaduto nell'ultimo anno è necessario per poter realizzare una proiezione del mix energetico 2030, che possa essere sfruttato dai futuri modelli Genesi al fine di migliorarne gli impatti in relazione al cambiamento climatico.

A seguito della pandemia da Covid-19 il Fondo Monetario Internazionale ha stimato per il 2020 una contrazione del 3,5% del sistema economico globale, mentre in Italia il calo è stato dell'8,8%, una recessione senza precedenti, incomparabile alla crisi finanziaria del 2009.

Nel 2020 si è registrato un calo record per fabbisogno di energia ed emissioni di CO<sub>2</sub>, in conseguenza del crollo del PIL, della produzione industriale e della mobilità. I consumi di energia primaria sono stimati in calo di oltre il 10% rispetto al 2019, da attribuire principalmente al crollo della mobilità stradale ed aerea.

Riduzioni significative si sono registrate nei consumi di gas (6%), nei combustibili solidi, di oltre il 20% rispetto all'anno precedente e nelle importazioni nette di elettricità (13%) rispetto ai dati del 2019. Solo le fonti rinnovabili risultano in marginale aumento (1%) escludendo le termiche il cui andamento è in linea con l'anno precedente.

Il calo accentuato delle fonti fossili, petrolio e carbone in particolare, ha determinato una significativa riduzione della quota di fossili nel mix energetico, nel 2020 stimata pari a circa il 72%, facendo registrare un minimo storico.

La richiesta di energia elettrica è diminuita nel 2020 del 5% rispetto al 2019, in particolare nel periodo tra marzo e aprile quando la chiusura delle attività

produttive, causa pandemia da Covid-19, ha ridotto i consumi elettrici industriali del 30%.

Anche per le emissioni di CO2 si è stimato nel 2020 un calo record pari a circa il 12% rispetto all'anno precedente, da ricondurre ai settori della generazione elettrica e dei trasporti.

Il dato più significativo è l'aumento del 40% dell'Indice della transizione energetica (ISPRED), miglioramento dovuto al crollo dei consumi di energia e delle emissioni di CO2.

Sul fronte della decarbonizzazione il miglioramento degli indicatori inclusi nell'ISPRED riflette da un lato il definitivo raggiungimento degli obiettivi 2020, dall'altro lato l'aumento della pendenza della traiettoria di lungo periodo di riduzione delle emissioni.

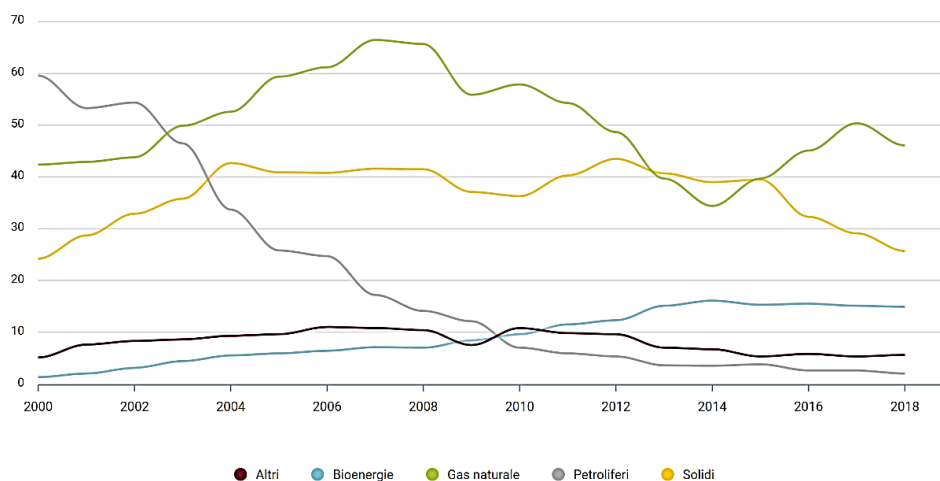


Figura 26 Evoluzione storica delle emissioni di CO2 relative alla produzione di energia elettrica ottenuta con le diverse tipologie di combustibile

D'altra parte, l'innalzamento dell'ambizione degli obiettivi al 2030 deciso a livello UE a fine anno fa sì che questa traiettoria resti tuttora non in linea con gli obiettivi, in particolare nei settori non-ETS (trasporti, edilizia, agricoltura, industria e rifiuti), che rappresentano quasi il 60% delle emissioni totali dell'UE. Questo perché resta ancora da valutare in che misura, una volta superate le condizioni eccezionali del 2020, la traiettoria emissiva possa tornare ad allontanarsi ancora di più dagli obiettivi.

Il 2020 ha segnato un nuovo rallentamento delle installazioni di nuova capacità elettrica rinnovabile, ferme a circa il 25% di quanto sarebbe necessario per raggiungere gli obiettivi 2030, facendo emergere le potenziali vulnerabilità del settore elettrico, destinato ad acquisire sempre maggiore centralità nel corso della transizione energetica. Il sistema elettrico è venuto a trovarsi improvvisamente in una condizione prossima a quella che dovrebbe realizzarsi entro il 2030 con il percorso di decarbonizzazione, trovandosi a dover gestire nuovi massimi storici della quota di generazione rinnovabile non programmabile, con necessità di taglio della produzione eolica in alcuni periodi e con impatto significativo sui costi della gestione in sicurezza del sistema [14].

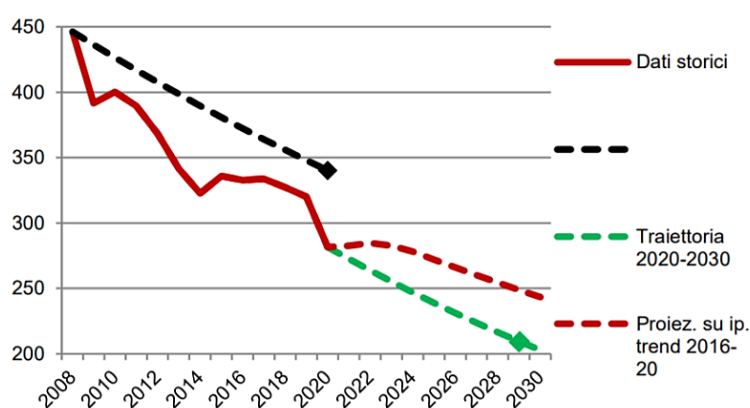


Figura 27 Emissioni totali di CO2 del sistema energetico: dati storici, traiettorie verso gli obiettivi 2030 e proiezione su ipotesi di continuazione del trend degli ultimi 5 anni (Mt)

È possibile affermare che i primi due decenni del nuovo secolo sono stati caratterizzati da una crescita molto sostenuta della produzione elettrica da fonte eolica, solare e da biomassa, finalmente uscite dal campo della "marginalità". Tuttavia, ridurre drasticamente la dipendenza dalle fonti fossili pare ad oggi estremamente difficile, in quanto in tutto il mondo industrializzato esse sono ancora alla base della disponibilità di energia, anche nei paesi dotati di un vasto parco nucleare (la Francia, ad esempio, consuma complessivamente più petrolio dell'Italia).

Va infatti ricordato che la produzione elettrica costituisce solo una frazione dei consumi totali di fonti fossili di un Paese, diffusamente e direttamente utilizzati anche nell'autotrazione, nel riscaldamento, nell'industria petrolchimica e nella propulsione navale e aeronautica.



Le fonti energetiche rinnovabili di tipo "classico" (energia idroelettrica e energia geotermica) sono state già quasi completamente sfruttate dove ritenuto conveniente e quindi sensibili miglioramenti in questo campo non sono immaginabili.

Le fonti energetiche rinnovabili "nuove" (in particolare eolico e solare) hanno avuto negli ultimi anni una crescita molto sostenuta; permangono tuttavia alcune perplessità riguardo a problematiche come la "non programmabilità" dell'approvvigionamento elettrico realizzato, che richiedono investimenti riguardo agli adeguamenti della rete elettrica e all'immagazzinamento dell'energia.

Altre fonti rinnovabili molto interessanti, come il solare termodinamico (con una produzione più costante del fotovoltaico), lo sfruttamento delle onde marine o l'eolico d'alta quota, al momento in Italia non hanno raggiunto adeguata diffusione oppure sono ancora allo stato di prototipi.

La combustione di biomassa è un altro settore in cui si notano buoni progressi, tuttavia diversi studi ipotizzano che tale fonte, qualora venisse sfruttata su larga scala con vasta diffusione di colture energetiche, comunque non potrebbe essere considerata come pienamente sostitutiva dei combustibili fossili, a causa dei rendimenti globali relativamente bassi e delle grandi superfici coltivabili richieste, non proponibili data la particolare conformazione del territorio italiano.

Ulteriori benefici potrebbero giungere da eventuali politiche mirate all'incentivazione dell'efficienza energetica e del risparmio energetico. In particolare, sussistono ancora margini di miglioramento riguardo l'efficienza delle centrali termoelettriche, con politiche di dismissione o ristrutturazione delle centrali con i rendimenti più bassi e maggiore diffusione delle centrali a ciclo combinato o con teleriscaldamento.

Analizzando i dati sulla composizione del mix energetico negli anni 2017, 2018 e 2019 si nota come la componente legata alle fonti rinnovabili sia in lieve aumento passando dal 36,4% del 2017 al 41,5% del 2019 (+5) e come in maniera proporzionale diminuisce la componente legata al carbonio passando dal 13,7% all'8,5% del 2019 (-5).

		2017	2018	2019
		%	%	%
<b>FONTI PRIMARIE UTILIZZATE</b>	<b>Fonti Rinnovabili</b>	36,4	41	41,5
	<b>Carbone</b>	14,0	12,3	8,5
	<b>Gas Naturale</b>	42,6	39,0	43,0
	<b>Prodotti Petroliferi</b>	0,8	0,5	0,5
	<b>Nucleare</b>	3,6	4,0	3,5
	<b>Altre Fonti</b>	2,9	3,0	3,1

Tabella 7 Composizione mix energetico italiano negli anni 2017, 2018, 2019

		2020	2030
		%	%
<b>Fonti Rinnovabili</b>	42	48,3	
<b>Carbone</b>	6	5	

15%

Tabella 8 Composizione fonti rinnovabili e carbone nel mix energetico italiano, nell'anno 2020 e ipotesi scenario futuro per l'anno 2030

Secondo le proiezioni sulle emissioni totali di CO<sub>2</sub> del sistema energetico, è possibile affermare che lo scenario 2030 non sarà ancora ad emissioni zero e quindi non si raggiungerà la completa decarbonizzazione, però si registrerà un miglioramento pari al 15% passando da 280 Mt di CO<sub>2</sub> a 240 Mt di CO<sub>2</sub> prodotte. I dati dimostrano che nel 2030 il mix energetico non sarà composto solo da fonti rinnovabili, ma ipotizzando una decarbonizzazione pari al 15% nell'arco di 10 anni proporzionale alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, si arriverà a coprire con le rinnovabili circa il 50% delle fonti primarie utilizzate.

In questo scenario, tutti gli elettrodomestici come il Genesi, potranno trarne vantaggi riducendo gli impatti secondo l'indicatore *Climate change*.

In particolare, come analizzato nel caso studio, Genesi 2030 diventerà un elettrodomestico di classe A con una riduzione d'impatto corrispondente ad un miglioramento del 70% rispetto al Baseline.

Sapendo che il modello Genesi 2030 ha un assorbimento energetico pari ad un elettrodomestico di classe A, con un mix composto per il 40% da fonti rinnovabili e una componente fossile che sfiora il 60%, secondo le stime fatte per il 2030 sulla composizione del mix, a seguito di un aumento del 15% della fonte rinnovabile, il frigorifero potrà usufruire dello stesso assorbimento energetico composto quasi per il 50% da fonte rinnovabile.

In conclusione, l'evoluzione del mix energetico in Italia, verso un aumento della quota rinnovabile rappresenta uno degli aspetti che potrà rivelarsi incisivo sull'indicatore *Climate change* dell'impatto del ciclo vita complessivo del Genesi.

## 3.2 Food waste

Il futuro dell'Europa dipende dalla buona salute del pianeta e per questo motivo il vecchio continente si è impegnato a raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. Oltre alle sfide climatiche e ambientali assume sempre più importanza l'aspetto legato allo spreco alimentare (*food waste*) che rappresenta un punto fondamentale del Green Deal europeo al fine di condurre verso un sistema alimentare dell'UE più sano e sostenibile.

Tra gli obiettivi dell'Agenda 2030 europea c'è anche quello di garantire modelli sostenibili di produzione e di consumo, in particolare al punto 12.3 si invita a riflettere sulla problematica.

Le nazioni Unite hanno concordato di dimezzare entro il 2030 lo spreco pro-capite globale di rifiuti alimentari nella vendita al dettaglio e dei consumatori e ridurre le perdite di cibo lungo le filiere di produzione e fornitura, comprese le perdite post-raccolto.



Figura 28 Generazione di food waste mondiale suddivisa nei vari continenti, nell'anno 2018.

Secondo le stime del Dipartimento per gli affari economici e sociali delle Nazioni Unite, la produzione agricola e alimentare dovrebbe aumentare di due terzi entro il 2050 per nutrire 2 miliardi di persone in più.

Il rapporto FAO del 2015 afferma che a livello globale 1/3 delle derrate alimentari prodotte (approssimativamente 1,3 miliardi di tonnellate ogni anno) viene perso o sprecato, il 14% dei prodotti viene perso prima di raggiungere il mercato e l'8% delle emissioni globali di gas serra sono dovute allo spreco alimentare.

In Europa, ogni anno vengono generati circa 88 milioni di tonnellate di rifiuti alimentari con costi associati stimati a 143 miliardi di euro (Fusion 2016).

Il dato sempre ricorrente riguarda lo spreco domestico, che in Italia arriva a 6 mld euro, circa 4,5 euro settimanali a famiglia. In sostanza in Italia ogni anno sono sprecati 85 kg di cibo pro-capite.

Lo spreco di cibo non è soltanto una questione etica ed economica, ma impoverisce anche l'ambiente di risorse naturali limitate quindi ridurre le perdite e gli sprechi alimentari risulta necessario per aiutare a raggiungere gli obiettivi di sviluppo sostenibile.

I principali fattori che contribuiscono allo spreco alimentare domestico includono:

1. deterioramento del cibo: circa i due terzi degli sprechi alimentari avvengono a causa di una conservazione impropria, della mancanza di visibilità nei frigoriferi, di ingredienti parzialmente utilizzati e di esigenze alimentari errate.
2. preparazione eccessiva: il restante terzo dei rifiuti alimentari domestici è il risultato di persone che cucinano o servono troppo cibo.
3. overbuying: le vendite di prodotti insoliti e promozioni che incoraggiano l'impulso e gli acquisti di cibo sfuso nei negozi al dettaglio spesso portano i consumatori ad acquistare articoli che non rientrano nei loro piani alimentari regolari e, quindi, si rovinano prima che possano essere utilizzati.
4. Scarsa pianificazione: senza piani pasto e liste della spesa, i consumatori spesso fanno stime imprecise di cosa e quanti ingredienti utilizzeranno durante la settimana.



Figura 29 La gestione della catena alimentare

I prodotti alimentari vengono persi e sprecati lungo tutta la filiera alimentare: nelle aziende agricole, nella lavorazione e produzione, nei negozi, nei ristoranti e in casa. Secondo le stime dell'UE, la maggior parte dello spreco dei generi alimentari avviene in casa, infatti le famiglie sono responsabili del 53% del *food waste*.

Da questo ne risulta che un corretto utilizzo e adeguate tecnologie sviluppate nei frigoriferi di ultima generazione giochi un ruolo chiave nella corretta conservazione del cibo e nella riduzione del *food waste* in casa e dell'impatto che ha quest'ultimo sul cambiamento climatico in termini di emissioni di Kg CO<sub>2</sub> eq.

Per poter intervenire sull'impatto che il food waste ha sul cambiamento climatico bisogna ridurre al minimo le perdite nella fase di produzione e trasformazione, nel packaging e nella logistica, nella semplificazione delle etichette e delle scadenze, nei i modelli di consumo alimentare, negli stili di vita e nei comportamenti di acquisto.

Aziende del calibro di Electrolux sono da tempo impegnate nella costruzione di elettrodomestici, in particolare frigoriferi come il Genesi a scarso impatto ambientale e nella sensibilizzazione del consumatore verso lo spreco alimentare.

Un uso corretto dei frigoriferi da parte del consumatore, unito alla ricerca e sviluppo di nuove tecnologie di conservazione grazie al know-how acquisito negli anni da aziende come Electrolux possono contribuire in maniera significativa alla riduzione del *food waste*.

Le analisi fatte nel caso studio sulle generazioni future di frigoriferi come Genesi 2030 dimostrano che il driver *food waste* sia in costante crescita a differenza della fase d'uso, un aspetto molto positivo tenendo conto che si tratta di impatto evitato. L'impegno comune a questo obiettivo è ridurre gli sprechi e valorizzare le risorse disponibili, che non possono che essere vantaggiose per tutti, dal singolo cittadino alla grande impresa.

Siamo tutti abitanti dello stesso pianeta e condividiamo tutti le stesse risorse, è imperativo che ce ne occupiamo tutti insieme.

### 3.3 Analisi sensitività

Sono stati eseguiti ulteriori approfondimenti nel “caso studio: frigorifero Electrolux modello Genesi” attraverso analisi di sensitività relativamente al driver Fase d’uso e al modulo del compressore.

Questa analisi consiste nel valutare gli effetti sui risultati forniti da un modello, indotti da modifiche nei valori delle variabili di ingresso.

Si parla in genere di analisi per scenari futuri o di analisi *what if*, in quanto si va a valutare cosa cambia se cambiano i valori assunti dai parametri decisionali.

- Analisi di sensitività della Fase d’uso

	Variazione assorbimento energetico ( $\pm 10\%$ )	Variazione assorbimento energetico ( $\pm 5\%$ )
<b>Global warming [%]</b>	8	4

Tabella 9 Analisi di sensitività relativa all'impatto sul ciclo vita complessivo variando la Fase d'uso

L’obiettivo dell’analisi di sensitività è stato quello di capire quanto una variazione percentuale della fase d’uso possa influire sull’impatto dell’intero ciclo vita del Genesi secondo i quattro indicatori: *Global warming*, *Mineral resource scarcity*, *Water use* ed *Ecosystems*.

I dati più interessanti si riscontrano variando l’assorbimento energetico del Genesi corrispondente al  $\pm 10\%$  e ottenendo una variazione sull’impatto totale del ciclo vita pari a circa l’8% secondo l’indicatore *global warming*.



- Analisi di sensitività del modulo compressore

	Variazione modulo compressore ( $\pm 10\%$ )
<b>Global warming [%]</b>	0,1
<b>Mineral resource scarcity [%]</b>	0,7

Tabella 10 Analisi di sensitività relativa all'impatto del ciclo vita complessivo del Genesi 2022 variando il compressore

A differenza dei risultati ottenuti sull'impatto totale variando la fase d'uso, nell'analisi di sensitività eseguita sul modulo del compressore non si sono registrati significative variazioni sul ciclo vita complessivo. Infatti, variando del  $\pm 10\%$  l'impatto del compressore si ottiene una variazione sul ciclo vita poco significativa, che raggiunge al massimo un valore pari a 0,7% sull'indicatore *Mineral resource scarcity* in quanto nel compressore assumono più importanza gli indicatori legati all'impatto dei materiali piuttosto che altri.

La differenza dei risultati ottenuti nelle due analisi di sensitività sta nel diverso peso che assumono la Fase d'uso e il compressore sull'impatto dell'intero ciclo vita del frigorifero Genesi.

## Conclusioni

Realizzare un modello di società eco-sostenibile è di fondamentale importanza per la salvaguardia del pianeta e della vita stessa dell'umanità.

In questo contesto gioca un ruolo decisivo l'economia circolare che si basa sul ciclo vita dei prodotti, partendo dall'estrazione delle risorse primarie, passando per la fase di produzione ed uso fino alla fine del ciclo vita.

Per valutare gli impatti ambientali di un prodotto, processo o attività sull'intero ciclo vita risulta preziosa la metodologia LCA (*Life Cycle Assessment*).

L'analisi LCA è un mezzo che esprime in termini numerici il potenziale impatto ambientale sui diversi macrosistemi terrestri attraverso l'identificazione e la quantificazione dei consumi di materia, energia e delle emissioni nell'ambiente; permette inoltre di confrontare in modo quantitativo prodotti simili, di individuare e valutare le opportunità per diminuire gli impatti.

Nel caso studio si è usata la metodologia LCA per confrontare due modelli di refrigeratori prodotti da Electrolux: il Baseline 2020 e il Genesi 2022.

I risultati delle analisi generati dal software SimaPro hanno evidenziato notevoli miglioramenti in termini di impatto ambientale sul ciclo vita complessivo, sia da un punto di vista di riduzioni delle emissioni di gas ad effetto serra sia per la riduzione dell'assorbimento energetico, nel refrigeratore Genesi 2022 (-19%) rispetto al modello Baseline 2020.

I risultati mostrano come anche nel Genesi 2022 la fase maggiormente impattante sul ciclo vita complessivo coincide con la fase d'uso (82%), altri driver che assumono importanza sono la riduzione di *food waste* (4%), l'approvvigionamento dei componenti che comprende la parte elettrica ed elettronica (4%) e il compressore del refrigeratore (1,5%).

In riferimento ai driver più significativi presi in considerazione si sono riscontrati miglioramenti nella fase d'uso (-20%), nella riduzione di *food waste* (-100%) e nel modulo del compressore (-37%), ad eccezione della componente elettrica ed elettronica (+129%) che impatta maggiormente in seguito ad un aumento della massa.

Inoltre, nel presente elaborato sono stati analizzati anche gli aspetti derivanti da variazioni nel tempo del mix energetico e sugli effetti che tale variazione potrebbe avere nell'impatto ambientale del ciclo di vita del prodotto.

Infine, si sottolinea che uno studio LCA non determina in assoluto quale sia il prodotto migliore, ma fornisce solamente informazioni che possono essere utilizzate per prendere decisioni in modo maggiormente consapevole.

La sinergia tra imprese, consumatori e Istituzioni sarà decisiva nel raggiungimento degli obiettivi posti dall'Agenda 2030.

## Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento al Prof. Michele Germani per avermi dato l'opportunità di svolgere questo lavoro di tesi, per la disponibilità e professionalità dimostrata e per l'ottimo consiglio nella scelta del tirocinio.

Vorrei ringraziare l'Ing. Marta Rossi e la Dott.ssa Federica Cappelletti per avermi guidato nel percorso di tirocinio e per i loro preziosi consigli.

Vorrei ringraziare la Dott.ssa Francesca Manes che è stata il mio punto di riferimento per tutta la durata del tirocinio e mi ha aiutato nelle analisi, nella raccolta dati e nell'elaborazione dei risultati del progetto Electrolux.

Ringrazio gli amici dell'università per l'aiuto reciproco e con i quali ho condiviso momenti indimenticabili e trascorso intere giornate in facoltà tra lezioni, esercitazioni, studio ed esami in questi ultimi tre anni.

Un ringraziamento speciale ai miei genitori che con i loro sacrifici e il loro supporto mi hanno sempre sostenuto permettendomi di raggiungere questo traguardo importante.

## 4 Bibliografia

- [1] «Sostenibilità ambientale, lo sviluppo che rispetta il Pianeta,» 22 4 2020. [Online]. Available: <https://corporate.enel.it>.
- [2] C. Lobina, 26 6 2020. [Online]. Available: <https://www.italiachecambia.org>.
- [3] «Economia circolare,» [Online]. Available: [https://it.wikipedia.org/wiki/Economia\\_circolare](https://it.wikipedia.org/wiki/Economia_circolare).
- [4] E. E. Agency, «Gestione del ciclo di vita del prodotto-M. Germani,» [Online]. Available: <https://learn.univpm.it>.
- [5] M. d. t. ecologica. [Online]. Available: <http://consultazione-economiacircolare.minambiente.it>.
- [6] M. d. e. d. t. d. t. e. d. m. Ministero dello Sviluppo Economico, «Verso un modello di economia circolare per l'Italia,» 11 2017. [Online]. Available: <https://circulareconomy.europa.eu>.
- [7] ISPRA, «Rapporto dei rifiuti urbani,» 2016. [Online]. Available: <https://www.isprambiente.gov.it>.
- [8] C. Europea, «Green Deal europeo,» [Online]. Available: <https://ec.europa.eu>.
- [9] ONU, «Obiettivi per lo sviluppo sostenibile,» 9 2015. [Online]. Available: <https://unric.org>.
- [10] SETAC, «A Conceptual Framework for Life Cycle Assessment,» in *workshop record*, Sandestin, Florida, February, 1992.
- [11] «UNI EN ISO 14044. Environmental management, Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines». Ginevra: International Organization for Standardization (ISO) Brevetto ISO. (2006b).
- [12] «Electrolux,» [Online]. Available: <https://it.wikipedia.org/wiki/Electrolux>.

- [13] C. europea, «New EU energy labels,» [Online]. Available: <https://europa.eu>.
- [14] ENEA, «Analisi trimestrale del sistema energetico italiano,» [Online]. Available: <https://www.pubblicazioni.enea.it>.
- [15] D. Group, «Gestione del ciclo di vita del prodotto,» 12 3 2021. [Online]. Available: <http://www.learn.univpm.com>.