



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica

**ANALISI DI UN PROCESSO PRODUTTIVO PER MIGLIORARNE LA
SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE**

**ANALYSIS OF A PRODUCTION PROCESS TO IMPROVE ITS
ENVIROMENTAL SUSTAINABILITY**

Relatore: Chiar.mo

Prof. Michele Germani

Correlatori:

Ing. Roberto Menghi

Ing. Marta Rossi

Tesi di Laurea di:

Giuliano Aristotile

A.A. 2020 / 2021

Indice

Indice.....	I
Indice tabelle.....	II
Indice figure.....	II
Introduzione.....	1
1. Contesto attuale e scenari futuri.....	3
1.1 Sostenibilità ambientale.....	3
1.2 Impatto antropico.....	5
1.3 Prospettive future.....	6
2. Life Cycle Assessment.....	12
2.1 Le origini.....	12
2.2 Quando, come, perché usare LCA.....	14
2.3 Le fasi dell'analisi.....	14
2.3.1 Definizione dell'obiettivo e dell'ambito dell'analisi.....	15
2.3.2 L'analisi di inventario LCI e i database.....	16
2.3.3 L'analisi di impatto LCIA.....	18
2.3.4 Interpretazione dei dati.....	19
2.4 Criticità e limiti del metodo LCA.....	19
3. Caso studio: linee di assemblaggio pensili LUBE.....	24
3.1 Obiettivo dello studio.....	24
3.2 Unità funzionale.....	24
3.3 Confini del sistema.....	24
3.4 Metodo di calcolo e categorie di impatto.....	25
3.5 Analisi di inventario.....	26
3.6 Assunzioni e limiti.....	26
3.7 Linea non automatizzata "As Is".....	28
3.8 Line semi-automatizza "To Be".....	29

3.9 Analisi di impatto della linea “As Is”	30
3.10 Analisi di impatto della linea “To Be”	33
3.11 Confronto di impatto fra le linee “As Is” e “To Be”	37
3.12 Scenari di miglioramento per la linea “To Be”	39
3.13 Conclusioni	42
Bibliografia e sitografia	43

Indice tabelle

Tabella 1 EPD dei motori elettrici usati nelle due linee.....	27
Tabella 2 Aumento di impatto ambientale legato alla linea “To Be”	38
Tabella 3 Aumento di impatto della linea "To Be" modellata nello scenario 1	39
Tabella 4 Aumento di impatto della linea "To Be" modellata nello scenario 2	40

Indice figure

Figura 1 Andamento nel tempo dell’Earth Overshoot Day.....	4
Figura 2 Storico della popolazione mondiale totale.....	5
Figura 3 Andamento della produzione di CO ₂ dovuta ai combustibili fossili e alla produzione di cemento e andamento della temperatura media globale in riferimento alla media tra 1952 e il 1980	6
Figura 4 I 17 obiettivi di Agenda 2030	7
Figura 5 Obiettivi del Green Deal Europeo	8
Figura 6 Produzione di energia da fonti rinnovabili	9
Figura 7 Emissioni di CO ₂ totali e per capita di paesi industrializzati e in via di sviluppo.....	9
Figura 8 Evoluzione del metodo LCA negli anni	13
Figura 9 Fasi di un'analisi LCA	15
Figura 10 Utilizzo di biofuel per Nazioni dal 1989 al 2021	21
Figura 11 Rullo e nastro trasportatore.....	27

Figura 12 Layout "As Is"	29
Figura 13 Layout "To Be"	30
Figura 14 Impatto totale linea "As Is"	30
Figura 15 Impatto del manufacturing nelle linee superiore e inferiore.....	31
Figura 16 Impatto del manufacturing dei singoli elementi della linea Inferiore	32
Figura 17 Impatto del manufacturing dei singoli elementi nella linea Superiore.....	32
Figura 18 Impatto del manufacturing della struttura e dei rulli del convogliatore a rulli da 19.7 m.	33
Figura 19 Impatto totale della linea "To Be"	33
Figura 20 Impatto del manufacturing dei singoli componenti della linea "To Be"	34
Figura 21 Impatto del manufacturing dei componenti del convogliatore a nastro da 5.1m	35
Figura 22 Impatto del manufacturing dei componenti del ribaltatore a nastro.....	36
Figura 23 Impatto del manufacturing dei componenti del nastro trasportatore.....	36
Figura 24 Confronto impatto totale linea "As Is" "To Be"	37
Figura 25 Confronto fine vita linea "As Is" "To Be"	38
Figura 26 Confronto impatto totale linea "As Is" "To Be" "To Be Scenario 1"	40
Figura 27 Confronto impatto totale linea "As Is" "To Be" "To Be Scenario 2"	41

Introduzione

È ormai noto che il cambiamento climatico che sta sconvolgendo il globo è dovuto in maniera preponderante (IPCC 2006) all'impatto antropico, intendendo la totalità degli effetti che l'attività umana genera volontariamente o meno sull'ambiente circostante.

Per evitare che l'aumentare delle emissioni di gas serra faccia salire la temperatura media globale oltre 1.5° C entro il 2050, gran parte degli Stati è consapevole che è di grande importanza cercare di ridurre il più possibile la *carbon footprint* della totalità delle attività umane.

È quindi palese che preservare e salvaguardare le risorse mondiali da un depauperamento eccessivo ed evitare di continuare ad inquinare ai livelli sostenuti negli ultimi decenni è un tema che deve interessare cittadini, aziende ed istituzioni, affinché le generazioni future, intese come tutti coloro che ci seguiranno, possano raggiungere i livelli di benessere ed autodeterminazione attuali.

Da quanto suddetto, nasce la necessità di trovare soluzioni razionali ai problemi che ci aspettano e mezzi che ci permettano di individuare i fattori critici e di maggior impatto a livello ambientale per intervenire con precisione e consapevolezza, evitando di spostare il carico ambientale di un prodotto/processo da una zona ad un'altra o da un settore ad un altro.

Ed è proprio in questo contesto di urgenza nel trovare soluzioni adeguate che si inserisce la metodologia *Lyfe Cycle Assessment* (LCA) che, con la sua natura quantitativa, misura il carico ambientale di un processo/prodotto permettendoci di scegliere la migliore alternativa possibile, ponendosi come guida per le scelte di governi e aziende.

Le analisi LCA tengono conto, in generale, dell'impatto ambientale di un prodotto dalla culla (*cradle*), ovvero dall'estrazione e approvvigionamento delle materie prime, alla tomba (*grave*), ovvero lo smaltimento dell'oggetto dell'analisi, passando per le fasi di produzione, trasporto e fase d'uso, considerandone anche un possibile riutilizzo nell'ipotesi di un'analisi *cradle to cradle*.

Il principale punto di forza di questo tipo di analisi è la capacità di tener conto dell'impatto di centinaia se non migliaia di prodotti o processi diversi che hanno luogo, spesso, agli antipodi della terra, vista la natura multinazionale del commercio moderno.

Nel primo capitolo della tesi introdurremo alcune tematiche relative alla sostenibilità ambientale, al contesto attuale e futuro e daremo un'occhiata alla normativa UE e ai metodi di analisi per la valutazione dell'impatto ambientale.

Nel secondo capitolo andremo ad introdurre la metodologia LCA, dando uno sguardo a come è nata e si è sviluppata fino a diventare il mezzo prediletto per le valutazioni di impatto ambientale. Andremo poi a descriverne nel dettaglio le fasi e i punti di forza ed evidenziandone i limiti e le criticità. Infine, daremo uno sguardo ai software e i database che assistono i ricercatori nello studio delle problematiche di ecosostenibilità.

Una volta introdotti i mezzi di analisi necessari al caso studio, nel terzo capitolo andremo a descrivere nel dettaglio l'applicazione del *Lyfe Cycle Assessment* alla linea di assemblaggio pensili della LUBE nelle due configurazioni da studiare, una non automatizzata attualmente funzionante e una semi-automatizzata di futura installazione, andando ad individuare gli elementi critici per entrambe sia a livello di materiali e produzione sia a livello della fase d'uso.

Infine, andremo a confrontare le prestazioni di ecosostenibilità delle due linee sia per il contesto del *Material & Manufacturing* sia per lo scenario di *End of Life*, cercando poi di migliorare gli aspetti critici della linea che risulterà peggiore dal punto di vista ambientale, ipotizzando due scenari di miglioramento differenti e andando a giustificare con i dati dell'analisi qual è la via migliore da percorrere, non solo dal punto di vista ambientale, ma anche per la sfera della massimizzazione dell'output produttivo e del benessere dell'operatore.

1. Contesto attuale e scenari futuri

In questo capitolo andremo a dare un'occhiata alla situazione attuale, spiegando cosa si intende per sostenibilità ambientale e qual è il ruolo delle attività umane in relazione all'incremento di inquinanti dell'aria e nell'acqua, al consumo di suolo e alla deforestazione e alla produzione di rifiuti solidi, per poi andare a esaminare quali sono gli scenari futuri e quali sono gli strumenti che l'Europa e il Mondo stanno mettendo in campo per cercare di arginare la crisi e realizzare una crescita economica che non vada ad compromettere ulteriormente il sistema Pianeta.

1.1 Sostenibilità ambientale

Nel 1987, la Commissione Mondiale per lo Sviluppo e l'Ambiente delle Nazioni Unite pubblicò il report *Our Common Future*, divenuto poi celebre come rapporto *Brundtland*, dal nome del presidente della commissione Gro Harlem Brundtland.

Il rapporto cercava, da un lato, di dare una risposta alle crescenti disuguaglianze fra Nord e Sud del mondo e dall'altro puntava i riflettori sullo stress eccessivo che il modello di sviluppo su cui era concepita la società del tempo esercitava sugli ecosistemi globali.

Da qui la consapevolezza che lo sviluppo del Sud del mondo, che non poteva essere rimandato ulteriormente, e la conservazione del grado di benessere del Nord non potevano essere raggiunti se non attraverso uno "sviluppo sostenibile".

Nonostante il concetto fosse già noto dal 1980, il report *Our Common Future* ne diede la definizione più conosciuta "*development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs*" (sviluppo che incontra i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle future generazioni di far fronte alle proprie necessità) e fece sì che la comunità mondiale prese coscienza della necessità di attuare uno sviluppo sostenibile.

La sostenibilità può essere vista come un mix, variabile, dei seguenti quattro fattori:

- **Misure di Welfare:** bisogna che si raggiungano determinati livelli di benessere, felicità, aspirazione futura per tutte le popolazioni
- **Equità intergenerazionale:** i livelli di Welfare attuali non devono diminuire per le generazioni future, quindi lo sviluppo attuale non può "consumare" la totalità delle risorse disponibili

- Equità intragenerazionale: il modello di sviluppo per essere davvero sostenibile deve prevedere che vi sia equità sia fra popoli diversi sia all'interno di una singola popolazione
- Equità interspecie: spesso il concetto di sostenibilità ha prettamente aspetti antropocentrici, così come nella definizione del 1987, sarebbe, tuttavia, giusto considerare il benessere delle specie a cui l'umanità è legata, in modo diretto e no.

Affinché si raggiunga un vero sviluppo sostenibile è necessario, innanzitutto, cercare di preservare le risorse di materie prime e di combustibili fossili che il Pianeta ci offre. Questo è un punto cruciale e non trascurabile, infatti, andando a guardare l'andamento dell'Overshoot Day (giorno dell'anno in cui l'umanità consuma le risorse che il pianeta produce in un anno) dall'anno della sua istituzione, nel 1971, la data è andata via via allontanandosi dal 31 dicembre, a parte per alcuni periodi degli anni '80 e per l'anno 2020 causa pandemia di Covid-19, fino ad arrivare al 29 luglio per l'anno 2021 (figura 1).

Questo ci fa capire che negli ultimi quarant'anni l'umanità ha vissuto al di sopra delle proprie possibilità, consumando più di quello che la terra produce ed andando ad erodere costantemente quelle che erano le riserve accumulate.

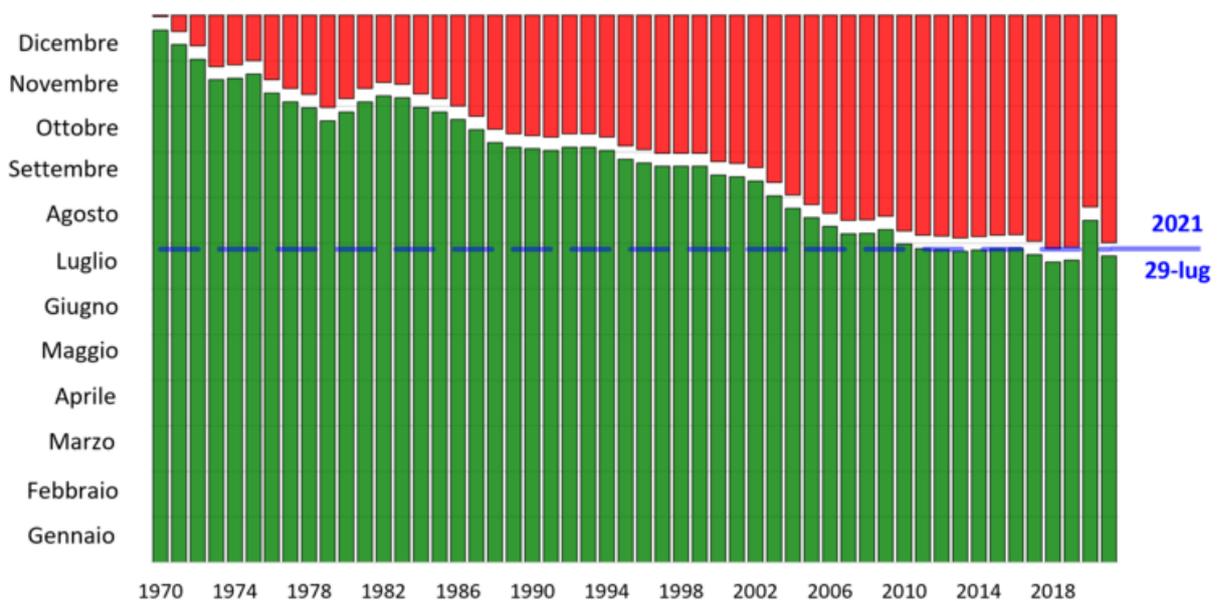


Figura 1 Andamento nel tempo dell'Earth Overshoot Day

Per fare in modo di preservare al meglio le risorse globali vanno attuate una molteplicità di comportamenti virtuosi, tra i quali citiamo:

- Adottare fonti di energia rinnovabili e sostenibili per permettere un graduale e permanente abbandono dei combustibili fossili
- Educare i cittadini ad un consumo e ad un utilizzo dei mezzi di trasporto consapevole
- Efficientamento energetico di edifici ad uso privato e pubblico
- Abbandonare imballaggi eccessivi e di natura non degradabile a favore di packaging compostabile
- Riciclo e riutilizzo dei beni
- Produzione agroalimentare sostenibile

1.2 Impatto antropico

È stato ormai acclarato che l'impatto delle attività umane sugli ecosistemi circostanti è la causa principale dell'innalzamento della temperatura media globale, conseguenza dell'aumento dell'emissione dei gas serra dal 1950 ad oggi, dovuta all'industrializzazione crescente nel secondo dopoguerra.

L'aumento della popolazione, che è passata da 2.72 miliardi del 1954 ai 7.87 del 2021 (figura 2), ha decretato un incremento della produzione alimentare mondiale, del consumo di combustibili fossili, di produzione di energia elettrica, uso di acqua e cementificazione, produzione di beni di consumo ecc.

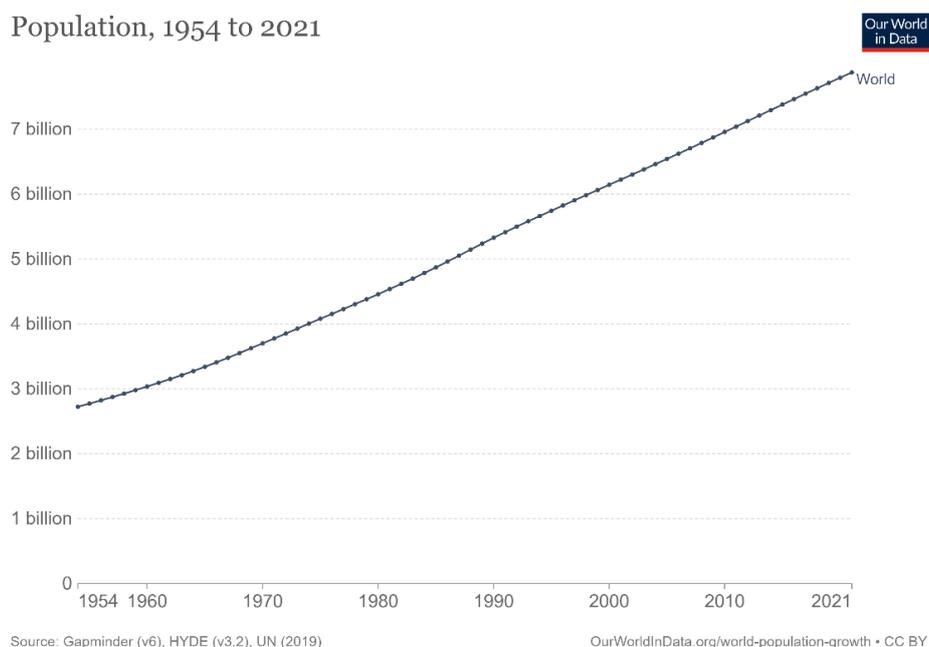


Figura 2 Storico della popolazione mondiale totale

La massiccia antropizzazione della superficie terrestre si è riflessa in un incremento esponenziale delle emissioni globali di gas serra e in particolare di anidride carbonica, si è passati dai 6 milioni di tonnellate di CO₂ prodotte nel 1950 ai 36.7 del 2019 con un decremento nel 2020 imputabile sostanzialmente alle misure di contenimento della pandemia di Covid-19.

Questo aumento inesorabile si è tradotto in un aumento costante della temperatura media globale e in uno sconvolgimento del clima con eventi atmosferici estremi sempre più frequenti e di gravità crescente.

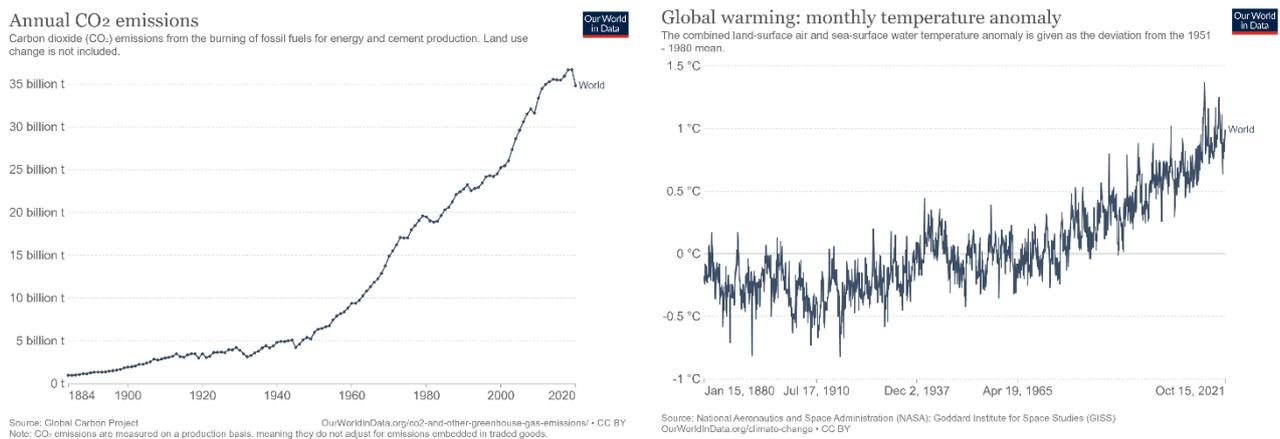


Figura 3 Andamento della produzione di CO₂ dovuta ai combustibili fossili e alla produzione di cemento e andamento della temperatura media globale in riferimento alla media tra 1952 e il 1980

L'aumento di temperatura che inizia a registrarsi dopo il 1965 corrisponde all'incremento esponenziale delle emissioni di CO₂. (figura 3)

1.3 Prospettive future

La necessità di un'azione coordinata e tempestiva è un concetto assimilato dalle istituzioni e dai governi mondiali che ha prodotto negli anni vari documenti e risoluzioni, sia da parte delle Nazioni Unite sia da parte dell'Unione Europea.

Tra le tante citiamo Agenda 2030 ratificata da tutti i 193 paesi dell'ONU il 25 settembre 2015, che prevede 17 obiettivi da raggiungere entro il 2030 che spaziano da temi di equità sociale ed economica a temi di sostenibilità ambientale e transizione energetica.

Questa fu l'approdo finale di un lungo percorso partito nel 1972 a Stoccolma con la conferenza ONU sull'ambiente umano, passando per la già citata Commissione Brundtland del 1983 e il Summit della Terra (UNCED) di Rio de Janeiro del '92, noto come Programma 21, per finire con il gruppo di lavoro

formato nel 2013 che, dopo 13 riunioni di lavoro, presentò quelli che poi andranno a configurarsi come i 17 punti e 169 target del documento di Agenda 2030.



Figura 4 I 17 obiettivi di Agenda 2030

A livello Europeo, invece, vogliamo citare il *Green Deal Europeo* che prevede di raggiungere la neutralità climatica in Europa entro il 2050 con l'obiettivo di ridurre del 50% le emissioni di gas serra entro il 2030. Il piano prevede un'azione a trecentosessanta gradi, agendo su economia, edilizia, biodiversità, agricoltura e innovazione tecnologica e prevedendo meccanismi di disincentivo come una *carbon tax* per i paesi che non abbattano le emissioni allo stesso ritmo degli altri stati membri.

Gli obiettivi del piano di ecosostenibilità europea comprendono:

- Realizzazione di un'economia circolare
- Controllo e revisione dei sistemi di controllo delle emissioni
- Strategia "dal produttore al consumatore"
- Revisioni fiscali su incentivi e sovvenzioni ai combustibili fossili
- Transizione ad una mobilità sostenibile sia privata che pubblica
- Piano foreste: rimboschimento, tutela e recupero del patrimonio boschivo e degli ecosistemi UE

Per finanziare gli obiettivi del *Green Deal Europeo* la Commissione Europea ha stabilito un piano di finanziamento – *InvestEU* – che prevede un investimento di almeno un trilione di euro nel prossimo decennio per spingere le aziende verso modelli di produzione sostenibili, decarbonizzare il sistema energetico europeo, efficientare dal punto di vista energetico gli immobili esistenti e spingere il settore edilizio ad utilizzare materiali maggiormente sostenibili e maggiormente isolanti, per avere un'efficienza energetica media degli edifici crescente nel tempo, evitare lo spreco alimentare e permettere la riforestazione.

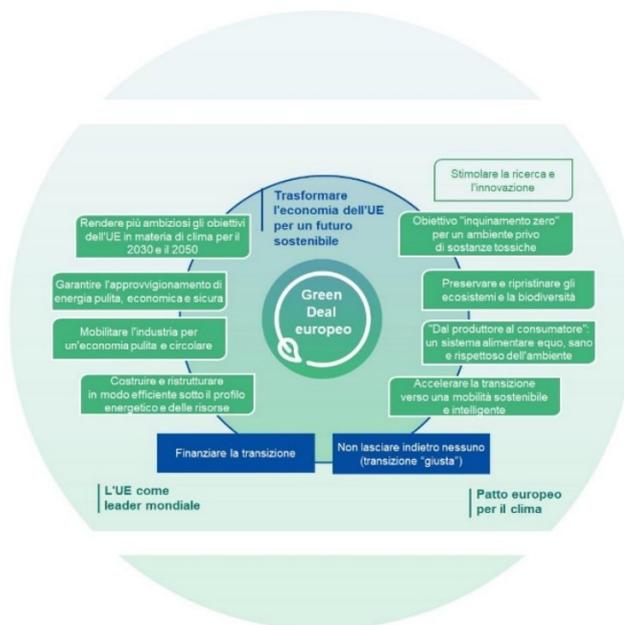


Figura 5 Obiettivi del Green Deal Europeo

La preoccupazione principale si focalizza sulla parte di transizione energetica, infatti il 75% delle emissioni di CO₂ interne all'Unione Europea è dovuto alla produzione e uso di energia. Per questo si sta cercando un aumento considerevole della percentuale di energia prodotta da energia rinnovabile, che nel 2019 si attestava al 17.5% (figura 6), con l'obiettivo di arrivare al 40% entro il 2050.

Va fatto notare, inoltre, che a livello mondiale vi è un certo grado di scontro tra paesi cosiddetti sviluppati e in via di sviluppo, in quanto questi ultimi rivendicano un "diritto" ad inquinare per avere una spinta propulsiva maggiore nella crescita economica. Discrepanza di vedute che si è manifestata anche all'ultimo incontro globale sul clima, COP26, tenutosi a Glasgow dal 31 ottobre al 12 novembre 2021. Il primo ministro Indiano, Narendra Modi, ha dichiarato che l'India raggiungerà gli obiettivi proposti ma solo per il 2070, per non compromettere la crescita economica del paese, il presidente cinese Xi Jinping ha proposto come fronte temporale il 2060 e ha criticato apertamente il

comportamento dei paesi ricchi che non hanno investito quanto promesso (100 miliardi di dollari annui) per la transizione nei paesi più poveri.

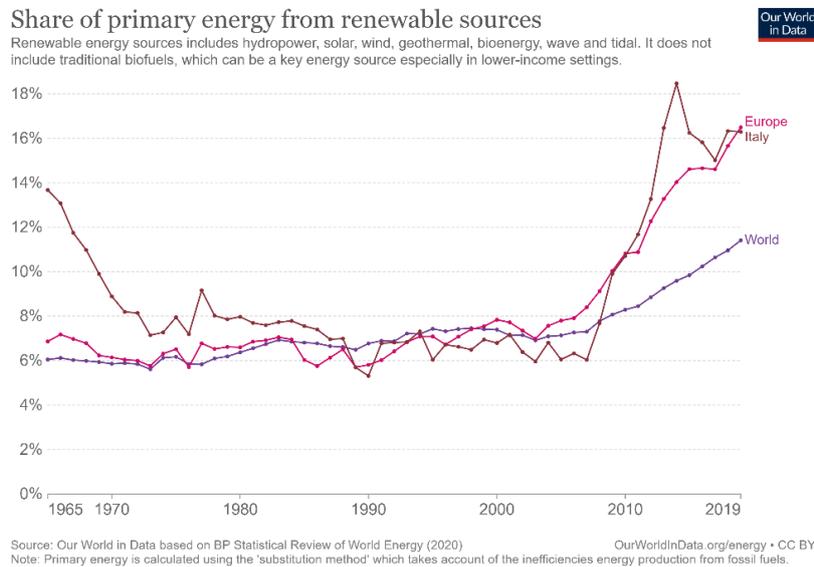


Figura 6 Produzione di energia da fonti rinnovabili

Infatti, è lo stock totale di CO₂ emessa che determina gli effetti di riscaldamento globale e per tutto il XX secolo i maggiori contributori all'inquinamento sono stati gli stati occidentali come USA e paesi dell'area UE, con gli Stati Uniti che rimangono ancora saldamente in cima come maggiori inquinatori per capita, seppur in netta diminuzione rispetto agli anni precedenti (figura 7). Mentre i paesi in via di sviluppo registrano un'impennata nelle emissioni per capita e totali a partire dalla fine del secolo scorso.

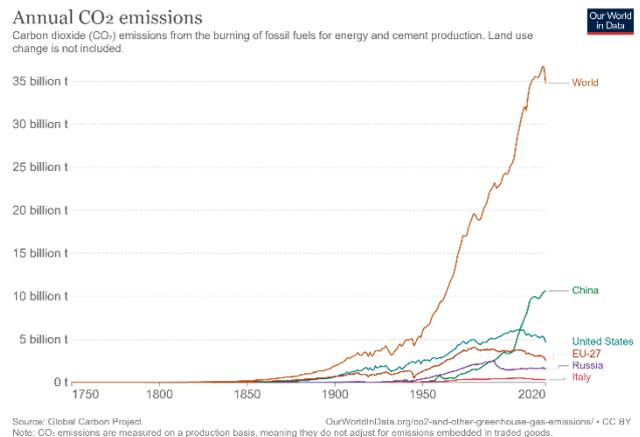
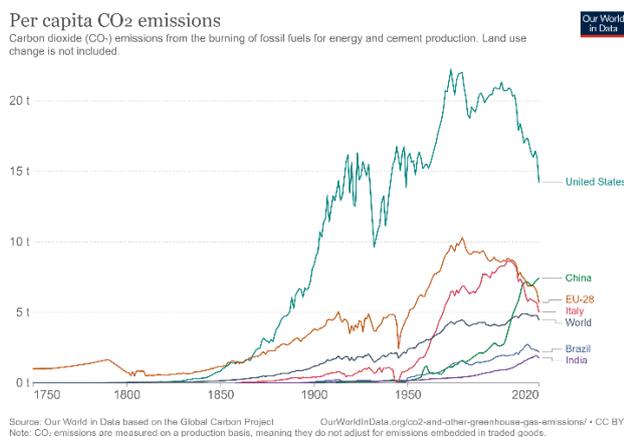


Figura 7 Emissioni di CO₂ totali e per capita di paesi industrializzati e in via di sviluppo

Per concludere questo sguardo su ciò che possiamo aspettarci dagli anni che ci attendono è doveroso citare il movimento *Fridays For Future*, che chiede a gran voce un cambio di passo repentino nelle politiche *green*. Composto in gran parte da giovani, nato come protesta contro i grandi leader mondiali e le grandi multinazionali, accusati di non agire abbastanza in fretta per affrontare gli effetti del *climate change* e per tener fede agli obiettivi degli accordi di Parigi, il movimento tiene alta l'attenzione su temi del cambiamento climatico e protestando in molte piazze per chiedere che non si comprometta il futuro delle nuove generazioni.

Da quanto suddetto, è chiaro come il problema della sostenibilità, dell'abbattimento delle emissioni e dell'impatto antropico in generale, è un tema che deve tener conto di molte sensibilità differenti e spesso contrastanti: i paesi occidentali vorrebbero raggiungere risultati ambiziosi velocemente senza compromettere però il benessere fin qui ottenuto, i paesi in via di sviluppo vorrebbero poter ottenere risultati più a lungo termine per poter raggiungere i livelli di sviluppo dei paesi più ricchi, infine gli attivisti per l'ambiente vorrebbero un cambio di passo deciso, rinunciando a modelli di sviluppo consumistici e attuando scelte drastiche e che guardano al futuro, che potrebbero portare a risultati anche i pochi anni.

Le decisioni che andranno prese nei prossimi anni dovranno, quindi, tener conto di tutti gli aspetti precedentemente illustrati, coniugando necessità di paesi e gruppi sociali anche diametralmente opposti. LCA è uno strumento che può aiutare a determinare gli scenari migliori e guidare le scelte di governanti e aziende, così da porre un freno ai cambiamenti climatici che stanno avvenendo sempre più rapidamente.

Nel prossimo capitolo andremo a descrivere nel dettaglio le fasi di un'analisi LCA e a metterne in evidenza punti di forza e criticità.

2. Life Cycle Assessment

In questo capitolo daremo uno sguardo alla storia della LCA e a come questa tecnica di analisi è andata via via sviluppandosi, ponendosi infine, nella sua forma finalmente standardizzata, come metodo privilegiato nelle valutazioni ambientali a livello Europeo e Mondiale.

Andremo poi ad esporre come, quando e perché le tecniche LCA sono utili e daremo una descrizione completa delle fasi di cui essa si compone; verranno fatti cenni ai vari database e software che rendono possibili le analisi complesse che oggi giorno vengono svolte.

Infine, discuteremo delle criticità e dei limiti inevitabili che affliggono questa tipologia di analisi per poi illustrare un esempio in cui l'uso di LCA ha avuto un ruolo cruciale.

2.1 Le origini

L'embrione che poi porterà alla nascita di LCA emerge dalla collaborazione tra industria e Università Nord Americane all'incirca negli anni '60 del Novecento, quando la preoccupazione per l'inquinamento ambientale e la scarsità di materie prime e fonti di energia alternative a quelle fossili inizia a farsi pressante.

Il primo studio che può essere ricondotto ad una metodologia LCA è, infatti, lo studio presentato da Harold Smith, dirigente della canadese Douglas Point Nuclear Generating Station, nel 1964 al World Energy Conference sul consumo di energia e di materie prime

Inizialmente focalizzatosi sull'industria degli imballaggi, LCA era uno strumento usato prettamente a scopo interno dalle industrie e aveva un approccio quantitativo sui flussi di materiali coinvolti nel processo in studio, comparando, nel caso degli imballaggi di bevande, il diverso impatto dei vari materiali utilizzabili nella realizzazione delle bottiglie. È del 1969 lo studio comparativo di Coca-Cola Company per individuare il materiale a minor impatto per la produzione di contenitori per bevande.

Negli anni '70 la metodologia trova terreno fertile nell'imprenditoria statunitense e nordamericana in generale e iniziano a porsi le basi metodologiche con un approccio ai flussi di tipo input/output, ed è proprio in questi anni che viene pubblicato il primo studio *peer reviewed* e pubblico commissionato dall'*Environmental Protection Agency* (EPA), ente statunitense per la protezione ambientale.

Durante tutto il decennio successivo LCA andò in contro ad una maturazione dal punto di vista dei mezzi e delle metodologie e si fece strada all'interno del contesto europeo, dove venne utilizzato per valutare un problema relativo agli imballaggi per la commercializzazione del latte.

LCA vide la definitiva consacrazione a metodo prediletto di analisi di ecosostenibilità durante gli anni '90, tuttavia la mancanza di una normativa comune si rifletteva in un continuo cambio di focus delle analisi, che passavano dal ritenere fondamentale la produzione di rifiuti solidi alla necessità di considerare prioritaria la scarsità di combustibili fossili, lasciandosi trascinare dall'opinione pubblica e dal sentimento politico. Inoltre, la crescente complessità degli inventari, utilizzati per portare a termine gli studi e le analisi sul ciclo di vita dei prodotti, determina la necessità di creare database appositi che contemplan la maggior parte degli aspetti caratterizzanti le analisi LCA, quali impatto in termini di CO2 equivalente, consumo di suolo, acidificazione dell'acqua, ecc. e la necessità di avere software dedicati che possano gestire la grande mole di dati che andava concretizzandosi. Questa tendenza porterà, agli inizi degli anni '90, allo sviluppo delle prime versioni dei due più comuni software per LCA: SimaPro e GaBi e, nel 2003, alla pubblicazione del primo database ECOINVENT, ormai uno standard a livello mondiale per quello che riguarda le analisi LCA.

Questa problematica fu affrontata pubblicando inizialmente la ISO 14040 del 1997, che offriva dei principi comuni a cui fare affidamento e un'impalcatura teorica da seguire, seguita a stretto giro dalla ISO 14041 del 1998 e dalle ISO 14042 e 14043 del 2000, per poi avere un'unificazione delle normative esistenti nelle normative ISO 14040 e 14044 del 2006

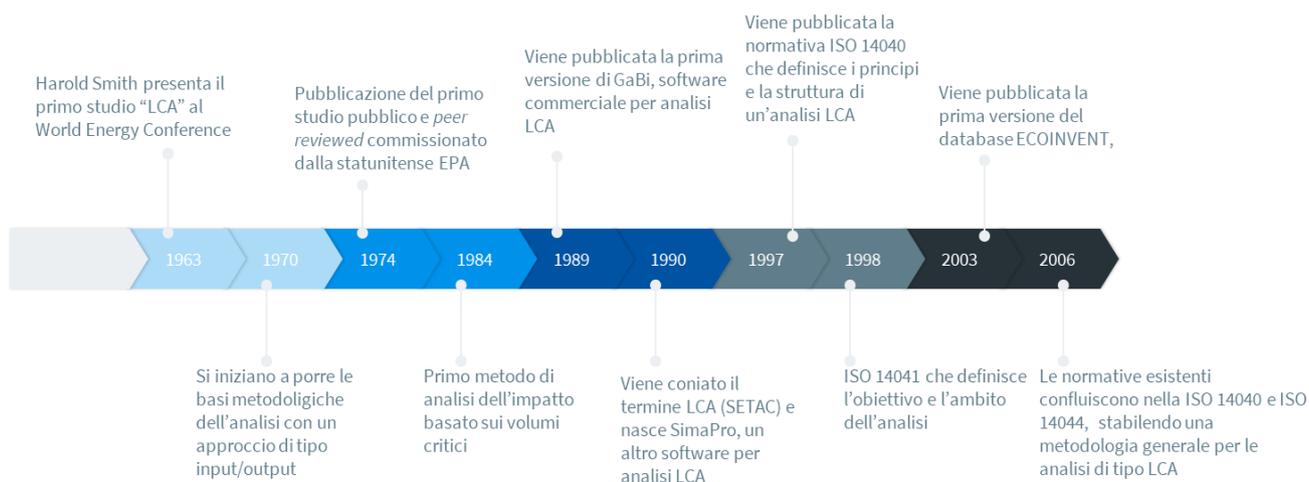


Figura 8 Evoluzione del metodo LCA negli anni

2.2 Quando, come, perché usare LCA

Le analisi del ciclo di vita del processo/prodotto, data la loro natura quantitativa, sono utili ogni qual volta è necessario prendere decisioni che riguardano alternative anche molto differenti fra di loro, questo non solo a livello normativo ma anche e soprattutto a livello decisionale all'interno delle grandi aziende.

LCA quantizza il carico ambientale che un processo/prodotto porta con sé, rendendolo così facilmente comparabile con eventuali sostituti, inoltre raggruppa i flussi di input/output simili fra loro rendendo così possibile l'individuazione delle eventuali criticità al livello di impatto ambientale, potendo intervenire su singoli elementi del processo così da migliorarne le prestazioni a livello ambientale

Affinché LCA sia efficace essa andrà applicata seguendo rigorosamente le fasi che le norme ISO 14040 e 14044 del 2006 prescrive, queste, tuttavia, non vanno intese come compiti da svolgere pedissequamente e cronologicamente uno dopo l'altro, piuttosto come elementi che andranno ad influenzarsi l'un l'altro.

Infatti, una volta elaborata una prima versione dell'analisi, si andrà ad intervenire in uno o più degli step precedenti per affinare e migliorare l'analisi iniziale, così da tener conto di tutti gli aspetti che si erano decisi essere fondamentali per la buona riuscita dell'analisi ed in modo da ottenere risultati robusti dal punto di vista tecnico e

2.3 Le fasi dell'analisi

Un'analisi LCA ben eseguita consta categoricamente delle seguenti quattro fasi:

1. Definizione dell'obiettivo e dell'ambito dell'analisi;
2. Analisi di inventario LCI;
3. Analisi di impatto LCIA;
4. Interpretazione dei risultati.

In questo e nei paragrafi seguenti andremo a descrivere le fasi sopra elencate che poi andremo ad applicare nel capitolo 3.

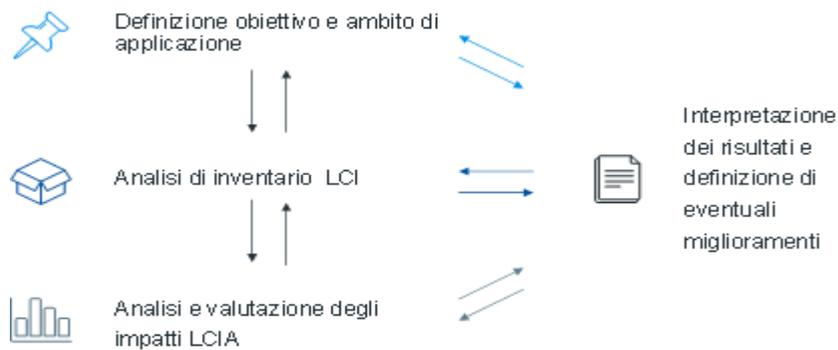


Figura 9 Fasi di un'analisi LCA

2.3.1 Definizione dell'obiettivo e dell'ambito dell'analisi

All'inizio dell'analisi è fondamentale definire con precisione qual è l'obiettivo dello studio, il pubblico a cui è rivolto, i limiti che si intendono tenere in considerazione riguardo alla qualità dei dati e le scelte metodologiche che si intendono portare avanti.

Fondamentale è definire l'unità funzionale cioè il prodotto, il servizio, il processo che sarà oggetto dello studio e con cui si normalizzeranno tutti i risultati in ingresso e in uscita; ad esempio, se il nostro studio fosse focalizzato a decidere quale sia il materiale migliore per produrre bottiglie di plastica, la nostra unità funzionale sarebbe la capacità di un contenitore di accogliere del liquido, tenerlo al riparo da fonti di luce e di odore, renderlo trasportabile senza spillamenti di alcuna sorta, ecc., di conseguenza qualsiasi materiale formabile in un contenitore, come vetro, tetra pak, alluminio ecc., che abbia le caratteristiche suddette rappresenta un'alternativa di cui studiarne l'impatto ambientale e con cui confrontare la nostra bottiglia di PET.

Il pubblico a cui è rivolto lo studio influenza, altresì, lo svolgimento dell'analisi. Infatti uno studio prodotto ad uso interno di un'azienda, ad esempio per direzionare nella maniera più conveniente a livello ambientale la produzione di un prodotto o il miglioramento di un processo produttivo, può essere svolto in maniera semplificata, tenendo in considerazione quelli che sono gli aspetti critici che l'azienda in questione intende andare a sondare, mentre uno studio volto a guidare scelte normative deve essere il quanto più completo possibile, per evitare miglioramenti di impatto in un settore a scapito di altri.

I dati raccolti e la loro qualità sono di fondamentale importanza, questi possono essere ottenuti in maniera diretta, ricavati da letteratura di settore o derivati da stime e valori medi, quest'ultima tipologia di dati risente sempre delle ipotesi semplificatorie utilizzate nell'ottenerli.

La scelta dei limiti del sistema che si analizzerà è ovviamente uno dei tasselli cruciali che si incastra nella nostra analisi di impatto. Infatti, dobbiamo decidere se la LCA andrà a considerare un ciclo di vita "cradle to grave", dalla culla alla tomba, che prende in considerazione il prodotto dalla raccolta delle materie prime per la sua produzione fino al suo fine vita e dismissione, oppure un approccio "cradle to cradle", dalla culla alla culla, in cui l'analisi si prefigge l'obiettivo di tener conto anche della parte di riciclo o riuso del prodotto e quindi seguirlo fino alla sua "nuova vita".

2.3.2 L'analisi di inventario LCI e i database

Una volta completata la definizione dell'unità funzionale, l'ambito di interesse, i limiti che ci si autoimpone o che ci sono imposti dalle condizioni esterne, il pubblico di interesse dell'analisi; queste ci serviranno per modellare il sistema in studio attraverso la collezione di dati di interesse per il caso in analisi.

L'analisi di inventario è la parte più difficoltosa e dispendiosa in termini di tempo, obiettivo è raccogliere tutti i dati relativi ad ogni prodotto/processo e organizzarli in flussi di input/output.

I flussi di input si riferiscono all'estrazione di materie prime, energia elettrica usata nel processo, i mezzi di trasporto utilizzati per movimentare semi-lavorati e prodotti finiti mentre i flussi in output tengono conto delle immissioni in atmosfera di gas serra, della produzione di inquinanti delle falde acquifere, del consumo di suolo, produzione di rifiuti solidi, di rifiuti tossici e via discorrendo.

L'analisi di inventario, quindi, deve servire a creare una matrice, o tabella, di dati in cui gli input e gli output sono bilanciati tramite il principio di conservazione dell'energia, se in ingresso entrerà una certa quantità di energia sottoforma di massa o energia elettrica questa sarà compensata dall'emissioni di gas o calore o rifiuti solidi.

Affinché l'analisi di inventario sia valida è fondamentale considerare la qualità dei dati immessi: per dati primari, ottenuti tramite misurazione diretta, è necessario tener conto dell'inevitabile fluttuazione statistica delle misure e degli eventuali errori commessi nell'atto della misurazione; e per dati non primari è importante considerare che questi sono stati ottenuti tramite ipotesi semplificative, letteratura di settore, o tramite medie statistiche.

Bisogna quindi riferirsi alle giuste tecnologie di produzione relative al processo/prodotto, considerare l'età dei dati usati o raccolti, e nel caso di dati obsoleti modificarne la natura o raccoglierne di nuovi, in modo tale da avere un dataset realmente rappresentativo dell'oggetto in studio e che ci permetterà un'analisi il più possibile precisa e ancorata alla realtà dei fatti.

Premesso tutto ciò, per svolgere con la dovuta semplicità e libertà di scelta l'analisi di inventario ci vengono in aiuto database standardizzati, ormai molto completi dal punto di vista della quantità e qualità dei dati disponibili, presenti in software per LCA quali SimaPro e GaBi.

ECOINVENT e i software per LCA

In questo breve paragrafo andremo a dare una veloce descrizione di come i database come ECOINVENT si siano sviluppati, di come si sono integrati con i software e di come siano ad oggi il miglior alleato possibile per una analisi di impatto a tutto tondo e che non tralasci aspetti fondamentali che potrebbero sfuggire modellando, volta per volta, set di dati autonomi per ogni ricerca od analisi.



Figura 7 Una delle prime versioni di SimaPro e il logo di GaBi

GaBi è un software prodotto dalla thinkstep, fondata da un gruppo di ricercatori ed esperti dell'università di Stoccolma, e fu il primo ad essere commercializzato nel 1989, mentre SimaPro, prodotto dalla PRé, nacque dall'esigenza di Mark Goedkoop di trovare un modo per permettere analisi LCA più semplici così da contribuire positivamente al cambiamento del mondo. PRé, inoltre, si occupò di sviluppare metodi di analisi che permettessero di accorpare i risultati in un numero gestibile di indicatori, ne citiamo alcuni quali Eco-indicator 95 e 99, CML 2000 e ReCiPe nella versione 2008 e 2016, quest'ultima la troviamo integrata, insieme ad altri metodi, nelle versioni attuali.

Nei primi anni '90 organizzazioni e istituti svizzeri iniziarono a creare e pubblicare differenti datasets per LCI, tuttavia spesso utilizzando dati differenti per descrivere lo stesso prodotto o servizio. Nacquero così iniziative volte ad armonizzare i dataset esistenti e ad integrarli con nuove informazioni così da avere descrizioni univoche per ogni prodotto/servizio. Da una di queste iniziative nacque il database BUWAL250, un insieme di dataset sulla catena di rifornimento svizzera

nell'ambito del packaging, i cui dati rappresentavano anche situazioni europee, per cui, nonostante fosse in lingua tedesca, venne utilizzato anche per analisi EU.

Contestualmente alla creazione di BUWAL, tra il 1992 e il 1996, la collaborazione fra ETH Zürich e PSI portò alla creazione di un database che includeva dati su energia, trasporti e servizi di trattamento dei rifiuti.

Alla fine degli anni '90 la richiesta di dataset come quelli di BUWAL e ETH/PSI crebbe e fu così che nacque l'idea del progetto ECOINVENT che aveva i seguenti obiettivi:

- Creare un database comune, *future-oriented* per LCI
- Avere un interfaccia *user-friendly*
- Avere un formato comune per lo scambio dei dati

Inoltre, il progetto si occupò di tradurre in inglese (la lingua scelta per il DB) i dati già esistenti, di creare nuovi dataset e di progettare un software di gestione. Questo portò, come detto precedentemente, alla pubblicazione, nel 2003, della prima versione di ECOINVENT.

2.3.3 L'analisi di impatto LCIA

Una volta modellato il sistema attraverso i dati ottenuti durante l'analisi di inventario, si procede a valutare l'impatto dei singoli elementi del dataset attraverso indicatori che sono tipici per ogni metodo scelto

In questa fase, solitamente, si è assistiti da un software di calcolo (Gabi, Simapro, Umberto[®], openLCA) che aggrega i risultati dell'analisi LCA come flussi in ingresso e in uscita e li normalizza in grandezze, definite Eco-indicatori. Il metodo valuta differenti tipi di danno ambientale quali lo sfruttamento delle risorse necessarie in input al prodotto/processo, l'impatto sulla qualità di vita delle persone e degli esseri viventi, il danno causato agli ecosistemi.

Una volta inserito in maniera corretta i dati ottenuti nella fase di inventario, il software permette di visualizzare, con strutture ad albero (o rete), l'impatto dei singoli componenti e dei processi produttivi coinvolti e di capire quali sono i fattori critici nell'analisi, nonché di capire eventuali sovrastime o sottostime di alcuni elementi e andare ad intervenire correggendo alcune scelte di inventario

2.3.4 Interpretazione dei dati

Una volta terminate le fasi precedenti si passa finalmente a valutare, discutere e controllare i dati ottenuti in output dal programma di analisi in accordo con l'obiettivo dello studio, il pubblico a cui è rivolto, i confini del sistema e con tutte le assunzioni fatte.

Si individuano quelli che sono gli elementi critici di impatto e su cui si può andare ad intervenire per migliorare l'ecosostenibilità del processo, ipotizzando scenari di miglioramento che prendano in oggetto l'utilizzo di materie prime riciclate, uso di fonti rinnovabili, efficientamento dei processi produttivi, riciclo dei componenti del fine vita ecc., si andrà quindi a compiere una nuova analisi con gli scenari ipotizzati per valutare l'effettivo beneficio o meno delle modifiche consigliate.

2.4 Criticità e limiti del metodo LCA

Sebbene il metodo *Lyfe Cycle Assessment* abbia indiscutibili qualità nel valutare a tutto tondo la sostenibilità di un prodotto o di un servizio, ha alcune limitazioni e criticità che vanno messe in conto quando si effettuano analisi di questo tipo.

Innanzitutto, il metodo risente della qualità dei dati in input e delle ipotesi fatte, che sono di per sé di natura soggettiva, da cui la possibilità che due analisi basate sugli stessi dati, ma con assunzioni differenti, potrebbero portare a risultati anche drasticamente discordanti.

Il metodo si applica bene a casi di natura globale mentre è meno adatto a valutare impatti di natura locale che sono influenzati maggiormente dal fattore geografico e temporale, inoltre si basa su valori medi delle "performances" dei vari processi coinvolti, escludendo quindi eventuali rischi legati ad eventi rari di natura aleatoria ma ad alta problematicità quali incidenti nei siti produttivi, incidenti nucleari, sversamenti di petrolio, rottura di dighe ecc.

In più le analisi del ciclo di vita non considerano le implicazioni di natura economica e sociale, trascurando i possibili scenari di peggioramento (o miglioramento) che potrebbero verificarsi per un determinato settore produttivo o gruppo sociale, ad esempio un'immediata messa al bando delle auto a motore endotermico in favore di quelle elettriche, con l'alto costo che caratterizza queste ultime, potrebbe portare le fasce più povere della popolazione mondiale a non potersi più permettere un mezzo di trasporto proprio.

Infine, un'analisi LCA può dirci se un processo/prodotto è migliore dal punto di vista della sostenibilità in riferimento ai sostituti considerati e non se l'oggetto dello studio è "il migliore" in termini assoluti e quindi aiuta ad effettuare scelte più consapevoli ma non può sostituirsi ai decisori effettivi.

Ricapitolando, le analisi LCA possono rispondere a domande del tipo:

- Qual è il modo migliore di impacchettare e trasportare il cibo?
- Qual è il materiale migliore dal punto di vista della sostenibilità per produrre bottiglie per il trasporto di bevande?
- È più *eco-friendly* lavare le stoviglie a mano o utilizzare una lavastoviglie?
- Una transizione da auto tradizionali ad elettriche porterà un beneficio dal punto di vista delle emissioni?

Mentre non può rispondere a domande che mettono in relazione aspetti sociali ed ambientali, o l'effetto di una singola fonte di emissione su uno specifico ecosistema locale o se l'introduzione di una tassa per disincentivare determinati comportamenti nocivi possa portare o meno ad un effettivo vantaggio.

Per sottolineare quali siano i punti di forza della metodologia e quali i punti critici andremo a descrivere un caso di applicazione che ha permesso di individuare criticità non rivelate o non considerate da analisi di tipo tradizionale.

L'utilizzo di fonti di energia naturale ha accompagnato l'umanità per millenni come fonte di riscaldamento, per la produzione alimentare e manifatturiera prima ancora che Rudolf Diesel fece funzionare un motore a combustione interna con olio di arachidi nel 1890, basti infatti pensare all'utilizzo di legna, carbone e torba.

Alla fine del XX secolo i carburanti fossili dominavano il settore energetico, in particolare quello legato ai trasporti, mentre si evidenziava già una tendenza al loro abbandono per la produzione di energia elettrica in larga scala.

Biofuel energy production

Total biofuel production is measured in terawatt-hours (TWh) per year. Biofuel production includes both bioethanol and biodiesel.

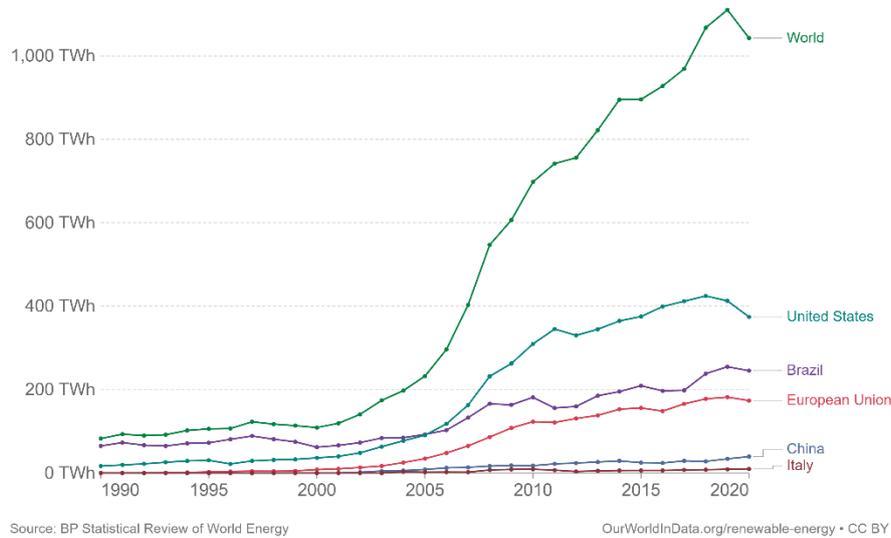


Figura 10 Utilizzo di biofuel per Nazioni dal 1989 al 2021

Per cercare di sostituire il grande utilizzo di benzina e gasolio si fece strada la soluzione biofuels, infatti questo tipo di carburanti veniva considerato *carbon neutral*, in quanto si riteneva che le emissioni di CO₂ dovute al suo utilizzo facessero parte del ciclo biologico del carbonio, ovvero la CO₂ emessa era considerata come inizialmente catturata dall'atmosfera tramite la fotosintesi dalle piante da cui deriva il biocarburante, mentre la CO₂ emessa dall'utilizzo dei combustibili fossili appartiene al ben più lento ciclo geologico del carbonio, in quanto rilascia carbonio che altrimenti sarebbe rimasto nel sottosuolo per millenni.

Anche se questa distinzione fra emissioni da biocarburanti e carburanti fossili rimane, con studi LCA si dimostrò che l'assunzione di *carbon neutrality* non era attinente alla realtà, si trascuravano almeno due aspetti:

- Non considerava la quantità di emissioni necessarie a produrre il biodiesel
- Si concentrava solo sull'aspetto delle emissioni di carbonio, sottovalutando altri problemi ambientali che sarebbero potuti occorrere in una transizione diesel-biodiesel

L'analisi LCA dimostrò, utilizzando una prospettiva di ciclo di vita, che l'utilizzo di carburante per la produzione della biomassa, il suo trasporto al sito di trasformazione e il conseguente trasporto del biocarburante dai siti di stoccaggio a quelli di distribuzione non rendeva il biodiesel neutrale dal punto di vista delle emissioni.

Inoltre, non si considerava il possibile aumento di suolo destinato alla produzione di biocombustibile andando a sottrarre terreni adatti alla coltivazione e all'allevamento, o andando a diminuire la superficie boschiva mondiale, a questo si aggiungeva la massiccia dose di fertilizzanti e diserbanti necessari per una coltivazione intensiva di biomassa finalizzata alla produzione di combustibile.

È per questo che l'Unione Europea nel 2010 ha aggiornato la propria legislazione creando criteri appositi per la sostenibilità del Biofuel, che tra l'altro non consente la conversione di terreni ad alta biodiversità in terreni coltivabili per la produzione di biocarburanti.

Questo esempio non vuole essere una messa al bando del biodiesel etichettandolo come "cattivo", ma piuttosto un esempio di come la realtà delle cose sia ben più complessa dei semplici slogan e di come le metodologie LCA possano aiutare a scegliere le opzioni migliori, guardando ad un problema considerandone il ciclo di vita completo, evitando così di sottostimarne i lati negativi e sovrastimarne i benefici.

Inoltre, ci offre uno spunto di riflessione su ciò che sta accadendo attualmente. È infatti ormai ufficiale che l'Unione Europea vieterà dal 2035 la vendita di auto a combustione interna, ipotizzando così, insieme ad altre iniziative, una diminuzione di emissione di gas serra del 55% entro il 2030.

Questo implicherà la necessità dell'installazione di una rete di ricarica capillare per auto elettriche e ad idrogeno, un aumento dell'estrazione di litio e cobalto necessario alla produzione delle batterie e il loro inevitabile smaltimento una volta esauriti i cicli di ricarica, la riconversione degli impianti di produzione di automobili esistenti, la conseguente necessità di potenziare la capacità produttiva di energia elettrica mondiale, con un'ipotesi di coprire solo il 40% del fabbisogno con fonti di energia rinnovabile.

Inoltre, va considerato che l'elettrificazione non ha ancora raggiunto settori a grande impatto di emissione come trasporto merci, trasporto aereo e agricoltura, dove sono in gioco alte potenze, lunghe percorrenze e grandi consumi.

Argomenti, questi, totalmente assenti o quasi dal dibattito pubblico sull'elettrificazione, questo per dire che decisioni così importanti e drastiche andrebbero prese considerando tutti i fattori in gioco e per cui un'analisi LCA si presta alla perfezione per guidare le scelte normative.

Siamo sicuri che l'abbandono delle auto convenzionali a favore di quelle elettriche diminuirà effettivamente l'inquinamento atmosferico? O, piuttosto, sposterà le emissioni dai grandi centri

abitati ai centri produttivi e ai siti di estrazione di litio e cobalto? Quali soluzioni si introdurranno per lo smaltimento della grande mole di auto e batterie? Non sarebbe forse meglio cercare di accompagnare la transizione all'elettrico con la consapevolezza che sostituire il consumo di una risorsa in favore di un'altra senza cambiare il nostro modo di vivere potrebbe portarci ad affrontare gli stessi problemi fra 50 anni?

Questo esempio finale è per sottolineare che le analisi di impatto, anche di semplici prodotti, coinvolge un gran numero di fattori e processi, e sottovalutare un aspetto fondamentale può essere molto semplice se non si applica un metodo razionale e standardizzato come LCA, affiancandolo con considerazioni legittime e prive di conflitti di interesse.

Dopo aver introdotto le fasi dell'analisi LCA e averne discusso pregi e difetti, nel prossimo capitolo andremo finalmente ad applicarne i principi al caso studio.

3. Caso studio: linee di assemblaggio pensili LUBE

La tesi ha modellato, analizzato e infine confrontato due progetti di linee produttive differenti per pensili da cucina. Ha cercato di mettere in luce, per ognuna delle due, criticità dovute a materiali utilizzati e manifattura dei componenti, trasporto, fase d'uso e scenario di fine vita, considerandone i diversi periodi temporali di riferimento. Andando così a ipotizzare, per i fattori maggiormente impattanti, scenari di miglioramento concretamente attuabili, analizzandone, infine, gli esiti sulla sostenibilità totale della linea così da aiutare l'azienda nella scelta del layout migliore dal punto di vista ambientale.

Per le valutazioni finali abbiamo preso in considerazione anche fattori non considerati dalle analisi di tipo LCA ma fondamentali per l'azienda, quali massimizzazione dell'output produttivo, competitività e benessere degli operatori coinvolti.

3.1 Obiettivo dello studio

La tesi si occuperà di discutere e valutare l'impatto dovuto ad una linea di produzione di pensili da cucina in due configurazioni differenti:

- una attualmente installata, non automatizzata
- una da installare in futuro, a medio grado di automazione,

3.2 Unità funzionale

Per l'unità funzionale abbiamo valutato “la capacità del processo di supportare gli operatori nell'assemblaggio dei pensili e della loro movimentazione all'interno dell'area di lavoro”.

Inoltre, abbiamo fatto riferimento, per entrambi le configurazioni, ad una capacità produttiva di 5000 pz/settimana e ad una vita utile di 800 settimane che corrispondono a venti anni di utilizzo

3.3 Confini del sistema

Per quello che riguarda i limiti del sistema abbiamo utilizzato un approccio “cradle to grave”, ovvero, si considerano l'estrazione delle materie prime, la loro successiva lavorazione e trasformazione, il trasporto, la fase d'uso e il fine vita della linea stessa. Si tralascia quindi un possibile scenario che includa un riutilizzo della linea o parte di essa.

- Estrazione delle materie prime (Raw materials): include l'estrazione e l'approvvigionamento delle materie prime necessarie a produrre i singoli elementi che compongono la linea
- Produzione (Manufacturing): include i consumi legati ai processi produttivi necessari a trasformare le materie prime in prodotti finiti e semi-lavorati utilizzati nell'assemblaggio delle linee produttive
- Trasporto (Transport): comprende i consumi di combustili fossili in termini del trasporto della linea dal produttore al sito produttivo LUBE a Treia (MC) pari a 130 km moltiplicati per il peso della due linee di assemblaggio
- Fase d'uso (Use Phase): rappresenta la fase produttiva della linea ed è uguale a 160 kWh/sett per la linea attuale e 420 kWh7sett per la linea di futura installazione
- Fine vita (End of Life): include gli scenari di smaltimento della linea produttiva

3.4 Metodo di calcolo e categorie di impatto

Per il metodo di calcolo dell'impatto ambientale delle due linee di produzione abbiamo deciso di utilizzare il metodo EPD (Environmental Production Declaration) del 2018 che, seppur leggermente datato, ha permesso di integrare i dati non presenti nel database scelto (Ecoinvent 3.1) con dati ottenuti esternamente.

Gli indicatori per il metodo EPD 2018 sono:

- Potenziale di acidificazione (kg SO₂ eq): include le emissioni di agenti inquinanti che causano processi di acidificazione nell'aria, nell'acqua e nel suolo, durante tutto il ciclo di vita di un prodotto o di un servizio. Rappresenta la quantità identificata di SO₂ (ossido di zolfo) emessa nell'ambito della produzione di un oggetto.
- Potenziale di eutrofizzazione (kg PO₄⁻⁻⁻ eq): quantità di emissione di sostanze nutrienti nell'aria, nell'acqua e nel suolo nonché la materia organica presente nell'acqua durante tutto il ciclo di vita di un prodotto. È la quantità di fosfato prodotta nel processo di fabbricazione di un prodotto o di una parte.
- Potenziale di riscaldamento globale (kg CO₂ eq): si riferisce al contributo all'effetto serra di un gas inquinante relativamente all'effetto della CO₂, il cui potenziale di riferimento è pari a uno

- Potenziale di formazione di ozono troposferico (kg NMVOC): l'indicatore tiene conto dell'emissione di composti organici volatili non metanici che concorrono alla formazione di ozono troposferico, inquinante atmosferico sia per gli esseri umani che per gli ecosistemi in generale
- Potenziale esaurimento abiotico, elementi (kg Sb eq): si riferisce al consumo di materie non viventi quali minerali, suolo, argilla ecc. misurato come kg di antimonio equivalente
- Potenziale esaurimento abiotico, risorse fossili (MJ): misura il depauperamento delle riserve di combustibili fossili riferiti al processo/prodotto considerato
- Potenziale di scarsità d'acqua (m³ eq): misura il consumo di risorse idriche relative alla produzione dell'oggetto dello studio
- Potenziale di assottigliamento dello strato di ozono stratosferico (CFC): si riferisce all'emissione di clorofluorocarburi e in generali ai i gas che generano un depauperamento dello strato di ozono stratosferico

3.5 Analisi di inventario

Questa è stata la fase che ha richiesto più tempo ed energie, l'azienda ci ha fornito le piante in CAD e la capacità produttiva di entrambe le linee, mentre per la linea attuale avevamo anche a disposizione i modelli 3D dei componenti e il consumo energetico settimanale, i dati così raccolti sono stati organizzati in tabelle Excel per poi essere inseriti all'interno del software di analisi

3.6 Assunzioni e limiti

Laddove i dati ottenuti dall'azienda fossero stati insufficienti si è proceduto assumendo ipotesi plausibili, sia sui materiali che sulla successiva lavorazione e, nel caso di irreperibilità totale di informazioni su un determinato elemento, questo è stato tralasciato, evidenziandone la mancanza come un limite stesso dell'analisi.

Per i rulli, che sostituiscono la parte mobile principale della linea "As Is", e per le strutture in acciaio di tutti i componenti delle due linee abbiamo considerato un acciaio non legato a medio tenore di carbonio dato che non vi erano particolari richieste di resistenza per i componenti, mentre per i supporti dei nastri e della meccanica lo stesso acciaio è stato considerato come laminato a caldo.

Per i nastri trasportatori, che invece sono uno degli elementi maggiormente presenti nella linea “To Be”, considerando dati da catalogo, abbiamo scelto una struttura composita con esterno in gomma (polibutadiene) e all’interno un tessuto di Polietilene (PE) uniti, infine, per termoformatura con applicazione di pressione tramite rulli (Calendering)

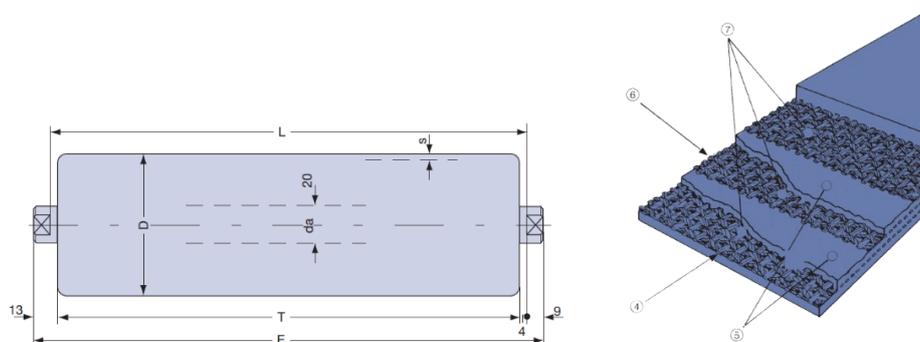


Figura 11 Rullo e nastro trasportatore

Nella modellazione di entrambe le linee sono stati trascurati i piccoli componenti meccanici quali roccetti, catene, bulloni, pulsanti, piccoli attuatori, ecc., la verniciatura degli elementi stessi della linea e si è tralasciato sia il consumo di aria compressa che serve le linee che il consumo di materiali necessari al funzionamento corretto delle stazioni di montaggio, avendoli ipotizzati simili per ambedue i layout.

Per quanto riguarda i motori elettrici necessari a far funzionare le postazioni di assemblaggio, nella linea “As Is”, e tutti gli elementi della linea “To Be”, non avendo a disposizione dati all’interno del database Ecoinvent 3.1, si è optato per integrare i dati attraverso le dichiarazioni di impatto ambientale di due diversi motori elettrici. (tabella1)

Parametro	Unità	MOTORE 1	MOTORE 2
Acidification potential (AP)	kg SO2 eq.	3,56E-01	7,37E-01
Eutrophication potential(EP)	kg PO4 ³⁻ eq.	2,09E-02	4,25E-02
Global warming potential (GWP)	kg CO2 eq.	5,18E+00	1,71E+01
Photochemical oxidant formation potential (POFP)	kg NMVOC eq.	1,69E-02	4,69E-02
Abiotic depletion potential – Elements	kg Sb eq.	2,88E-04	1,26E-03
Abiotic depletion potential – Fossil resources	MJ	8,42E+01	1,89E+02
Water scarcity potential	m3 eq.	1,50E+00	3,64E+00

Tabella 1 Enviromental Product Declaration per i motori elettrici utilizzati nelle due linee

Infine, abbiamo considerato un contesto energetico italiano

Per quanto riguarda la sola linea “As Is” l'acciaio è stato considerato di provenienza Europea, ricordando che la linea è stata installata negli anni '90 e che l'Europa in quegli anni guidava la classifica mondiale della produzione di acciaio, e per il fine vita abbiamo valutato uno scenario in cui la totalità dei componenti è smaltito in discarica data la non scomponibilità della linea stessa

Invece, per la linea “To Be”, abbiamo dovuto ipotizzare un consumo energetico giornaliero e modellare in 3D i singoli componenti. La presenza dei due macchinari ergonomici, leggermente fuori linea, è stata tralasciata, essendo questi ultimi ancora in fase di sviluppo.

Infine, per l'acciaio utilizzato, vista la produzione di acciaio attuale, abbiamo considerato una produzione Mondiale mentre per lo scenario di fine vita si è ipotizzato un parziale riciclaggio della linea considerandone il possibile disassemblaggio

3.7 Linea non automatizzata “As Is”

La linea (figura 11) è composta da quattro sotto-linee in parallelo per massimizzare l'output produttivo. Dato le leggere differenze che le contraddistinguono il sistema è stato modellato come due linee affiancate:

- una linea superiore composta da:
 - quattro convogliatori a rulli da 15 m
 - quattro stazioni di montaggio motorizzate a nastro
 - due convogliatori a rulli da 19.7 m
 - un convogliatore laterale alla fine dei due da 19.7
 - un convogliatore a rulli finale da 11 m
- una linea inferiore composta da:
 - due convogliatori a rulli da 15 m
 - tre convogliatori a rulli da 19.7
 - tre stazioni di montaggio motorizzate a nastro
 - due convogliatori a rulli da 11 m
 - un convogliatore a rulli laterale

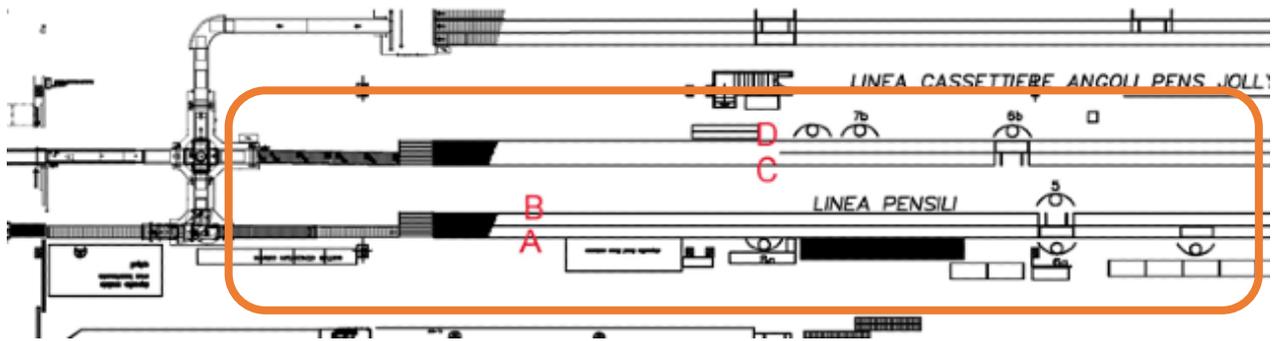


Figura 12 Layout "As Is"

3.8 Line semi-automatizza “To Be”

Il layout «To-Be» (figura12), invece, dovrà essere composto da una singola linea che si occuperà di tutte le operazioni di assemblaggio, con due stazioni leggermente fuori linea per permettere le operazioni più dispendiose dal punto di vista temporale e che tralascieremo nell’analisi a causa della mancanza di dati a riguardo.

La linea presenta una maggiore complessità rispetto a quella esistente con la presenza di elementi speciali che ne permettono la semi-automaticità, abbiamo:

- Convogliatori a nastro di due dimensioni: 13 da 5.1m e 7 da 1.8 m che si muovono con la velocità imposta dal tempo-ciclo designato
- quattro elementi curva che permettono lo spostamento laterale del pensile
- due ribaltatori che ribaltano il pensile
- un ruotatore che fa ruotare il pensile intorno al proprio asse

Il tutto è delimitato da una rete perimetrale di sicurezza in acciaio elettrosaldato ancorata a profilati in acciaio alti 1.86m.

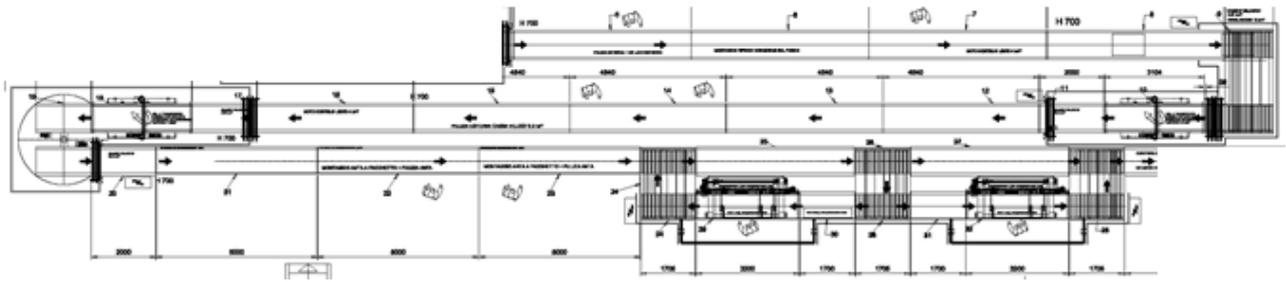


Figura 13 Layout "To Be"

3.9 Analisi di impatto della linea "As Is"

Una volta completate le fasi di inventario e modellato esaustivamente la linea produttiva siamo andati ad analizzarne l'impatto totale all'interno del software SimaPro.

Dal grafico in figura 13 è evidente che, per tutte le categorie di impatto considerate, ad esclusione dell'esaurimento abiotico relativo agli elementi, la fase d'uso è la principale causa di impatto che va da circa il 40% ad un massimo dell'88% del totale.

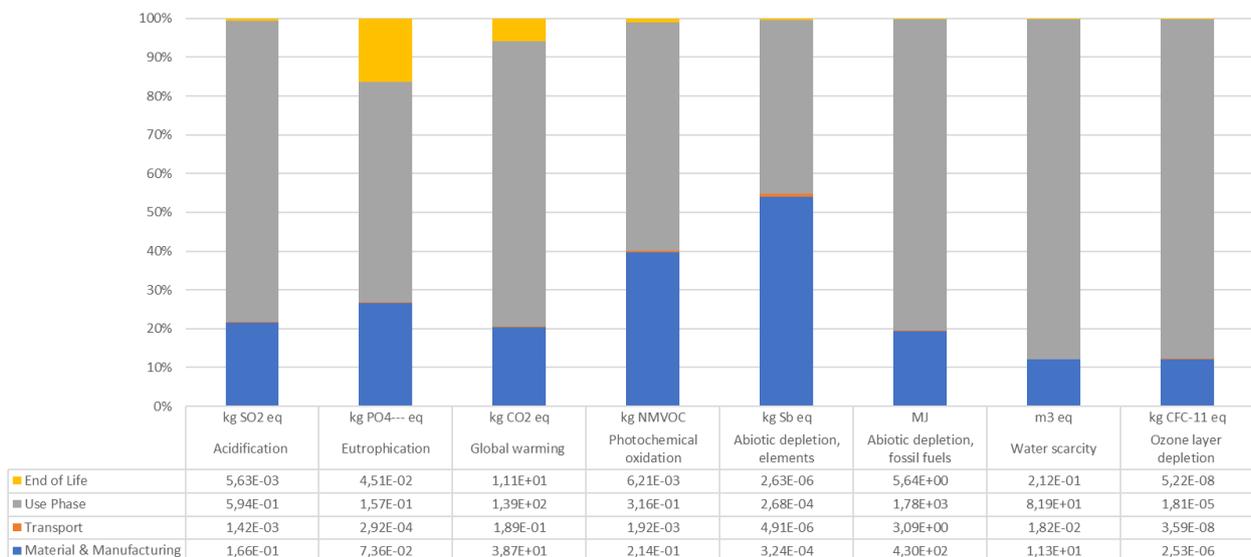


Figura 14 Impatto totale linea "As Is"

A seguire vi è la componente legata ai materiali e alla manifattura dei singoli componenti la linea che è la causa maggiore dell'esaurimento abiotico con il 55% e nelle altre categorie va da un minimo di circa il 10% ad un massimo di circa il 40 %.

Per quanto riguarda il fine vita il suo contributo è rivelante solo per l'eutrofizzazione con un impatto del 16% e per il riscaldamento globale con un contributo di circa il 6% mentre per i restanti indicatori il contributo è trascurabile.

Infine, la fase di trasporto è quella che ha meno impatto totale (con un massimo dello 0.8%) e la sua presenza è tranquillamente trascurabile al fine dell'analisi.

Non potendo modificare in alcun modo la fase d'uso siamo andati ad indagare a cosa è dovuto l'impatto relativo al *Materials & Manufacturing*. Abbiamo cercato di capire, innanzitutto, se la modellazione in linea superiore e inferiore fosse corretta e come si può vedere dal grafico (figura 14) le due sotto-linee differiscono di 1 - 2 punti percentuali.

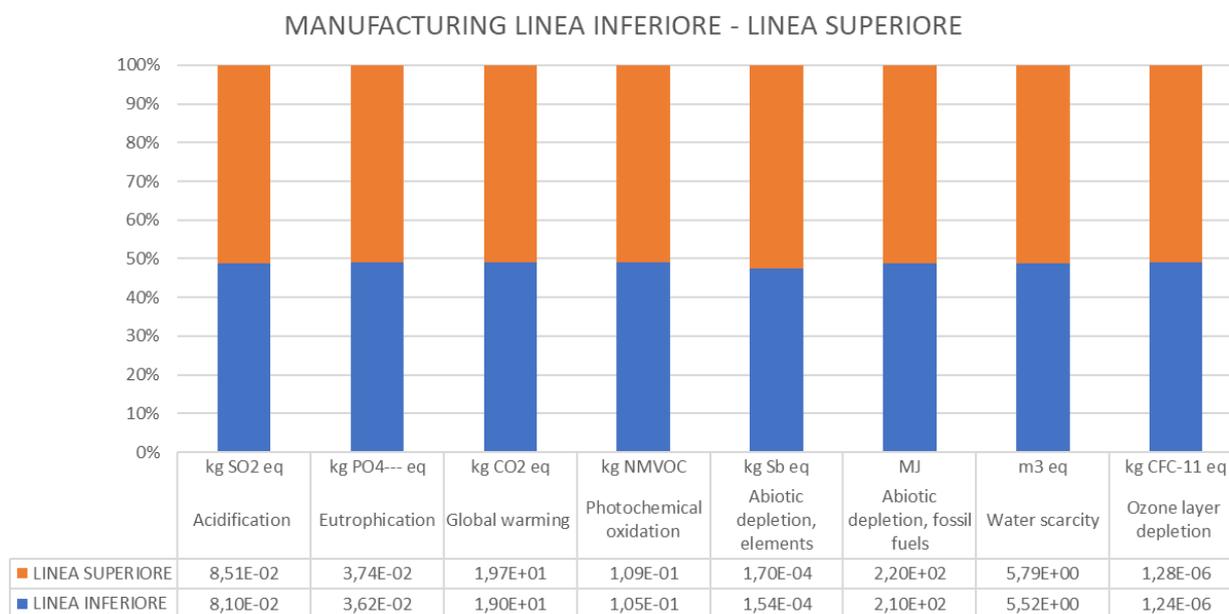


Figura 15 Impatto del manufacturing nelle linee superiore e inferiore

Siamo andati quindi a valutare quali fossero i componenti cruciali per la sostenibilità ambientale sia per la linea inferiore che superiore.

Dal grafico (figura 15) si può notare che per la linea inferiore il contributo congiunto dei convogliatori a rulli, nelle loro varie dimensioni, è la parte preponderante nella totalità delle categorie con picchi

dell'88%. si può dire lo stesso per quanto riguarda la linea superiore (figura 16) ma con percentuali leggermente minori, data la presenza di una stazione di montaggio in più, arrivando a valori massimi dell'85%. La restante parte dell'impatto è dovuta alle sette stazioni di montaggio.

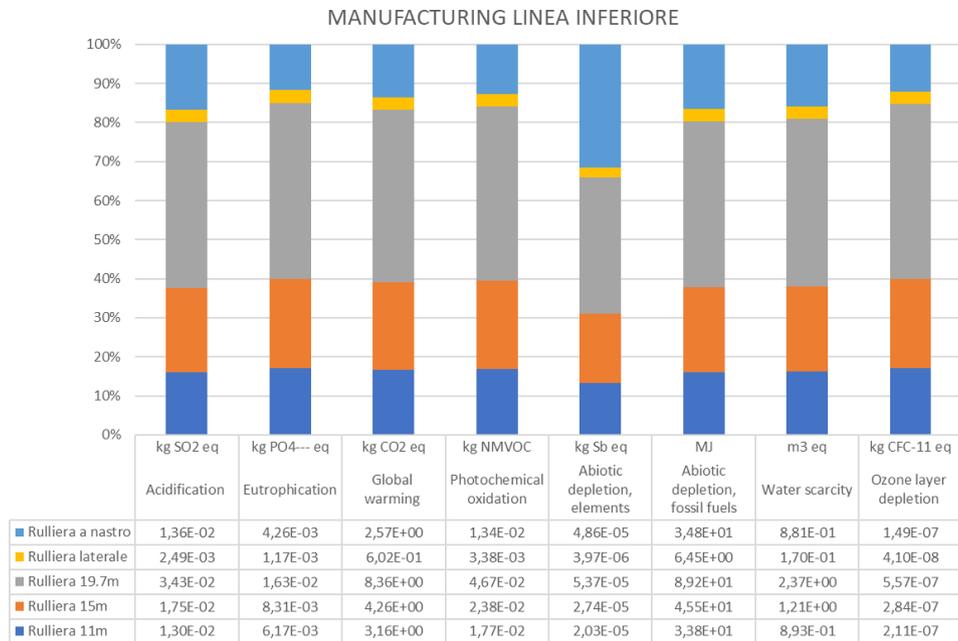


Figura 16 Impatto del manufacturing dei singoli elementi della linea Inferiore

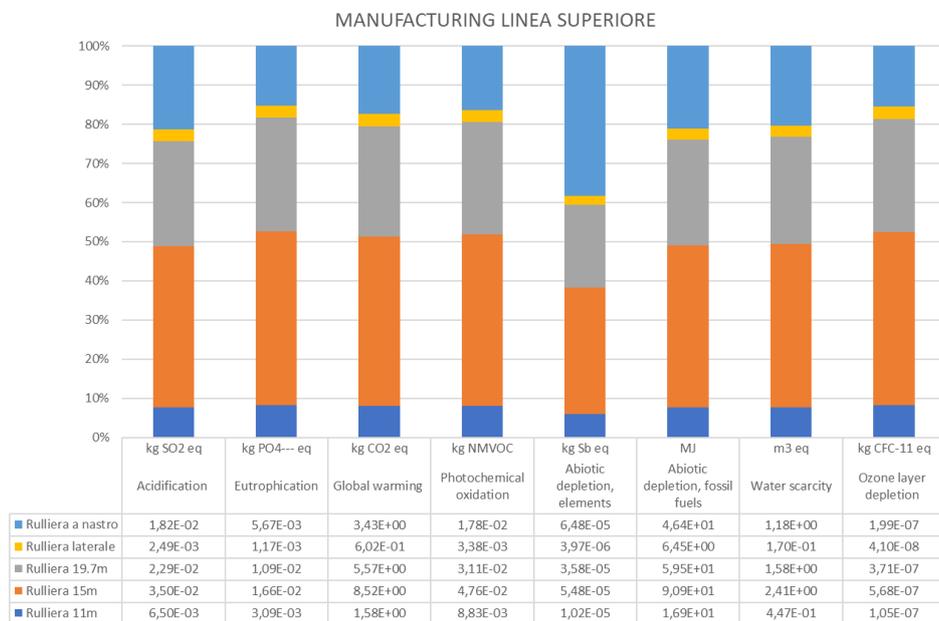


Figura 17 Impatto del manufacturing dei singoli elementi nella linea Superiore

Siamo andati quindi ad analizzare, infine, i componenti più impattanti dei convogliatori a rulli e dal grafico in figura 17 si nota come l'elemento cruciale, all'aumentare della lunghezza dei convogliatori, è il rullo e quindi l'impatto totale della fase di manufacturing è dovuto principalmente all'acciaio dei convogliatori a rulli e in particolare all'acciaio necessario a costruire i rulli.



Figura 18 Impatto del manufacturing della struttura e dei rulli del convogliatore a rulli da 19.7 m

3.10 Analisi di impatto della linea "To Be"

Una volta analizzati gli elementi della linea esistente siamo passati a valutare l'impatto totale della linea di futura installazione.

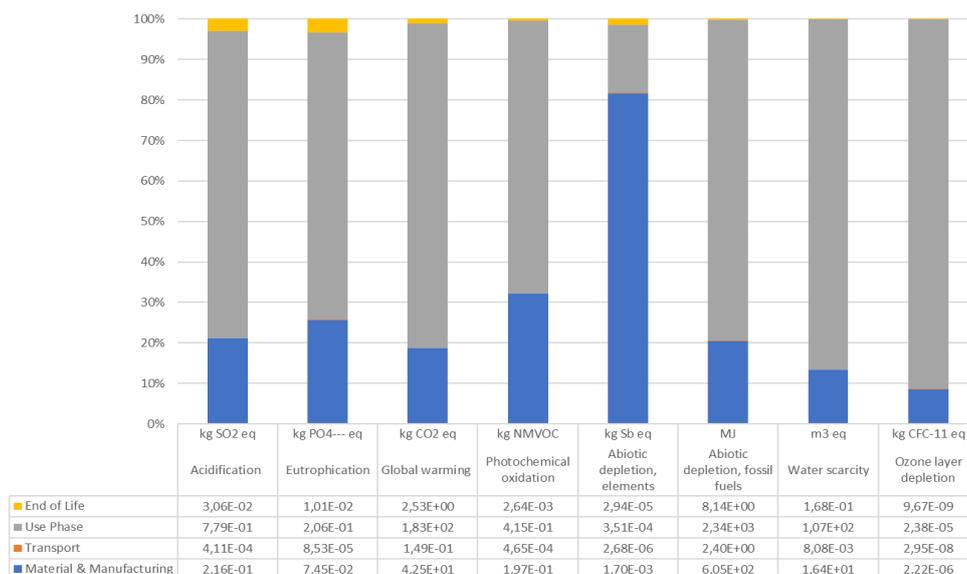


Figura 19 Impatto totale della linea "To Be"

Dal grafico (figura 18) si evince facilmente che la fase d'uso è lo stadio più impattante per tutte le categorie, ad esclusione dell'esaurimento abiotico, come era plausibile aspettarsi, con punte del 91% nell'assottigliamento dello strato d'ozono.

La seconda fase più incidente è quella del *Material & Manufacturing* che rappresenta l'82% dell'esaurimento abiotico di tutta la linea, mentre per i restanti indicatori abbiamo percentuali che vanno dall'8% al 32%.

Infine, il fine vita non impatta se non per pochi punti percentuali, mentre il trasporto non supera mai un contributo dell'1% e quindi sarebbero entrambi trascurabili ai fini dell'analisi proposta.

Siamo quindi andati ad analizzare come si ripartiva l'impatto del *Material & Manufacturing* nei singoli componenti della linea.

Dal grafico è evidente che la somma degli impatti dei convogliatori a nastro da 5.1m e 1.8 m dà il contributo maggiore d'impatto nella quasi totalità degli indicatori, con valori che vanno dal 37% al 63%. È da notare la presenza dei display di controllo della linea il cui impatto non è trascurabile ed è il fattore critico per quello che riguarda l'esaurimento abiotico dei materiali con un valore del 44%.

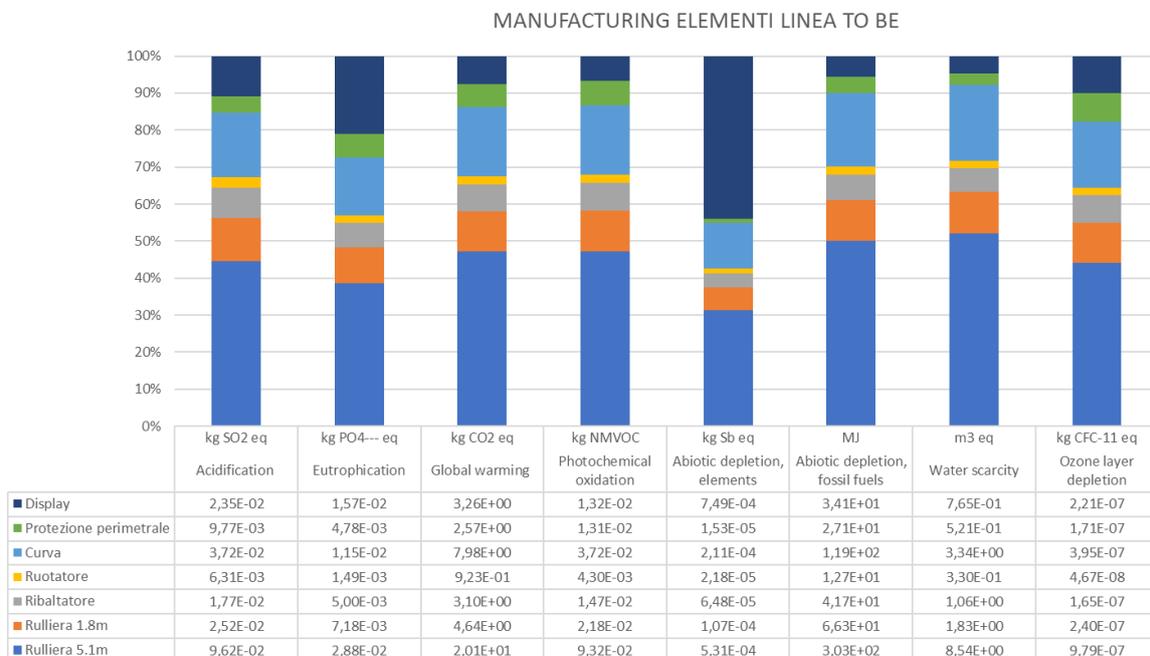


Figura 20 Impatto del manufacturing dei singoli componenti della linea "To Be"

Avendo trovato nei convogliatori a nastro la causa maggiore della quasi totalità dell’impatto del layout “To Be” abbiamo cercato di capire come questo si ripartisse sui componenti del convogliatore.

Dal grafico in figura 20 si può notare come l’elemento più impattante è il nastro trasportatore con valori che vanno dal 37% all’88%, seguito dalle strutture in acciaio.

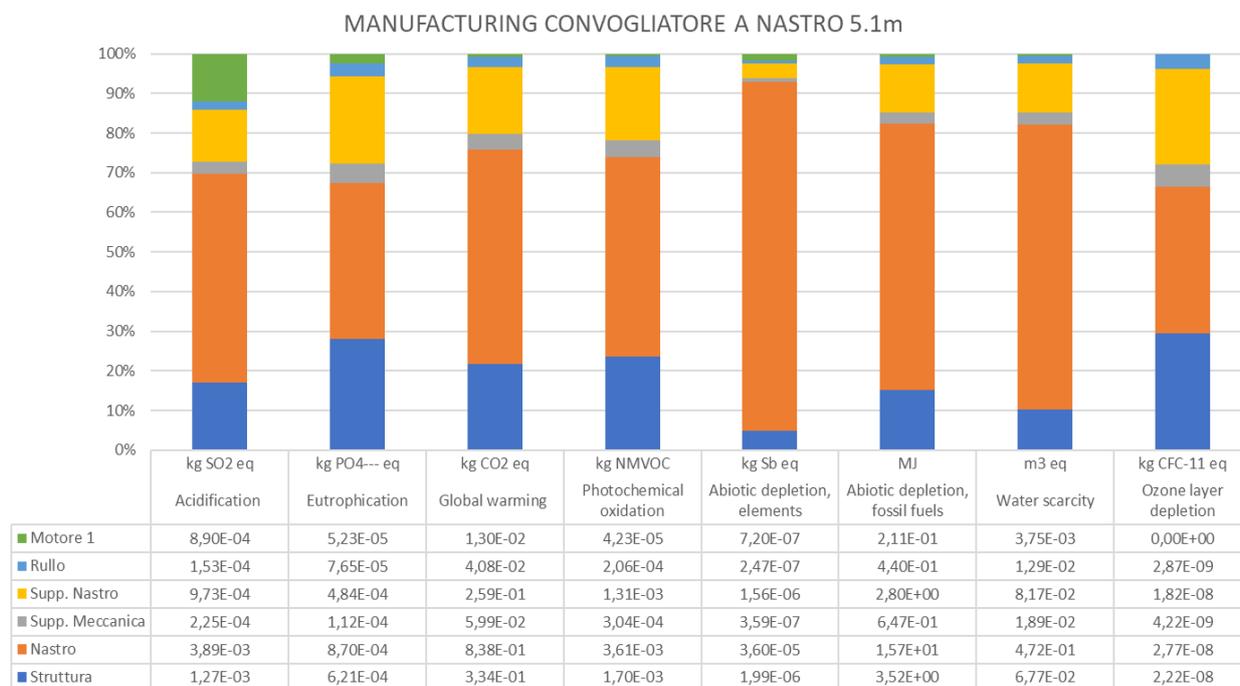


Figura 21 Impatto del manufacturing dei componenti del convogliatore a nastro da 5.1m

Nonostante i due ribaltatori e il ruotatore impattino meno del 10% in ogni indicatore, questo non va sottovalutato, essendo questi in numero assai minore rispetto agli altri componenti della linea

Nel ribaltatore invece è la struttura a risultare critica per quanto riguarda l’impatto ambientale, essendo stata maggiorata per permettere i movimenti di ribaltamento, insieme ai due tipi differenti di motore

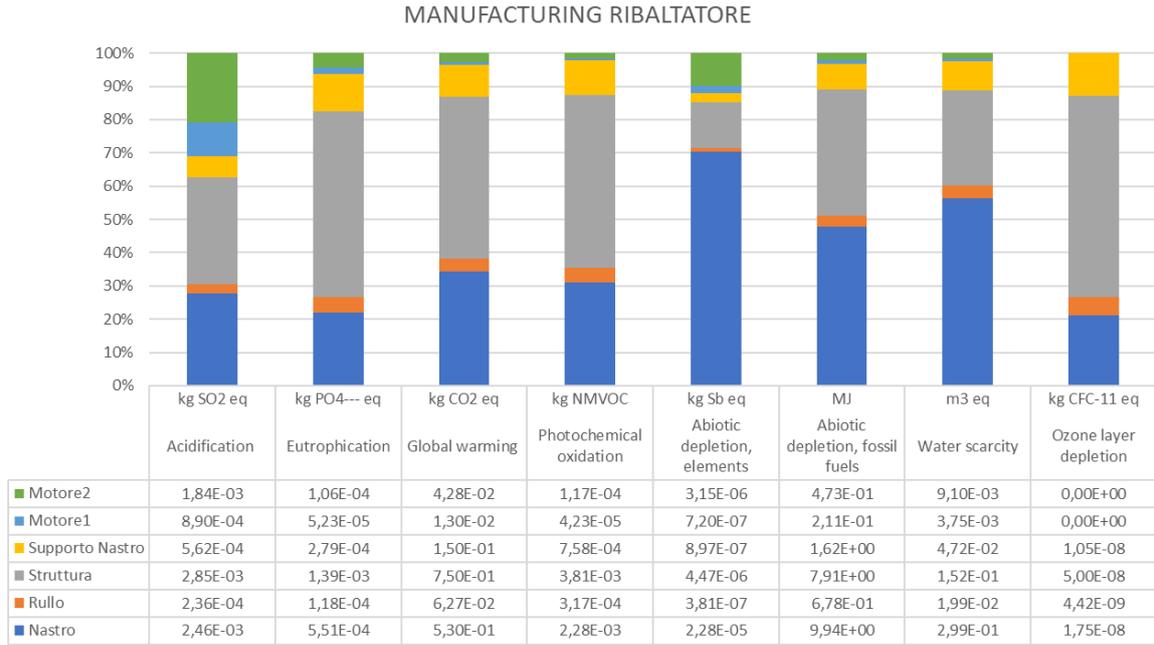


Figura 22 Impatto del manufacturing dei componenti del ribaltatore a nastro

Infine, siamo andati ad analizzare a cosa è dovuto l’impatto del nastro trasportatore e dal grafico in figura 22 si può facilmente vedere che la causa principale è dovuta ai polimeri che lo compongono: polibutadiene per l’esterno e il tessuto di PE per l’interno, mentre per la scarsità d’acqua è la tipologia di produzione ad influire per più del 60 %.

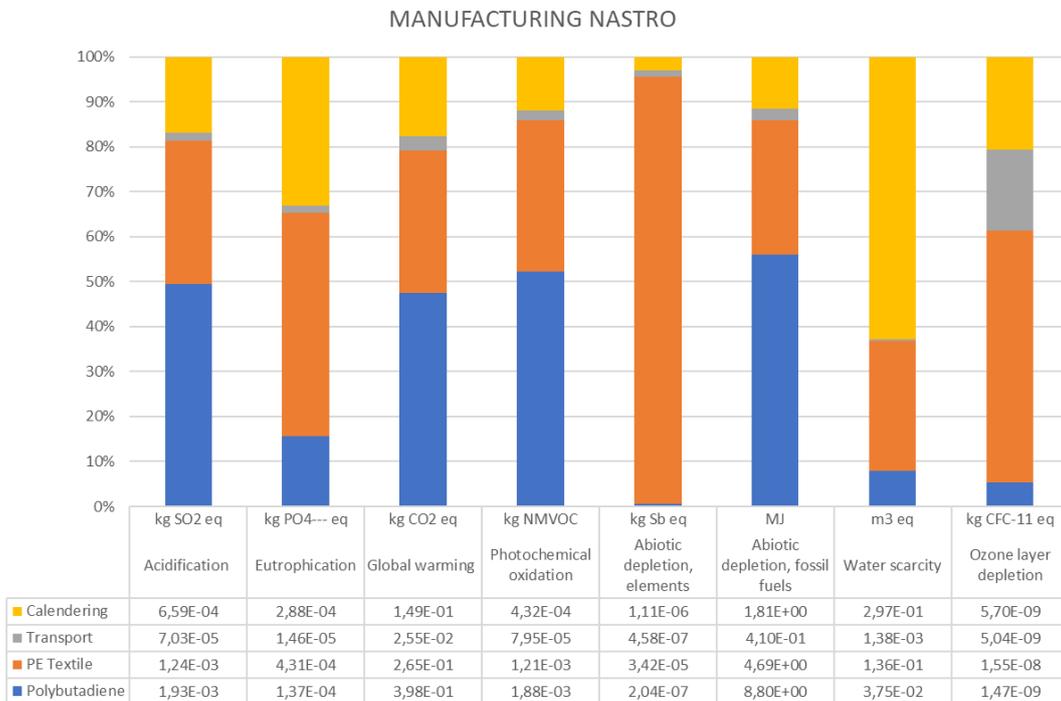


Figura 23 Impatto del manufacturing dei componenti del nastro trasportatore

Per concludere, l'impatto totale del *Material & Manufacturing* della linea "To Be" è dovuto in gran parte alla presenza dei nastri trasportatori, e quindi ai polimeri che li compongono, e in secondo luogo all'acciaio delle strutture dei nastri e degli elementi automatici.

3.11 Confronto di impatto fra le linee "As Is" e "To Be"

Dopo aver analizzato singolarmente le due linee di assemblaggio, individuando gli elementi critici per ogni configurazione e i materiali e le metodologie di produzioni più gravosi dal punto di vista ambientale, abbiamo confrontato impatto totale e scenario di fine vita dei due layout

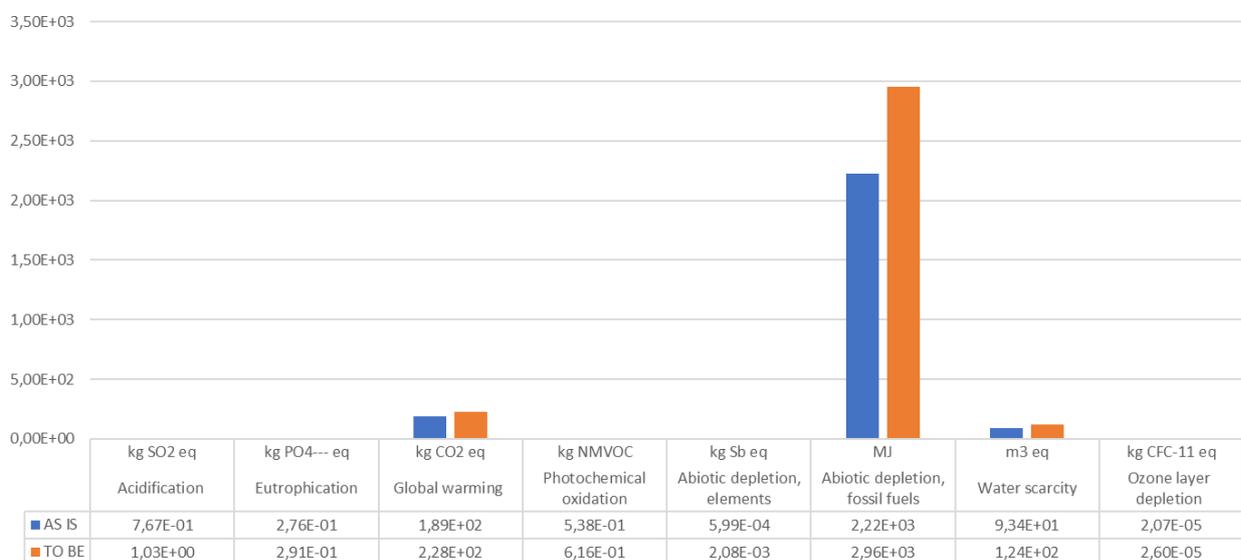


Figura 24 Confronto impatto totale linea "As Is" | "To Be"

Dal grafico in figura 23, ottenuto confrontando i valori di impatto complessivi dei due layout si evince che la linea "To Be" avrà un impatto ambientale nettamente maggiore in tutti gli indicatori scelti. In particolare, abbiamo un aumento del 20% nell'impatto sul riscaldamento globale, un incremento del 33% nell'esaurimento abiotico causato dai combustibili fossili e nella scarsità d'acqua e, seppur non osservabile dal grafico, un aumento del 248% nell'esaurimento abiotico dovuto agli elementi. (tabella 2)

Tabella 2 Aumento di impatto ambientale legato alla linea "To Be"

Categoria d'impatto	Unità	AS IS	TO BE	Δ%
Acidification	kg SO2 eq	7,67E-01	1,03E+00	34%
Eutrophication	kg PO4--- eq	2,76E-01	2,91E-01	5%
Global warming	kg CO2 eq	1,89E+02	2,28E+02	20%
Photochemical oxidation	kg NMVOC	5,38E-01	6,16E-01	14%
Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	5,99E-04	2,08E-03	248%
Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	2,22E+03	2,96E+03	33%
Water scarcity	m3 eq	9,34E+01	1,24E+02	33%
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	2,07E-05	2,60E-05	26%

Per quanto riguarda, invece, il confronto tra gli scenari di fine vita delle due linee si nota come la linea "To Be" riesce a far molto meglio della linea "As Is", con una diminuzione di impatto dell'81% su tutti gli indicatori scelti

Questo è dovuto sostanzialmente alle ipotesi fatte per i due layout: totalità dei componenti smaltiti in discarica per la linea attuale e parziale riciclaggio dei componenti per la linea di futura installazione.

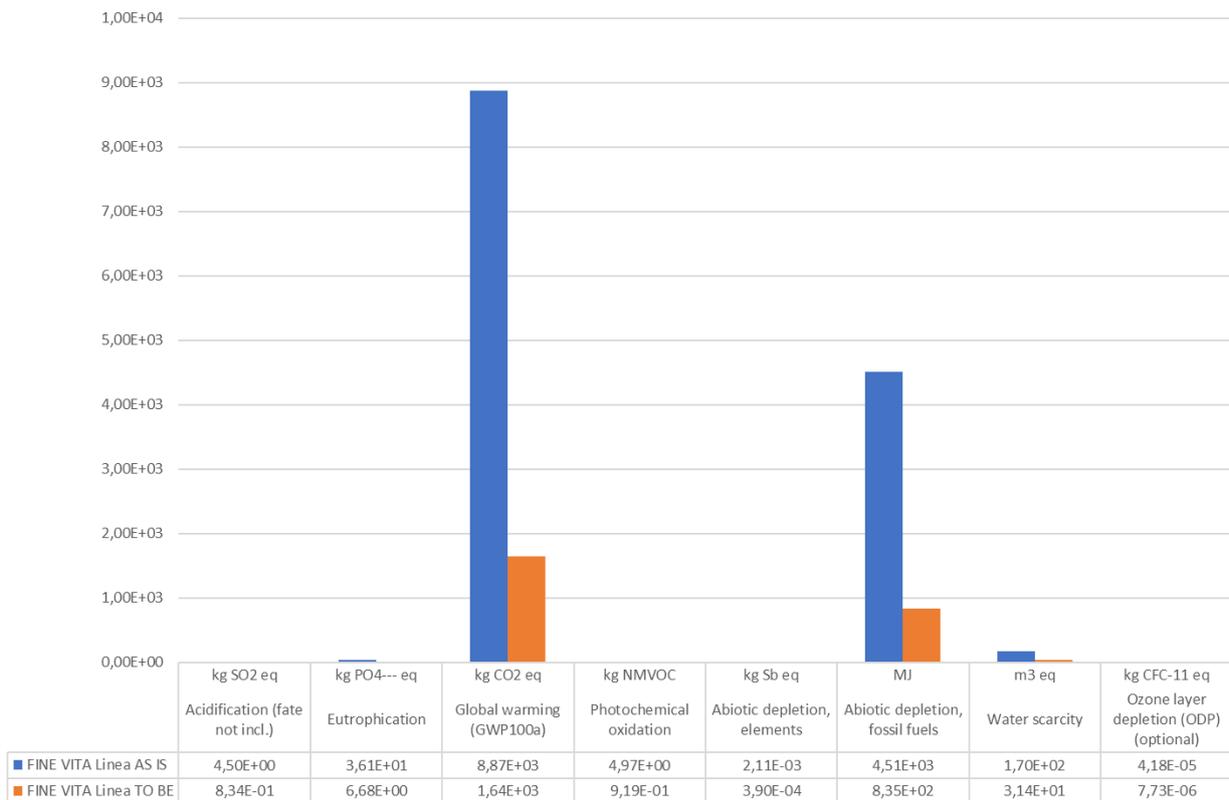


Figura 25 Confronto fine vita linea "As Is" | "To Be"

3.12 Scenari di miglioramento per la linea “To Be”

Per cercare di ovviare all'aumento dell'impatto della linea “To Be” abbiamo ipotizzato due scenari differenti per provare a migliorarne la sostenibilità ambientale, avendo osservato nell'analisi di impatto che i fattori che ne influenzano di più la sostenibilità sono la fase d'uso e i materiali che la compongono:

- scenario 1: si ipotizza l'utilizzo del 30% di materiali riciclati per la produzione dei componenti della linea, sia per quanto riguarda l'acciaio sia per ciò che concerne i tessuti in PE dei nastri trasportatori
- scenario 2: alle ipotesi dello scenario 1 si aggiunge l'ipotesi di un'aumentata produttività, nell'ordine del 30%, passando da 2.5 pz/min a 3.25 pz/min, così da suddividere l'impatto della fase d'uso su una quantità maggiore di pezzi prodotti

Andando ad analizzare la linea modellata con le ipotesi dello scenario 1 si è visto che si hanno riduzioni degli indicatori che vanno da un minimo del 2% ad un massimo del 13%, non si ha, quindi, un abbattimento degli indicatori sufficiente a consigliare questa ipotesi come soluzione soddisfacente per rendere la linea sostenibile ai livelli della linea “As Is”.

Tabella 3 Aumento di impatto della linea “To Be” modellata nello scenario 1

Categoria d'impatto	Unità	AS IS	TO BE SCENARIO 1	Δ%
Acidification	kg SO2 eq	7,67E-01	9,80E-01	28%
Eutrophication	kg PO4--- eq	2,76E-01	2,75E-01	0%
Global warming	kg CO2 eq	1,89E+02	2,17E+02	15%
Photochemical oxidation	kg NMVOC	5,38E-01	5,65E-01	5%
Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	5,99E-04	1,81E-03	203%
Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	2,22E+03	2,79E+03	26%
Water scarcity	m3 eq	9,34E+01	1,20E+02	28%
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	2,07E-05	2,55E-05	23%

CONFRONTO IMPATTO AS IS | TO BE | SCENARIO 1

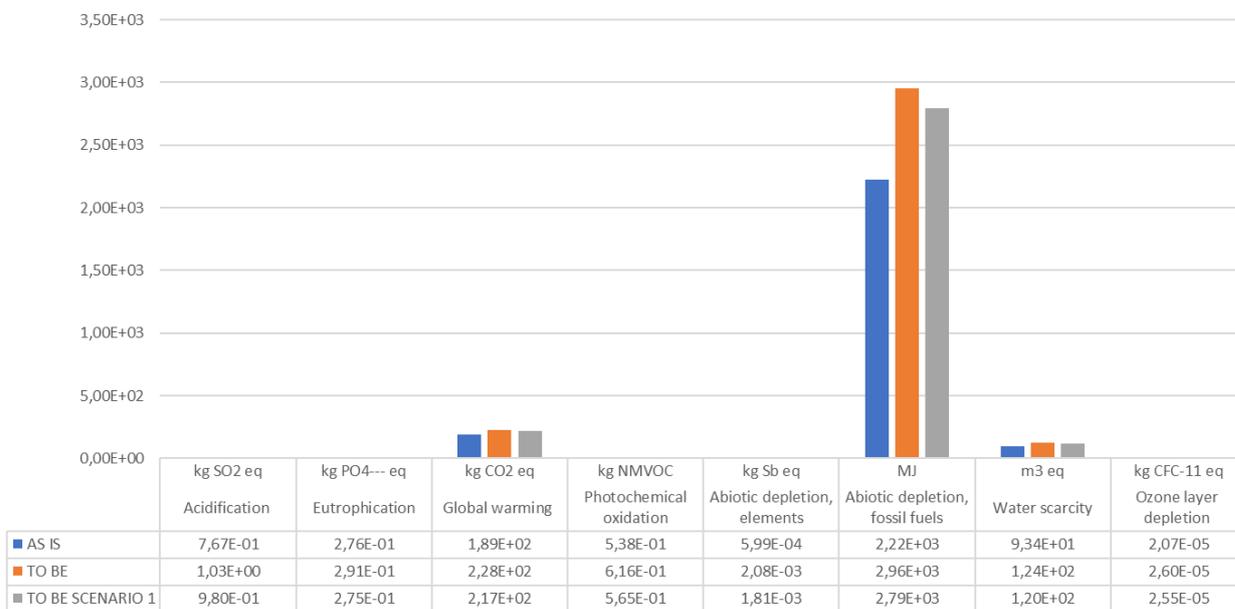


Figura 26 Confronto impatto totale linea "As Is" | "To Be" | "To Be Scenario 1"

Aumentando la produttività della linea del 30% in aggiunta all'utilizzo di materiali riciclati abbiamo che in alcuni indicatori la linea "To Be" riesce a fare meglio della linea esistente mentre l'aumento nei restanti è comunque contenuto in pochi punti percentuali, ad esclusione del depauperamento abiotico dovuto sostanzialmente alla grande presenza di materie plastiche all'interno della linea "To Be"

Tabella 4 Aumento di impatto della linea "To Be" modellata nello scenario 2

Categoria d'impatto	Unità	AS IS	TO BE SCENARIO 2	Δ%
Acidification	kg SO2 eq	7,67E-01	8,04E-01	5%
Eutrophication	kg PO4--- eq	2,76E-01	2,28E-01	-17%
Global warming	kg CO2 eq	1,89E+02	1,76E+02	-7%
Photochemical oxidation	kg NMVOC	5,38E-01	4,71E-01	-12%
Abiotic depletion, elements	kg Sb eq	5,99E-04	1,73E-03	189%
Abiotic depletion, fossil fuels	MJ	2,22E+03	2,26E+03	2%
Water scarcity	m3 eq	9,34E+01	9,52E+01	2%
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	2,07E-05	2,01E-05	-3%

CONFRONTO IMPATTO AS IS | TO BE | SCENARIO 2

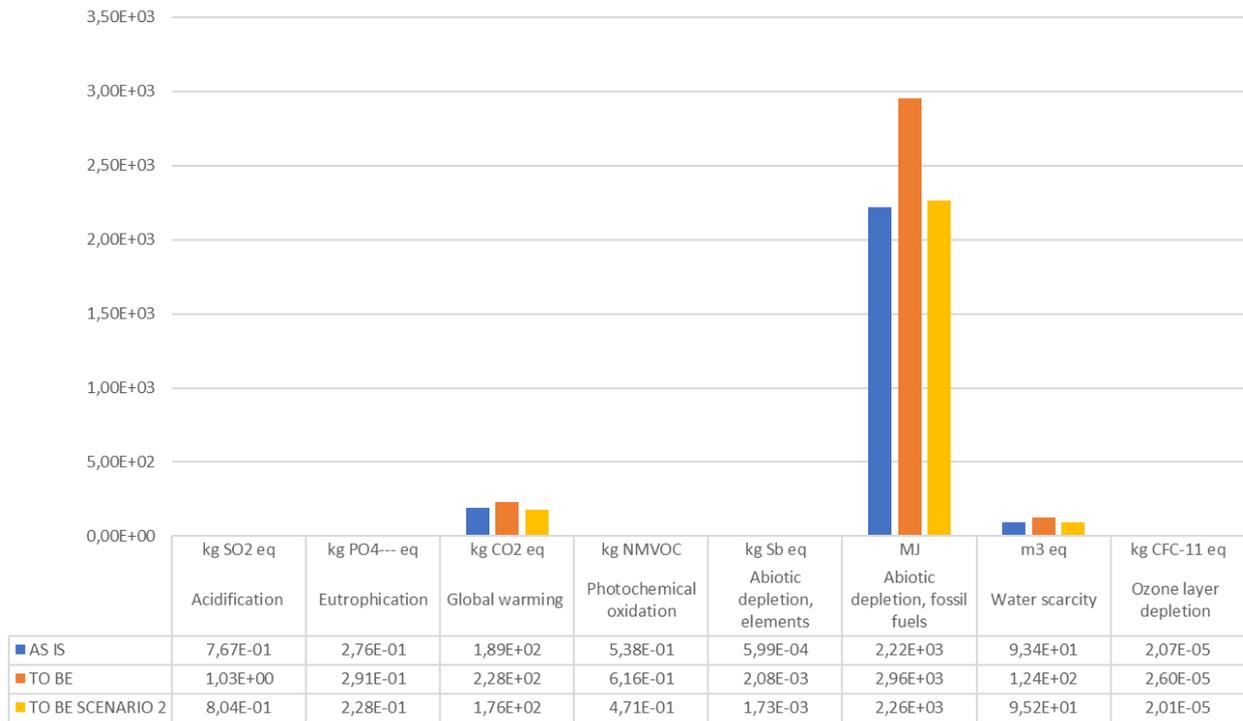


Figura 27 Confronto impatto totale linea "As Is" | "To Be" | "To Be Scenario 2"

3.13 Conclusioni

Dall'analisi svolta, considerando le limitazioni e le ipotesi fatte, la linea "To Be", purtroppo, non riesce ad avere livelli di sostenibilità ambientale migliori della linea "As Is"; questo è dovuto sostanzialmente all'incremento di impatto della fase d'uso, che in una linea semi automatizzata rappresenta la parte preponderante dell'impatto totale, e alla grande quantità di nastri trasportatori presenti.

Si è poi visto come il solo parziale utilizzo di materiali riciclati non riesca ad abbattere abbastanza l'impatto ambientale della linea (Scenario 1), e che per ridurlo ulteriormente è consigliabile cercare un aumento di produttività (Scenario 2), che nelle ipotesi fatte risulta un incremento comunque ragionevole, questo scenario tuttavia non è sempre possibile ma valutato caso per caso, in quanto non tutte le operazioni di montaggio sono ulteriormente scomponibili.

Tuttavia, andando a considerare fattori slegati dalla sostenibilità ambientale, in un contesto di industria 4.0, e in un futuro che prevede la sempre maggiore automatizzazione dei sistemi produttivi, un'azienda come LUBE non può esimersi dal miglioramento dei propri processi produttivi.

In ultimo, anche se non è un parametro preso in considerazione dall'analisi, il benessere dell'operatore riceve benefici non trascurabili nel lavoro giornaliero e, a lungo termine, la linea "To Be", a costo di un piccolo aumento di impatto ambientale in alcuni indicatori dell'EPD, che potranno essere comunque migliorati in futuro (i.e. prevedendo un ulteriore aumento di produttività o installando pannelli fotovoltaici per migliorare il mix energetico) risulta, nel complesso del contesto aziendale, una scelta migliore e auspicabile.

Bibliografia e sitografia

Hauschild M. Z., Olsen S. I., Rosenbaum R. K, *Lyfe cycle assessment, theory and practice*. Springer Nature, 2018.

“UNI EN ISO 14044. Environmental management, Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines”. International Organization for Standardization (ISO) (2006b).

D. Group, “Gestione del ciclo di vita del prodotto”, 15 10 2021. [Online]. Disponibile: <http://www.learn.univpm.com>.

Our World In Data, “Climate Change Impacts Data Explorer”. [Online]. Disponibile: <https://ourworldindata.org/>

Pré Sustainability, “Storia e sviluppo di SimaPro”, [Online]. Disponibile: <https://pre-sustainability.com/about/our-story/>

The-ecoinvent-association, “Ecoinvent History”, [Online]. Disponibile: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-association/history/>

Thinkstep, “Storia e sviluppo del software Gabi”, [Online]. Disponibile: <https://www.thinkstep.it/chisi amo/>

C. Europea, “Il Green Deal Europeo”, [Online]. Disponibile: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=SL>

IPCC, “Global Warming of 1.5 °C”, [Online]. Disponibile: <https://www.ipcc.ch/sr15/>

Tecnorulli Srl, “Rulli folli e motorizzati per trasportatori interni”, [Online]. Disponibile: <https://www.tecnorulli.com/cataloghi/>

Romano B., “Svolta Ue: stop alla vendita di auto a benzina e diesel dal 2035”, 14 07 2021 [Online].

Disponibile: <https://www.ilsole24ore.com/art/svolta-ue-stop-vendita-auto-benzina-e-diesel-entro-2035-AEZqmuW>

“Earth Overshoot Day”. [Online]. Disponibile: https://it.wikipedia.org/wiki/Earth_Overshoot_Day

World Resources Institute, “The History of Carbon Dioxide Emissions”. 21 05 2014 [Online].
Disponibile: <https://www.wri.org/insights/history-carbon-dioxide-emissions>

“Green Deal Europeo”. [Online]. Disponibile: https://it.wikipedia.org/wiki/Green_Deal_europeo

Di Donfrancesco G., “Cop26, la sorpresa dell’India: neutralità climatica (ma solo entro il 2070)”. 02
11 2021 [Online]. Disponibile: <https://www.ilsole24ore.com/art/cop26-sorpresa-dell-india-neutralita-climatica-ma-solo-entro-2070-AEt8O2t>