



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTA' DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E SCIENZE
MATEMATICHE

Corso di Laurea triennale INGEGNERIA GESTIONALE

**Analisi degli impatti ambientali di un innovativo processo di recupero
per sfridi di PMMA e PET**

**Life Cycle Assessment analysis of an Innovative Recovery Process for
PMMA and PET Waste**

Relatore: Chiar.mo

Prof. Alessio Vita

Tesi di Laurea di:

Mattia Michetti

A.A. 2022 / 2023

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
2. ECONOMIA CIRCOLARE	6
2.1 STORIA E SVILUPPO DELL'ECONOMIA CIRCOLARE	6
2.2 TEORIE E SCUOLE DI PENSIERO	8
2.2.1 CRADLE TO CRADLE	8
2.2.2 PERFORMANCE ECONOMY	9
2.2.3 BLUE ECONOMY	10
2.2.4 BIOMIMESI	10
2.3 PRINCIPI DELL'ECONOMIA CIRCOLARE	11
2.4 MOTIVI PER L'ADOZIONE DI MODELLI CIRCOLARI	12
2.5 MISURARE L'ECONOMIA CIRCOLARE	13
2.6 ANALISI SWOT DELL'ECONOMIA CIRCOLARE	14
3. ECONOMIA CIRCOLARE PER MATERIALI POLIMERICI	17
3.1 MATERIALI POLIMERICI E UTILIZZI	17
3.2 GESTIONE DELLA PLASTICA NELL'ECONOMIA CIRCOLARE	18
3.3 OSTACOLI	19
4. ANALISI LCA	21
4.1 LIFE CYCLE ASSESSEMENT	21
4.2 FASI PRINCIPALI DELL'LCA	22
4.3 INTERPRETAZIONE DEL CICLO DI VITA	23
4.4 SIMAPRO	24
5. CASO DI STUDIO	26
5.1 GEES RECYCLING SRL	26
5.2 DESCRIZIONE DEL CICLO DI PRODUZIONE	26
6. ANALISI RISULTATI DEGLI IMPATTI AMBIENTALI	32
7. CONCLUSIONI	38
8. BIBLIOGRAFIA/SITOGRAFIA	40
9. RINGRAZIAMENTI	42

1. INTRODUZIONE

Il futuro del nostro paese dal punto di vista ambientale è in un punto di non ritorno, è necessario attuare dei cambiamenti per salvaguardare il nostro pianeta e la salute degli esseri umani.

Negli ultimi anni è emerso sempre con più insistenza il problema dell'inquinamento e della disponibilità delle risorse, che hanno generato una volatilità sui prezzi difficile da gestire per tutte le aziende, le quali devono riprogrammare gli input dei propri processi produttivi.

Questo implica la necessità di nuovi modelli di business incentrati sul recupero, riutilizzo e riciclo dei materiali in modo tale da allungare la vita utile di un prodotto.

Nella tesi verrà approfondito il concetto dell'economia circolare e dell'LCA, di come questa economia potrebbe aiutare l'uomo aumentando la vita utile dei prodotti e abbandonando la mentalità della produzione di massa che ha notevoli aspetti negativi, in particolare l'enorme quantità di rifiuti prodotti che inquinano il nostro pianeta.

Questo tipo di economia dovrebbe essere replicata in tutto in mondo, specialmente in Italia, povera di materie prime ma con un'ottima industria manifatturiera.

Come caso di studio si tratterà principalmente del riciclo di materiali polimerici plastici, adottando come esempio la produzione di pannelli di recomplax d'ecò realizzati con materiali riciclati. Confrontando gli impatti economici di due scenari diversi di produzione il primo esclusivamente con materiale vergine e il secondo con scarti di materie prime di PMMA e PET. Il polimetilmetacrilato (in forma abbreviata PMMA) è una materia plastica formata da polimeri del metacrilato di metile, estere metilico dell'acido metacrilico, si tratta di un polimero termoplastico. Mentre il polietilene tereftalato – conosciuto sotto l'abbreviazione PET – è una materia sintetica termoplastica della famiglia dei poliesteri interamente realizzato con petrolio o gas metano.

L'azienda per la quale sono state eseguite queste ricerche si chiama Gees Recycling ed è una realtà innovativa operativa nell'economia circolare dei rifiuti a matrice plastica termoidurente.

Nel primo capitolo verrà esposto il concetto di economia circolare, di come è nata e delle diverse scuole di pensiero. In seguito, verranno citati i suoi principi e i motivi per il quale occorre passare a questo tipo di economia al più presto, per finire poi con un'analisi SWOT.

Nel secondo capitolo invece, viene collegato il concetto dell'economia circolare ai materiali plastici, argomento del tirocinio, di come vengono utilizzati e della loro gestione.

Per passare poi all'analisi LCA e il caso di studio preso come esempio per arrivare poi alle conclusioni del progetto.

2. ECONOMIA CIRCOLARE

2.1 STORIA E SVILUPPO DELL'ECONOMIA CIRCOLARE

L'opera "Limits to Growth" del MIT, pubblicata nel 1972, rappresentò uno dei primi e più influenti studi sulla sostenibilità e sulla gestione delle risorse naturali. L'analisi condotta nel libro indicava che se il consumo di risorse non rinnovabili e l'espansione della popolazione umana avessero continuato a crescere ai tassi dell'epoca, si sarebbe potuto raggiungere un punto di "non ritorno" in cui le risorse sarebbero state esauste e il sistema avrebbe subito una crisi¹.

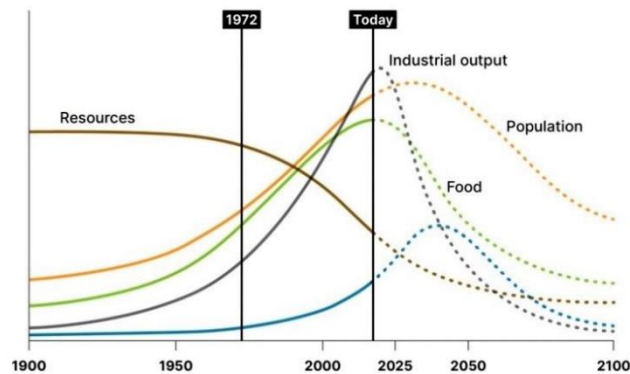
È vero che negli anni successivi sono stati fatti progressi significativi nell'individuazione di nuove risorse naturali, nell'adozione di energie rinnovabili e nell'uso dell'energia nucleare. Questi sviluppi hanno ritardato il raggiungimento del cosiddetto "picco di produzione petrolifera" e hanno contribuito a mitigare alcuni degli impatti previsti nel breve termine.

Tuttavia, è importante notare che lo studio "Limits to Growth" ha messo in luce una questione fondamentale: le risorse naturali non sono infinite, e l'uso eccessivo di risorse non rinnovabili può comportare conseguenze negative per l'ambiente e l'economia a lungo termine. Anche se si sono verificati miglioramenti e cambiamenti nelle fonti di energia, ciò non significa che il problema sia stato risolto.

In effetti, il dibattito sulla sostenibilità delle risorse e sull'uso responsabile delle stesse è molto attuale. Molti esperti ritengono che, nonostante i progressi, dobbiamo comunque affrontare il problema della gestione sostenibile delle risorse, specialmente considerando il cambiamento climatico, l'esaurimento delle risorse idriche e altre sfide ambientali.

Lo studio del MIT ha quindi sollevato importanti questioni sulla gestione delle risorse e sulla sostenibilità dello sviluppo. Anche se alcuni dei suoi scenari potrebbero essere stati ritardati o evitati grazie a innovazioni tecnologiche, il problema fondamentale della limitatezza delle risorse rimane una sfida significativa per il futuro, e l'adozione di pratiche sostenibili rimane cruciale per affrontare questa sfida.

Figura 1 I limiti allo sviluppo



L'economia circolare rappresenta un nuovo modo di gestire la produzione di prodotti che prevede un notevole riutilizzo di tutte le risorse all'interno del sistema produttivo che generano un impatto positivo dal punto di vista sia ambientale che economico. Questi impatti derivano appunto dall'adozione di pratiche di riciclo, riuso, recupero in grado di sostituire le materie prime lungo l'intera catena del valore.

La definizione di economia circolare viene data dalla fondazione Ellen MacArthur che la descrive come “un'economia industriale che è concettualmente rigenerativa e riproduce la natura nel migliorare e ottimizzare in modo attivo i sistemi mediante i quali opera”. In questo tipo di processo tutto ciò che viene considerato capitale naturale viene ricostruito, non esistono scarti ma si trasformano in alimento per altri sottoprocessi².

Nella figura N.2 viene riassunto il percorso seguito da materiali e prodotti all'interno della catena del valore. Esistono due tipi di flussi di materiali: quello biologico dove dovremmo riprogettare i prodotti finiti usando materiali sicuri e compostabili che aiutano i cibi e le piante a crescere meglio, devono essere quindi reintegrati nella biosfera; quello tecnico, invece, ci riferiamo a prodotti che non sono biodegradabili, devono essere quindi riciclati diventando così le risorse del domani e rivalorizzati all'interno della biosfera.

Figura 2 Ciclo dell'Economia Circolare



2.2 TEORIE E SCUOLE DI PENSIERO

2.2.1 CRADLE TO CRADLE

Il concetto di cradle to cradle (dalla culla alla culla) rappresenta un approccio innovativo e ambizioso alla progettazione e alla produzione sostenibile. Questo approccio mira a ridurre gli impatti ambientali e a creare impatti positivi per il sistema ambiente, distinguendosi dalla tradizionale concezione di "Cradle to Grave" (dalla culla alla tomba), in cui i prodotti sono destinati alla discarica alla fine del loro ciclo di vita.

Questa scuola di pensiero affonda le sue radici nel libro pubblicato dall'architetto William McDonough e dal chimico Michael Braungart, intitolato "Cradle to Cradle: Remaking the way we make things", nel quale viene riportato il concetto di prevedere la possibilità che processi produttivi industriali possano portare effetti positivi nei confronti dell'ambiente³.

Requisito necessario è quello di mantenere all'interno del ciclo produttivo, il più possibile, materiali e prodotti senza dover ricorrere all'impiego di nuove materie prime.

All'interno del libro, gli autori, presentano tre principi di base per effettuare codesta transizione:

- rifiuti come cibo: nel Cradle to Cradle, non esistono rifiuti, ma solo materiali in continuo ciclo. I prodotti e i materiali sono progettati per essere riutilizzati, riciclati o compostati in modo che possano essere reincorporati nel ciclo produttivo senza perdita di qualità. Questo mira a creare un ciclo chiuso, in cui i materiali non si trasformano mai in rifiuti inutili.

- uso di energie rinnovabili: l'uso di energie rinnovabili è fondamentale per ridurre l'impatto ambientale complessivo delle attività industriali. L'obiettivo è quello di minimizzare l'uso di fonti di energia non rinnovabili, che generano emissioni di carbonio e sfruttano risorse finite.
- Valorizzazione della diversità: Il Cradle to Cradle incoraggia l'integrazione di pratiche e materiali locali nelle attività industriali. Questo non solo riduce la dipendenza da risorse globali limitate ma consente anche di adattare i processi produttivi alle specificità dei luoghi in cui si svolgono, promuovendo una maggiore sostenibilità socioculturale.

2.2.2 PERFORMANCE ECONOMY

Il concetto di "performance economy" sviluppato da Walter Stahel⁴ è un approccio innovativo all'economia che mira a migliorare l'efficienza nell'uso delle risorse e a creare un sistema economico più sostenibile.

Oltre questo, la performance economy si concentra sul miglioramento aziendale, cerca di ottimizzare i modelli di business attuali che spesso generano sprechi di risorse. L'obiettivo è valorizzare l'uso delle risorse e ridurre gli sprechi, il che può portare a una maggiore efficienza e redditività per le aziende. Un altro obiettivo importante è quello di aumentare i posti di lavoro all'interno dell'economia. Ciò può essere ottenuto attraverso l'estensione del ciclo di vita dei prodotti, il riuso, la riparazione e il riciclaggio, che richiedono manodopera per eseguire queste attività.

L'obiettivo principale di questa scuola di pensiero è la capacità di preservare e mantenere il valore presente all'interno del ciclo economico tramite la continua rivalorizzazione dei prodotti al suo interno. Abbiamo quindi l'individuazione di diversi cicli individuati in termini di differenti caratteristiche quali la località geografica⁵:

- Reuse loop (mercato di seconda mano): riuso sia privato che commerciale, ovviamente viene svolto in termini di posizione geografica locale.
- Loop 1, remanufacturing: estensione del ciclo di vita del prodotto tramite riparazioni e miglioramenti, posizione geografica regionale.
- Loop 2, recycling: conversione di materiali verso altre tipologie di utilizzo, posizione geografica nazionale o globale.

Da questi tre loop è possibile definire i principi base della performance economy, ovvero, loop più piccoli tendono a essere più efficienti nell'uso delle risorse; prediligere quando

possibile il riuso; i loop sono ciclici non hanno né un inizio né una fine, e una maggiore velocità all'interno di un ciclo può comportare la perdita di una parte dei materiali.

2.2.3 BLUE ECONOMY

Il concetto di "blue economy" rappresenta un approccio alternativo e sostenibile all'economia rispetto al tradizionale modello di "red economy", che è caratterizzato da un eccessivo consumo di risorse e un impatto negativo sull'ambiente. La "blue economy" cerca di adottare principi ispirati dalla natura stessa per promuovere un'attività economica più responsabile e sostenibile. L'approccio "blue economy" promuove l'uso delle risorse locali in modo sostenibile. Le imprese cercano di sfruttare le risorse disponibili nella loro area geografica, riducendo così la dipendenza da risorse globali e il trasporto di materiali su lunghe distanze.

L'economista Pauli all'interno del suo libro introduce il concetto di "cascading nutrients energy"⁶, secondo il quale ogni impresa dovrebbe operare simulando il comportamento di una cascata, in cui l'energia utilizzata non ha alcun impatto negativo sull'ambiente e i "nutrienti" (cioè i materiali) vengono continuamente riutilizzati, in modo che nulla venga sprecato. Quindi ogni azienda dovrebbe prendere spunto dalla natura per il cambiamento del proprio modello di business.

2.2.4 BIOMIMESI

All'interno di questa scuola di pensiero viene accentuato ancora di più la natura come fonte di ispirazione. Con il termine biomimesi si intende includere tutti gli studi inerenti a sviluppo di tecnologie e processi industriali attraverso l'analisi del funzionamento della natura, ha come fine ultimo il raggiungimento del più alto grado di sostenibilità⁷.

Il termine biomimesi viene esposto in un libro di Janine Benyus⁸, il quale evidenzia gli obiettivi e le idee principali di questa scuola di pensiero. La principale ideologia che emerge è quella che il pianeta ha sempre, nel corso dell'evoluzione, trovato strategie per la risoluzione dei problemi e che l'essere umano deve servirsi di questa conoscenza e adattarla al suo contesto economico sociale.

Il concetto di biomimesi prende forma attraverso tre linee guida:

- natura come modello.
- natura come misura.

- natura come maestra.

L'idea di biomimesi è quella di apprendere dai processi naturali per progettare e gestire sistemi industriali ed economici in modo più sostenibile e in linea con la natura stessa. Ad esempio, imitando come la natura ricicla i nutrienti e minimizza gli sprechi, possiamo sviluppare processi industriali che riducono al minimo gli scarti e massimizzano il riutilizzo delle risorse.

La biomimesi è particolarmente rilevante nell'ambito dell'economia circolare, dove l'obiettivo principale è ridurre gli sprechi e massimizzare l'uso delle risorse. L'economia circolare si basa sull'idea di creare sistemi che emulino i cicli naturali, in cui tutto viene riutilizzato e nulla viene sprecato. Ad esempio, imitando come gli ecosistemi naturali riciclano i nutrienti, possiamo progettare catene di approvvigionamento e processi industriali che minimizzano la produzione di rifiuti.

In definitiva, la biomimesi e l'economia circolare condividono l'obiettivo di creare un futuro più sostenibile imitando la natura stessa. Questi approcci offrono soluzioni innovative per affrontare sfide ambientali ed economiche e contribuire a creare un mondo in cui l'umanità opera in armonia con l'ecosistema naturale.

2.3 PRINCIPI DELL'ECONOMIA CIRCOLARE

L'economia circolare affonda le sue basi nel principio delle tre R: ridurre, riutilizzare e riciclare. Sono i requisiti fondamentali per mantenere la catena del valore del modello circolare e cerca di estrarre tutto il valore possibile del ciclo di vita del prodotto. È un modello ripensato rispetto al modello di produzione tradizionale che si basa sul massimo sfruttamento delle risorse naturali ed è volto all'obiettivo di massimizzare il profitto attraverso la riduzione dei costi di produzione.

- **Ridurre:** usare la minor quantità di input per produrre e limitare l'emissione di output nocivi al nostro pianeta.
- **Riutilizzare:** favorire il riuso di materiali e prodotti che sono già stati immessi nel mercato.
- **Riciclare:** rappresenta la soluzione meno sostenibile sia in termini di efficienza sia in termini di profittabilità; quindi, è preferibile sempre riusare o riparare un prodotto prima di riciclarlo.

Figura 3 Le tre R dell'Economia Circolare



La MacArthur foundation elenca alcuni fondamenti che vanno a completare il quadro generale del modello economico⁹:

- Eco progettazione: considerare il fine vita durante la progettazione dei materiali, favorendo lo smontaggio o la ristrutturazione una volta che il prodotto viene usato;
- Estensione della vita utile del prodotto: favorire una manutenzione ricorrente;
- Energie rinnovabili;
- Approccio ecosistemico: pensando all'intero sistema e non alle singole parti;
- Recupero di materiali: sostituirle con le materie prime vergini;
- Sharing: condivisione dei prodotti in modo tale da favorirne il riuso e diminuire la produzione;
- Product as service: maggiore interazione tra cliente e azienda;
- End of life: prodotti rimessi nel ciclo produttivo dopo una trasformazione, processo chiamato "Upcycling"¹⁰.

2.4 MOTIVI PER L'ADOZIONE DI MODELLI CIRCOLARI

I dati presentati dallo studio (Mckinsey, 2016)¹¹ evidenziano una situazione preoccupante riguardo all'uso delle risorse e alla gestione dei rifiuti in Europa.

Questo scenario sottolinea la necessità di adottare modelli circolari nell'industria e nell'economia in generale. La produzione e lo smaltimento dei rifiuti rappresentano un grave problema ambientale ed economico. L'adozione di modelli circolari, come quelli promossi dall'economia circolare, può contribuire a ridurre notevolmente la quantità di rifiuti prodotti e a massimizzare il riutilizzo delle risorse, con benefici sia per l'ambiente che per le aziende.

Le principali motivazione per l'adozione del modello circolare possono essere rappresentate da tre macrocategorie:

- i benefici economici: l'adozione di pratiche circolari può portare a significativi risparmi di costi per le aziende. Utilizzando materiali e risorse in modo più efficiente, si riducono i costi di produzione e di smaltimento dei rifiuti. Inoltre, il riutilizzo di prodotti e materiali può creare nuove opportunità di business e nuovi flussi di reddito.

- le pressioni legislative: le leggi e i regolamenti ambientali stanno diventando sempre più rigorosi in molte parti del mondo. Le aziende che adottano pratiche sostenibili e circolari possono evitare multe e sanzioni, oltre a godere di incentivi fiscali e finanziamenti per progetti ecologici.

- il miglioramento dell'immagine aziendale: l'adozione di modelli circolari può migliorare l'immagine e la reputazione delle aziende agli occhi dei consumatori, dei clienti commerciali e degli investitori. Le aziende che dimostrano un impegno per la sostenibilità possono attirare una base di clientela più ampia e fedele.

Inoltre, come menzionato nel rapporto della Ellen McArthur Foundation, la crescente popolazione mondiale e la limitata disponibilità di risorse naturali rendono cruciale l'adozione di modelli circolari. Con più consumatori e una maggiore domanda di risorse, il costo degli input e dei prodotti finiti potrebbe aumentare se non vengono implementate pratiche circolari¹².

2.5 MISURARE L'ECONOMIA CIRCOLARE

La misurazione dell'economia circolare è fondamentale per valutare i progressi e gli impatti delle iniziative circolari, nonché per fornire trasparenza al mercato e ai consumatori. È necessario misurare la circolarità per stabilire il valore concreto delle azioni perseguite e da perseguire.

Per agevolare l'identificazione dei risultati ottenuti viene utilizzato un unico indice di circolarità che deve tener conto di¹³:

- Circolarità del flusso di risorse impiegate: materiali ed energia utilizzati;
- Circolarità nella fase d'uso di un prodotto o servizio: estensione vita utile, grado di condivisione, efficienza energetica, consumi e impatti ambientali.

Grazie a questi dati riusciamo a calcolare un bilancio di circolarità, calcolando costi e benefici per la gestione delle risorse. Il fine di tutto ciò è sempre quello di dare trasparenza al mercato e al consumatore.

La misurazione della circolarità si può dividere in due livelli:

- a) Macro: da applicare al sistema del Paese;
- b) Micro: da applicare al sistema delle imprese;

Per quanto riguarda le aziende, dovrebbe essere loro interesse la misurazione della circolarità di un prodotto per capire la quantità e le tipologie di risorse naturali impiegate, rinnovabili e no; riciclate e riciclabili; creando un bilancio input/output che prende in considerazione l'intero ciclo produttivo. Questo aiuta loro nella riprogettazione del modello di processo produttivo in chiave ecologica ed anche economica visto che potremmo sfruttare questi dati per una maggiore efficienza anche dal punto di vista delle quantità di materie prime riciclate da poter sostituire a quelle vergine risparmiando economicamente e anche ecologicamente con una minor produzione di impatti ambientali.

Uno strumento per valutare la circolarità dei prodotti è il bilancio input-output, le aziende lo usano per valutare quanto materiale e risorse energetiche vengono introdotte nel processo produttivo e quanto di questi materiali viene riutilizzato, riciclato o eliminato come rifiuto, questo aiuta a identificare aree in cui possono essere apportate delle migliorie.

2.6 ANALISI SWOT DELL'ECONOMIA CIRCOLARE

L'analisi SWOT è uno strumento di pianificazione strategico usato per valutare i punti di forza, le debolezze, le opportunità e le minacce di un progetto in cui bisogna prendere una decisione per raggiungere degli obiettivi¹⁴.

Per quanto riguarda i punti di forza, sono tutti i fattori che provocano un miglioramento e generano vantaggi per il raggiungimento degli obiettivi preposti.

Come primo punto abbiamo il concetto di preservare le risorse naturali del nostro pianeta cercando dove possibile di usare esclusivamente risorse rinnovabili, eliminare il concetto di rifiuto ma piuttosto rigenerare i prodotti usati sostituendo il concetto di fine vita, contribuendo alla conservazione delle risorse naturali. Incentrare gli obiettivi dell'azienda in un'ottica green favorendo gli aspetti ambientali, ciò può migliorare la sua reputazione tra gli stakeholder e i clienti preoccupati per l'ambiente, portando a una maggiore visibilità. Possibilità di lavorare in simbiosi con le altre aziende, favorendo lo scambio, la condivisione e la gestione delle risorse favorendo notevoli vantaggi ambientali ed economici. C'è un risparmio netto sul costo dei materiali grazie al riutilizzo delle merci,

al ricondizionamento dei prodotti, alla rigenerazione dei componenti e al riciclo che comporta una minore utilizzo di materiali vergini e inoltre cerca di contrastare la mitigazione della volatilità dei prezzi. Questo comporta anche una minore esternalità negative dei processi di produzione grazie all'utilizzo di materiali riciclati e ad una minore produzione di rifiuti.

Le aziende dovrebbero ripensare la produzione dei prodotti verso un'ottica che mira alla durata del prodotto e non all'economicità dello stesso, favorendo anche il recupero dei componenti dei prodotti per diminuire la spesa delle materie prime e fidelizzare il cliente. Altro punto di forza risiede nella creazione di nuovi posti di lavoro, l'ambito del riciclo può generare nuove opportunità di lavoro, contribuendo all'occupazione.

Passando ora ai punti di debolezza vediamo che non tutte le risorse possono essere riciclate come, ad esempio, le risorse non rinnovabili o in alcune risorse rinnovabili abbiamo dei limiti dettati dalla grande richieste del mercato per quanto riguarda l'energia. Ciò implica che dobbiamo per forza attingere a fonti di energia non rinnovabile, questa grande richiesta causa anche l'innalzamento dei prezzi di alcune materie prime.

Anche al punto di vista dell'energia, in ogni processo c'è sempre una perdita dovuto dal principio della termodinamica, è impossibile avere un processo totalmente circolare, perciò si deve orientare la scelte delle risorse da utilizzare verso quelle rinnovabili.

Questi aspetti negativi, scarsità di materie prime e il loro prezzo elevato limitano l'uso del modello di produzione lineare favorendo quello circolare che pone al centro i prodotti di oggi in modo tale che diventeranno le risorse del domani.

Grazie alle nuove tecnologie possiamo tracciare i materiali lungo la catena di approvvigionamento e identificare i prodotti con i relativi stati di conservazione, manutenzione ed usura.

L'utilizzo dei social network gioca un ruolo centrale per guidare il cambiamento verso un'economia circolare diffondendo una nuova cultura in brevissimo tempo, cercando inoltre di sensibilizzare l'uomo attraverso contenuti espliciti.

Le minacce che ostacolano il passaggio verso l'economia circolare, invece, risiedono nell'ignoranza dei consumatori riguardo i materiali riciclati, che provengono dalla spazzatura, visti ancora come rifiuti e non come opportunità per salvare il nostro pianeta. Oltre che sulla scelta dei prodotti convenienti rispetto a prodotti più costosi ma con una

vita utile maggiore e con un riguardo in più rispetto l'ambiente, la convenienza purtroppo la si può vedere solamente nel lungo periodo.

Inoltre, le aziende, per mancanza di incentivi statali, data la notevole differenza sul costo di produzione dei prodotti, le imprese favoriscono l'utilizzo di materie prime vergini ed energie non rinnovabili visto il minor costo d'acquisto¹⁵.

ANALISI SWOT ECONOMIA CIRCOLARE

PUNTI DI FORZA • Preservare le risorse naturali • Simbiosi tra le aziende • Ottica green favorisce maggiore visibilità • Risparmio costi dei materiali • Minori esternalità negative • Creazione di nuovi posti di lavoro	PUNTI DI DEBOLEZZA • Risorse rinnovabili limitate rispetto alla richiesta • Prezzo materie prime riciclate elevato
OPPORTUNITA' • Utilizzo social network • Scarsità delle materie prime • Nuove tecnologie	MINACCE • Ignoranza dei consumatori riguardo i materiali riciclati • Mancanza di incentivi • Ostacoli tecnologici, economici

3. ECONOMIA CIRCOLARE PER MATERIALI POLIMERICI

3.1 MATERIALI POLIMERICI UTILIZZATI

La plastica è un materiale importante e onnipresente nella nostra quotidianità, si presenta come un materiale innovativo e rivoluzionario, caratterizzato da una grande lavorabilità e versatilità. Questo fa sì che esso sia ampiamente utilizzato in tutti i settori causando così una produzione di massa incontrollata con un uso inappropriato del materiale dato che per le sue caratteristiche può considerarsi eterno ma ancora oggi viene utilizzato come prodotto usa e getta non conferendoli il giusto valore. Rimane così nell'ambiente per un tempo incredibilmente lungo, inquinando la terra ferma ma soprattutto i nostri mari, ormai invasi da enormi quantità di rifiuti plastici, che danneggiano la vita marina e possono entrare nella catena alimentare umana attraverso il consumo di pesce contaminato, bisogna intervenire al più presto per affrontare questo problema.

Negli ultimi anni il ruolo e l'importanza della plastica nella nostra economia sono cresciuti in modo costante così come la produzione di questo materiale è cresciuta esponenzialmente provocando enormi danni all'ambiente a causa di un errato o mancato riciclo. Bisogna affrontare con urgenza i problemi ambientali che incombono sulla produzione, sull'uso e sul consumo. È necessario uno sforzo da parte di tutti i soggetti coinvolti, dai produttori fino ai gestori del riciclaggio per ripensare e migliorare il funzionamento della catena del valore dei polimeri.

Una delle chiavi per raggiungere questo obiettivo è la riprogettazione dei materiali polimerici stessi. Nel recente sviluppo della ricerca sui materiali plastici, si è assistito a uno spostamento dell'attenzione non solo verso il trattamento e il riutilizzo delle plastiche a valle del loro ciclo di vita, ma anche verso la progettazione di nuovi polimeri adatti a un reinserimento più efficace nell'ecosistema.

In questo contesto, la ricerca ha portato all'emergere delle bioplastiche, materiali che derivano integralmente o parzialmente da materie prime di origine vegetale, come le risorse rinnovabili vegetali. Questa caratteristica conferisce alle bioplastiche un vantaggio significativo rispetto alle plastiche tradizionali, ottenute da fonti fossili non rinnovabili come il petrolio. Le bioplastiche possono essere considerate valide alternative alle plastiche tradizionali, poiché sono biodegradabili e possono essere lavorate e utilizzate in modo simile ai polimeri termoplastici tradizionali, mantenendo aspetto, resistenza e proprietà simili.

Al momento, i polimeri biodegradabili trovano applicazione in settori in cui i benefici ambientali giustificano il loro impiego, come nel caso degli imballaggi alimentari, che hanno un ciclo di vita relativamente breve. Questi materiali possono sostituire i polimeri tradizionali, contribuendo alla riduzione dei rifiuti plastici e dei danni ambientali.

Nonostante i vantaggi ambientali evidenti, l'adozione su larga scala delle bioplastiche è ancora limitata dalla loro non competitività economica dovuta ai bassi volumi di produzione. Tuttavia, le prospettive future sono promettenti, con previsioni di crescita del mercato dei biopolimeri e una prevista riduzione dei costi di produzione. Secondo l'Associazione Europea per la filiera delle bioplastiche, l'incremento degli investimenti e delle capacità produttive potrebbe rendere le bioplastiche una scelta preferibile rispetto alla plastica tradizionale in un futuro prossimo¹⁶.

3.2 GESTIONE DELLA PLASTICA NELL'ECONOMIA CIRCOLARE

L'UE può guidare la transizione verso la plastica del futuro. Bisogna attuare una nuova strategia per una nuova economia della plastica in cui la progettazione e la produzione di essa rispondano alle esigenze di riutilizzo, riparazione e riciclaggio. Questo implica un valore aggiunto e a una maggiore prosperità in Europa.

L'Europa ha bisogno di una visione strategica, che definisca come sarà l'economia circolare nei prossimi anni. Deve promuovere gli investimenti in soluzioni innovative e attuare misure concrete per realizzare tale visione, ciò richiede appunto l'intervento di tutti gli attori della catene del valore.

La visione per una nuova economia della plastica in Europa con un'industria intelligente, innovativa e sostenibile, dove la progettazione e la produzione rispettino le esigenze di riutilizzo, riparazione e riciclaggio, favorendo una crescita occupazionale e riducendo le emissioni di gas a effetto serra. Vediamo delle accortezze da implementare nel processo produttivo:

- Progettazione per la durata e il riciclo: La progettazione di prodotti plastici che favoriscono una vita utile più lunga e il riciclo è fondamentale per ridurre l'uso di plastica monouso e promuovere la sostenibilità. Incentivare i produttori a considerare il ciclo di vita del prodotto fin dall'inizio può portare a soluzioni innovative.

- Aumento delle tasse di riciclaggio: Aumentare le tasse sulle materie plastiche vergini e incentivare il riciclo può spingere le aziende a utilizzare plastica riciclata e ridurre la dipendenza dalla plastica vergine.
 - Rafforzamento e modernizzazione del riciclaggio: Investire nella modernizzazione delle infrastrutture di riciclaggio è essenziale per migliorare l'efficienza e la capacità di riciclo della plastica. Questo richiede investimenti sia da parte del settore privato che dei governi.
 - Limitazione dell'esportazione dei rifiuti plastici: Limitare l'esportazione di rifiuti plastici non correttamente differenziati è una misura importante per evitare che i rifiuti plastici finiscano in paesi in via di sviluppo, dove la loro gestione può essere problematica.
 - Collaborazione tra industria chimica e riciclaggio: Una stretta collaborazione tra l'industria chimica e i gestori del riciclaggio è cruciale per identificare e rimuovere sostanze che possono ostacolare il riciclo e per sviluppare processi di riciclo più efficienti.
 - Aumento della domanda di plastica riciclata: Stimolare la domanda di plastica riciclata è fondamentale per garantire il successo del riciclo. Questo può essere fatto attraverso incentivi fiscali, normative o l'adozione di standard di sostenibilità da parte delle aziende.
 - Riduzione delle importazioni di combustibili fossili: Ridurre la dipendenza dalle importazioni di combustibili fossili sostituendo la plastica vergine con plastica riciclata è un obiettivo importante per ridurre le emissioni di CO₂ e promuovere la sostenibilità.
- L'Unione Europea può svolgere un ruolo guida in questo processo, ma è necessario l'impegno sia dei governi che delle aziende e la collaborazione a livello internazionale per affrontare questa sfida globale¹⁷.

3.3 OSTACOLI

Al giorno d'oggi la plastica viene spesso prodotta con la presenza di composti polimerici inseparabili causato dall'utilizzo di additivi o con la combinazione con altri materiali, questo limita la possibilità di riciclare al meglio questo tipo di materiale. Inoltre, abbiamo ancora impianti di riciclaggio obsoleti con una basse efficienza dei sistemi di raccolta e di smistamento, La modernizzazione degli impianti di riciclaggio è essenziale per aumentare l'efficienza e la capacità di riciclaggio. Gli investimenti nelle infrastrutture di

riciclaggio e l'adozione di tecnologie più avanzate possono migliorare la qualità del materiale riciclato.

Quindi la presenza di impurità e la mancanza innovazione negli impianti crea difficoltà per il riciclaggio di questo materiale poiché potrebbero creare malfunzionamenti in fase di produzione o non raggiungere le prestazioni richieste. Il problema alla base sta nel fatto che per essere rimosse c'è bisogno di costi aggiuntivi per chi produce che preferisce perciò offrire prodotti maggiormente inquinanti.

Oltre ad ostacoli sulla produzione, abbiamo ostacoli per quanto riguarda la regolamentazione per l'igiene e la sicurezza dovute all'utilizzo delle solite sostanze chimiche utilizzate nella produzione che limitano l'utilizzo di plastica riciclata nel settore alimentare e medico, poiché ci potrebbero essere incertezze riguardo il rilascio involontario di queste sostanze.

Anche dal punto di vista economico c'è una differenza notevole sui prezzi dei polimeri riciclati e vergini che obbliga le aziende a preferire l'utilizzo di materiali vergini con un costo molto inferiore dovuto dal prezzo del petrolio. L'abbattimento delle differenze di prezzo è una sfida importante. Gli incentivi governativi, come sgravi fiscali o sostegno finanziario alle imprese che utilizzano plastica riciclata, possono aiutare a colmare questa lacuna economica e incoraggiare una maggiore adozione di materiali riciclati.

In aggiunta la percezione del consumatore è cruciale per il successo dell'economia circolare. L'educazione e la sensibilizzazione del pubblico sono fondamentali per far comprendere i benefici ambientali ed economici del riciclaggio della plastica. Le aziende possono anche svolgere un ruolo chiave nell'educare i consumatori e promuovere prodotti a base di plastica riciclata.

In generale, la transizione verso un'economia circolare della plastica richiede sforzi congiunti da parte di governi, industrie, consumatori e organizzazioni non governative. È un processo complesso che richiede innovazione tecnologica, regolamentazioni adeguate e cambiamenti culturali. Tuttavia, con l'impegno di tutti gli attori coinvolti, è possibile affrontare con successo la sfida della plastica e promuovere l'uso sostenibile di questo materiale prezioso.

4. ANALISI LCA

4.1 LIFE CYCLE ASSESSEMENT

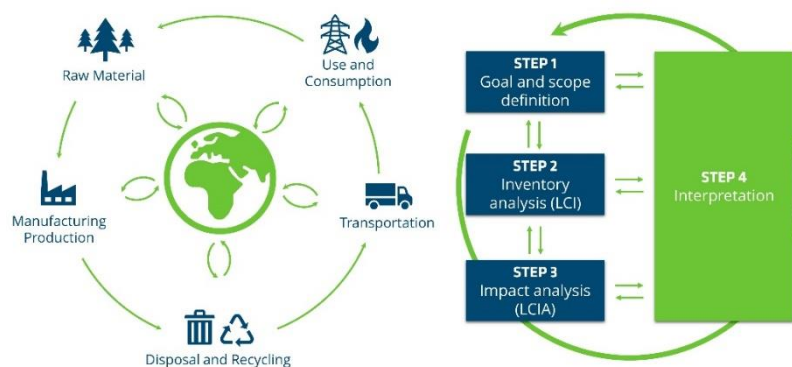
Il Life Cycle Assessment (LCA) è una metodologia analitica e sistematica che valuta l'impronta ambientale di un prodotto o di un servizio lungo il suo intero ciclo di vita. È uno strumento adoperabile dalle aziende per valutare ed interpretare gli input e gli output e di come un prodotto va ad impattare sull'ambiente, durante tutto il suo ciclo di produzione, partendo dalla materie prime che devono essere ridotte il più possibile fino ad arrivare al momento in cui il nostro prodotto diviene un rifiuto e quindi deve essere smaltito o riciclato¹⁸.

Durante questo processo vengono analizzate distintamente tutte le fasi che costituiscono la realizzazione di un prodotto, potendo così migliorare le performance di sostenibilità e circolarità, cercando di allungare anche la vita utile del prodotto.

Gli obiettivi di questa metodologia quindi diventano due: migliorare il ciclo produttivo dal punto di vista ambientale e soddisfare la domanda del consumatore visto che andiamo ad analizzare tutte le fasi di progettazione.

Tuttavia lo studio dettagliato di LCA può risultare a volte costoso (in termini economici e di tempo) e complesso da eseguirsi (si deve acquisire una notevole quantità di dati ambientali durante ogni fase del ciclo di vita, e si devono conoscere in modo approfondito sia gli aspetti metodologici standardizzati della metodologia che gli strumenti di supporto quali software e banche dati), si stanno sempre più sviluppando strumenti di “LCA semplificata” che consentano una verifica immediata del ciclo di vita dei prodotti anche a coloro che non possiedono tutte le competenze e le risorse necessarie per realizzare uno studio dettagliato.

Figura 4 LCA E FASI PRINCIPALI



4.2 FASI PRINCIPALI DELL'LCA

Lo studio dell'LCA prevede quattro fasi principali, identificate dagli standard ISO, volte a valutare l'impatto ambientale di un prodotto, processo o servizio durante tutto il suo ciclo di vita.

- La fase di definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione:
è la fase preliminare nella quale sono definiti gli obiettivi dello studio, l'unità funzionale (definisce quanto studiato), i dati necessari ed i confini del sistema. Lo scopo della definizione dei confini del sistema è di circoscrivere un'area spaziale, temporale e operativa entro la quale raccogliere dati attendibili che riflettano le reali prestazioni ambientali del sistema e ne diano una descrizione completa.

- La fase di analisi dell'inventario (fase LCI-Life Cycle Inventory):
Questa fase coinvolge la raccolta e la quantificazione dei dati relativi a tutte le materie prime, l'energia e i flussi di rifiuti associati a ciascuna fase del ciclo di vita del prodotto o servizio. Si identificano le sorgenti di dati, si raccolgono informazioni sulle emissioni, sui consumi energetici e su altri input e output del sistema.

- La fase di valutazione degli impatti (fase LCIA):
lo scopo è di fornire informazioni aggiuntive per contribuire a valutare i risultati LCI del sistema di prodotto in modo da giungere a una migliore comprensione del loro significato ambientale. Evidenzia l'entità delle alterazioni generate in seguito al consumo di risorse e dei rilasci nell'ambiente calcolati nella fase precedente. Abbiamo quattro sottofasi: classificazione, caratterizzazione, normalizzazione e pesatura. Le prime due convertono i risultati ottenuti in opportuni indicatori.

- La fase di interpretazione:
è una fase chiave in cui si analizzano e si contestualizzano i risultati ottenuti durante le fasi precedenti. Si esaminano le implicazioni degli impatti ambientali identificati e si riflette su come questi impatti possono essere utilizzati per prendere decisioni. Si identificano le opportunità di miglioramento e si formulano conclusioni e raccomandazioni.

È importante sottolineare che l'LCA può essere un processo iterativo, dove le fasi vengono ripetute o ulteriormente raffinate per ottenere risultati più accurati o per rispondere a domande specifiche.

L'obiettivo finale dell'LCA è fornire una valutazione completa e basata su dati dell'impatto ambientale di un prodotto o servizio, contribuendo così a guidare decisioni più sostenibili nel settore industriale e nella gestione ambientale.

4.3 INTERPRETAZIONE DEL CICLO DI VITA

L'interpretazione del ciclo di vita (LCA - Life Cycle Assessment) è una fase fondamentale nel processo di esecuzione di uno studio LCA. Mira a tradurre i dati e i risultati raccolti nelle fasi precedenti in informazioni utili per prendere decisioni informate e adottare azioni concrete per migliorare la sostenibilità ambientale di un prodotto, processo o servizio.

Di seguito, elenco ulteriori dettagli su alcuni punti chiave riguardanti l'interpretazione dell'LCA¹⁹:

- **Trasparenza:** La trasparenza è essenziale nell'interpretazione dell'LCA. Deve essere chiaramente indicato come sono stati ottenuti i dati, quali metodi sono stati utilizzati nell'analisi e come sono state prese le decisioni durante il processo di LCA. Questo aiuta a garantire la credibilità e la comprensibilità dei risultati.
- **Processo sistematico:** L'interpretazione del ciclo di vita deve seguire un processo sistematico che comprende l'identificazione dei collegamenti tra l'LCA e altre tecniche di gestione ambientale, la valutazione delle conclusioni alla luce degli obiettivi e del campo di applicazione definiti e la presentazione dei risultati in modo coerente.
- **Limitazioni dell'LCA:** È importante riconoscere le limitazioni dell'LCA durante l'interpretazione. L'LCA fornisce una valutazione relativa degli impatti ambientali e non prevede gli impatti effettivi. Le conclusioni dovrebbero essere basate su potenziali effetti ambientali.
- **Conclusioni e raccomandazioni:** L'interpretazione dovrebbe condurre alla formulazione di conclusioni e raccomandazioni dirette a chi deve prendere decisioni. Queste conclusioni dovrebbero essere basate sui risultati dell'analisi d'inventario e della valutazione d'impatto.
- **Comunicazione comprensibile:** I risultati dell'interpretazione devono essere presentati in modo facilmente comprensibile e completo, in modo da consentire una comunicazione efficace dei risultati agli stakeholder e alle parti interessate.

- **Riesame e revisione:** L'interpretazione può portare a un riesame e a una revisione del campo di applicazione dell'LCA, nonché dei dati raccolti. Questo processo iterativo è importante per garantire che lo studio LCA sia accurato e rilevante.
- **Riflessione dei risultati dell'LCIA:** L'interpretazione dovrebbe riflettere i risultati dell'Indagine sull'Impatto del Ciclo di Vita (LCIA), che è la fase in cui si valutano gli impatti ambientali. Questi risultati dovrebbero essere correlati agli obiettivi dello studio. Quest'ultima una fase critica poiché contribuisce a garantire che gli studi LCA siano condotti in modo rigoroso e che i risultati siano presentati in modo chiaro e utile per la presa di decisioni informate riguardo a prodotti, processi o servizi. La trasparenza, la sistematicità e la comunicazione efficace sono fondamentali per il successo di questa fase²⁰.

4.4 SIMAPRO

È un software professionale utilizzato, da aziende, università e istituti di ricerca, per condurre analisi del ciclo di vita (LCA) di prodotti e servizi al fine di valutarne le prestazioni ambientali²¹.

SIMAPRO ha diversi scopi:

- **Raccolta dei dati:** consente di raccogliere dati riguardanti il ciclo di vita di un prodotto, ad esempio informazione sulla produzione, il trasporto, l'uso e lo smaltimento.
- **Analisi dei cicli di vita:** permette di modellare e analizzare in modo dettagliato i cicli di vita dei prodotti. Questo aiuta a comprendere l'impatto ambientale considerando tutti le fasi del ciclo.
- **Identificazioni dei punti critici:** in cui il prodotto ha un impatto ambientale significativo.
- **Valutazione di strategie di riduzione dell'impatto:** valutare diverse strategie per ridurre l'impatto ambientale dei propri prodotti, include l'ottimizzazione dei processi, la scelta dei materiali più sostenibili o altre azioni correttive.
- **Generazione di report e comunicazione:** offre la possibilità di creare grafici, tabelle e report, anche con un collegamento diretto con Excel.

Inoltre, si distingue per la sua trasparenza, consentendo di avere un controllo completo sugli studi di LCA.

Le funzionalità chiave sono:

- Svolgere studi di LCA.
- Calcolare Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (EDP).
- Calcolare il carbon footprint e il water footprint a livello di prodotto e aziendale.
- Sviluppare attività di comunicazione ambientale basate su dati dimostrabili.
- Supportare l'eco-design e lo sviluppo del prodotto.
- Avviare politiche di green procurement.
- Definire indicatori di sostenibilità (KPI)²².

Le categorie di impatto sono fondamentali per ottenere risultati chiari da poter condividere. Il software dispone di un vasta scelta di metodi da utilizzare, nel caso di studio verranno utilizzato i seguenti:

- CED (Cumulative Energy Demand): definisce il consumo di energia totale di un sistema durante tutte le fasi del ciclo di vita di un processo. Questo consumo di energia può provenire da diverse fonti, tra cui energia fossile, nucleare, eolica, idroelettrica e solare. Si misura in megajoule (MJ).
- GWP (Global Warming Potential): il Potenziale di Riscaldamento Globale è una misura utilizzata per quantificare il contributo di diversi gas serra all'effetto serra e ai cambiamenti climatici rispetto al biossido di carbonio (CO₂), considerato come il gas di riferimento. Il GWP valuta quanto un determinato gas serra è in grado di intrappolare il calore nell'atmosfera rispetto alla CO₂ su un periodo di tempo specifico.
- RECIPE: valutare gli effetti ambientali di un prodotto lungo l'intero ciclo di vita, tenendo conto di una serie di indicatori di impatto ambientale. Ci sono due tipi principali di indicatori:

Di impatto intermedio (midpoint), quantificare le emissioni di sostanze pericolose e il consumo di risorse naturali nel ciclo di vita del prodotto o del processo.

Di impatto finale (endpoint), aggregano i risultati delle categorie di impatto intermedio in indicatori più generali e facili da interpretare. Le tre categorie sono il danno alla salute umana, il danno alla diversità degli ecosistemi e il danno alla disponibilità di risorse.

5. CASO DI STUDIO

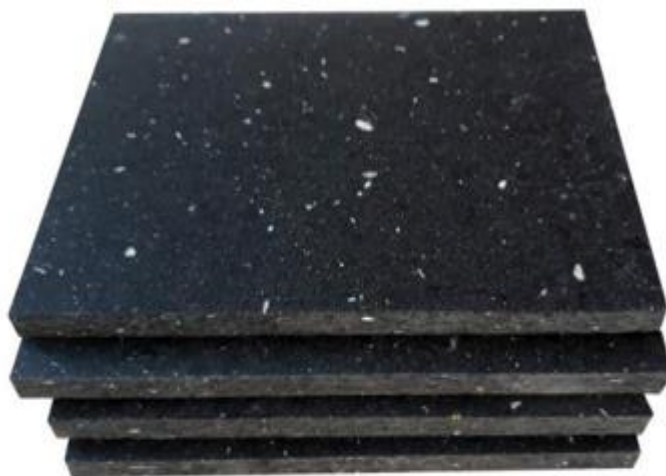
5.1 GEES RECYCLING S.R.L.

La Gees Recycling s.r.l. è una azienda innovativa e operativa nell'economia circolare dei rifiuti a base di plastica termoindurente. Fondata a Pordenone nel 2010, Gees ha brevettato una tecnologia di riciclo che consente di trasformare rifiuti (CFR, poliuretano espanso rigido, PVC espanso, PET espanso) con un processo meccanico in pannelli Recomplax, a sua volta 100% riciclabile.

Nel 2014, prima in Europa, Gees ha ottenuto la certificazione CSI "RECYCLED COMPOSITE".

L'azienda vuole ottimizzare la progettazione dei propri prodotti in un'ottica di sostenibilità ambientale che le permetta di orientare le scelte di mercato investendo su sistemi a minor consumo di risorse, controllando e mitigando gli impatti ambientali diretti e indiretti in un'ottica di politica integrata. L'approccio analitico è di tipo top-down, partendo dalla definizione dei confini generali del sistema di studio sino a scendere nel dettaglio di ciascun processo unitario.

Figura 5 Pannelli di Recomplax d'ecò



5.2 DESCRIZIONE DEL CICLO DI PRODUZIONE

Viene effettuata la sperimentazione di recupero, riciclo e riutilizzo di PMMA, PET, nonché materiali termoplastici rigenerati per la formulazione di tecnopolimeri e composti destinati a settori chiave come la automotive, la nautica/navale la fornitura di arredo urbano.

L'obiettivo dello studio è quello di realizzare appunto dei pannelli con l'utilizzo di materiali termoplastici di scarto, 100% riciclabili che vadano ad impattare il meno possibile sull'ambiente e adottare quindi un'ottica di tipo green.

Come unità funzionale viene considerata la produzione di un pannello finito di 65 Kg con dimensioni 1240x2500x18 mm³.

I test sono stati effettuati nello stabilimento di Aviano da marzo 2022 a febbraio 2023.

Per la realizzazione dei prodotti finiti sono stati seguiti i seguenti passaggi:

Step 1: approvvigionamento e trattamento degli scarti misti di PMMA e PET che vengono conferiti in cartoni con peso indicativo di 30 kg e volume stimato di circa 0.03m³.

Figura 6 Scarti di PMMA e PET



La densità è stimata in circa 1100 kg/m³. Il materiale viene macinato nell'impianto di Aviano con ultima griglia da 8 mm, generando un fiocco di media-bassa polverosità, apparentemente idoneo allo stampaggio. Gli scarti, in seguito al processo meccanico di macinazione, hanno ridotto il loro volume di circa il 50%.

Figura 7 Materia prima secondaria



Step 2: trasformazione delle nuove MPS (materie prime secondarie) ricavate dalla lavorazione dei rifiuti.

Avviene la mescolazione dei nostri scarti con un collante poliuretanico, in percentuale pari al 5%, è evidente la perfetta compatibilità dei materiali che si sono omogeneizzati in fase di mescolazione e sono quindi pronti per la distribuzione negli stampi.

Figura 8 Distribuzione negli stampi



Qui compiono due cicli di stampaggio: dove abbiamo un settaggio della macchina pressa a “ciclo leggeri off” alta pressione con un mantenimento costante della temperatura a circa 130 °C in tutte e due le sequenze di stampaggio.

Figura 9 Settaggio della pressa



Settaggio pressa “ciclo leggeri off” alta pressione.

Data la perfetta omogeneizzazione dei materiali non è stato necessario utilizzare i fogli di mylar distaccante né sul piano superiore né sul piano inferiore.

Step 3: raffreddamento delle lastre in pressa di raffreddamento per circa 15 minuti al fine di stabilizzarne la planarità. A seguito di questo ciclo, le lastre sono state squadrate e posizionate su bancale pronte per la calibratura.

Step 4: i pannelli sono stati calibrati con calibratrice a sei rulli con grana #024 e poi con grana #040.

Considerazioni generali sul risultato del test, che ha dato i risultati attesi. I pannelli prodotti sono di densità compresa tra i 1100 e i 1200 kg/m³, con spessore di 18 mm e peso di 65 kg. Per quanto riguarda le caratteristiche, hanno elevate proprietà meccaniche ed estetiche. Inoltre, dal processo risulta:

- Corretta compressione del materiale in pressa.
- Stabilità dei pannelli nello stampo.
- Agevole estrazione dei pannelli dagli stampi.
- Corretta rigidità del materiale in tutte le fasi di movimentazione e lavorazione.

Questi dati sono stati forniti direttamente dall'azienda interessata al caso di studio.

Figura 10 Esempio di utilizzo 1



Figura 11 Esempio di utilizzo 2



MATERIALE	PMMA E PET	
	Peso	30 Kg
	Volume	0,03 m3
	Densità	1100 Kg/m3
TRASPORTO	Distanza	460 Km
MACINAZIONE	Potenza tritratore	22 Kw
	h di utilizzo tritratore	0,22 h
	Potenza mulino	110 Kw
	h di utilizzo mulino	0,085 h
	Volume post macinazione	0,015 m3
MESCOLATORE	Potenza Mescolatore	17 Kw
	h di utilizzo mescolatore	0,15 h
	% Collante	5%
	Distanza fornitore collante	170 Km
	Densità pannelli	1100 Kg/m3
	Spessore pannelli	18 mm
	Dimensione pannelli	1240x2500x18 mm ³
STAMPAGGIO	Peso stampi	350 Kg
	Vita utile stampi	10 ANNI
	Distanza fornitore	10 Km
PRESSA	Potenza pressa	120 Kw
	h di utilizzo pressa	0,25 h
	Ciclo raffreddamento	0,25 h
CALIBRATURA	Potenza calibratura	27 Kw
	h di utilizzo calibratura	0,25 h
MOVIMENTAZIONE	Consumi movimentazione	40 Kw
	h di movimentazione	0,25 h

Nella tabella qui riportata, sono stati elencati tutti i dati utilizzati per la realizzazione dell'implementazione e modellazione sul software SIMAPRO. Questi dati si riferiscono alla potenza e alle ore di utilizzo di ogni macchinario utile alla realizzazione dei prodotti, alla distanza dei fornitori per quanto riguarda le materie prime secondarie (PMMA e

PET), collante e gli stampi utilizzati, di quest'ultimi viene calcolata anche la vita utile; mentre non viene considerato l'ammortamento delle attrezzature.

Tutti questi risultati sono stati calcolati in funzione dell'unità funzionale definita precedentemente, ovvero la produzione di un singolo pannello di peso pari a 65 Kg.

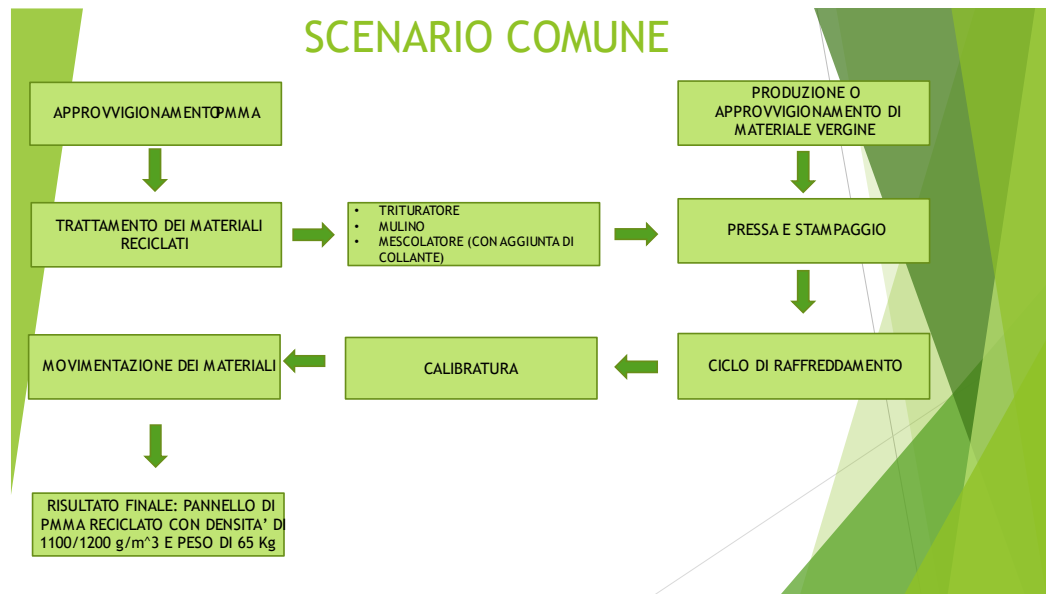
Questi sono stati di fondamentale importanza per la modellazione su SIMAPRO, che ha calcolato tutti gli impatti ambientali relativi ad ogni processo del ciclo di vita del prodotto.

Quest'ultimi sono stati calcolati grazie a dei dataset presenti nel software. Essi sono:

- Polyurethane adesive {GLO}, rappresentato in kg e riguarda il collante preso in considerazione.
- Polyethylene Terephthalate, granulate, bottle grade {GLO}, riferito al materiale vergine usato.
- Transport, freight, lorry 16-32 metric ton euro 5 (trasporto per peso materiale trasportato, KgKm) ed è riferito al collante, agli scarti di PMMA e PET, alle materie prime vergini e agli stampi.
- Electricity, low voltage {IT} market for APOS,S, calcola la quantità di energia necessaria in KWh per i vari macchinari ovvero: il tritatore, il mescolatore, il mulino, la pressa, la calibratrice e per la movimentazione dei pannelli finiti.

Questi risultati forniti da SIMAPRO sono stati presi in output ed esportati su Excel per la realizzazione di tabelle e grafici di facile interpretazione utili per far notare al meglio le differenze con l'altro processo produttivo ovvero la realizzazione dei pannelli con l'utilizzo esclusivamente di materiale vergine. Come si può notare dallo schema a blocchi riportato in figura 12, i due processi si differenziano solamente dalla materia prima utilizzata, dalla fase della pressa in poi, i due processi si equivalgono; quindi, non è riscontrata una differenza dal punto di vista degli impatti ambientali.

Figura 12 Due scenari a confronto



6. ANALISI RISULTATI DEGLI IMPATTI AMBIENTALI

Spiegato il processo che porta alla realizzazione dei pannelli, si procede alla seconda fase del tirocinio ovvero quella di implementare i dati sul software SIMAPRO e valutare gli impatti dei processi produttivi realizzando le tabelle e i grafici.

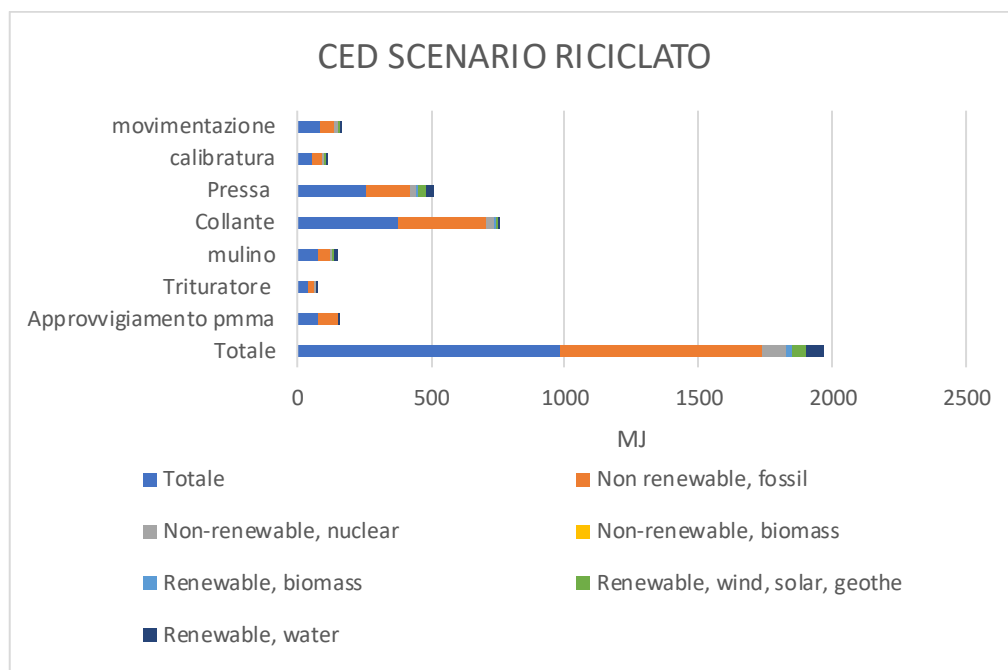
Per fare ciò verranno utilizzate le categorie d'impatto descritte prima, CED, GWP e RECIPE.

Attraverso il metodo CED per lo scenario riciclato si va a considerare l'utilizzo di risorse rinnovabili e non rinnovabili che vadano ad impattare l'ambiente durante tutto il ciclo di produzione. Non sono stati considerati gli impatti relativi alla mescolazione e alla vita utile degli stampi poiché risultavano in percentuali minime rispetto al totale.

Come si può notare dal grafico, anche se il collante rappresenta una piccola percentuale in termini di quantità rispetto ad altri materiali utilizzati nella produzione, richiede una grande quantità di energia e risorse per essere utilizzato nel ciclo di produzione. È il processo che impatta maggiormente sull'ambiente, 377 MJ che corrisponde circa al 40% del totale; anche la pressa ha un impatto significativo sull'ambiente a causa dell'energia richiesta per il suo funzionamento e del tempo di utilizzo. Questo suggerisce che potrebbe essere necessario esaminare la possibilità di migliorare l'efficienza energetica della pressa o considerare alternative più sostenibili, investendo in tecnologie più efficienti che potrebbero aiutare a ridurre l'impatto ambientale legato all'uso della pressa.

Per ridurre l'impatto complessivo di questo processo di produzione, si dovrebbe anche cercare di ridurre la quantità di collante utilizzata o cercare alternative più sostenibili con minori requisiti energetici e di risorse per la produzione.

Figura 13 Metodo CED per lo scenario riciclato



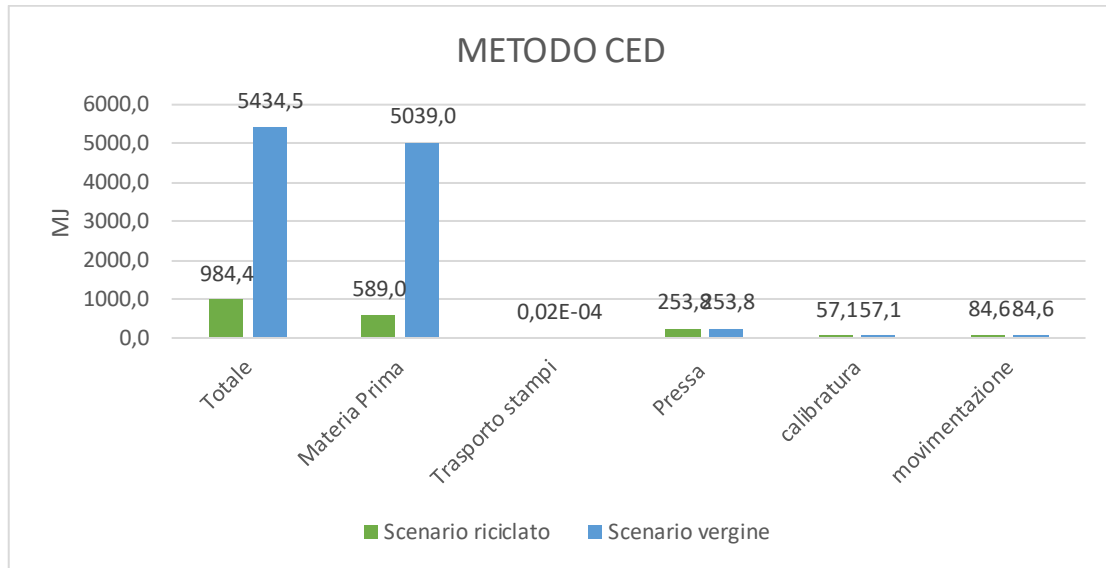
Vengono ora analizzate le differenze che sono maggiormente interessanti ai fini del progetto, ovvero il distacco che incombe tra i due scenari.

È interessante notare come l'uso di materia prima vergine, rispetto agli scarti di PMMA e PET riciclato, abbia un impatto così significativo sull'ambiente.

Viene considerato esclusivamente il totale, ma come possiamo vedere anche dalla figura N.13, si tratta prevalentemente di energia fossile non rinnovabile.

Come ci si poteva aspettare, la differenza in termini di impatti ambientali è notevole. L'energia totale espressa in MJ generata dalla produzione di prodotti realizzati con materiali vergine è circa 5.5 volte maggiore rispetto alla realizzazione di pannelli recomplax d'ecò. Questo risultato sottolinea l'importanza del riciclo e dell'uso di materiali riciclati nell'ambito della sostenibilità ambientale. Utilizzare materiali riciclati non solo riduce la domanda di risorse naturali, ma contribuisce anche a evitare l'estrazione e la produzione di nuovi materiali, che spesso richiedono un notevole dispendio di energia e risorse.

Figura 14 Confronto con metodo CED



Passando ora alla considerazione del metodo GWP, considerando un arco di tempo di 100 anni, viene calcolato l'impatto sul riscaldamento globale di un gas rispetto alla quantità di CO₂ (kg CO₂-eq).

È interessante notare che, anche utilizzando il GWP su un arco di tempo di 100 anni, la differenza tra i due scenari è ancora sostanziale, con il processo che utilizza materia prima vergine che produce 163 kg CO₂ in più rispetto al processo con materiali riciclati.

Questo risultato conferma l'importanza del riciclo e dell'uso di materiali riciclati nella riduzione delle emissioni di gas serra e nel mitigare il cambiamento climatico. Utilizzando materiali riciclati, si evita l'emissione di una quantità significativa di gas serra associata all'estrazione e alla produzione di materiali vergini.

Figura 15 Metodo GWP 100

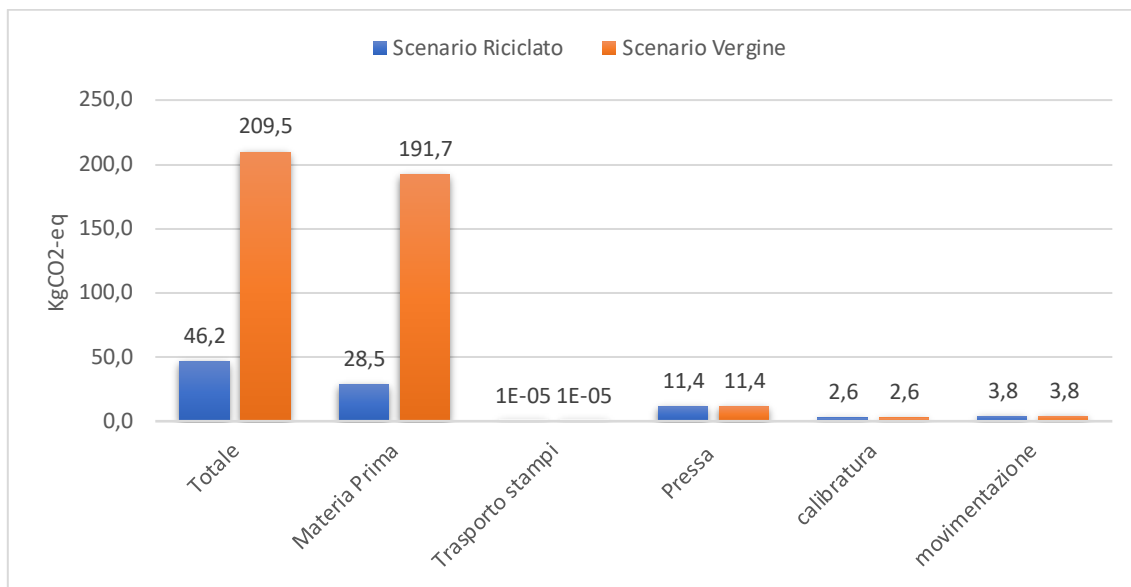
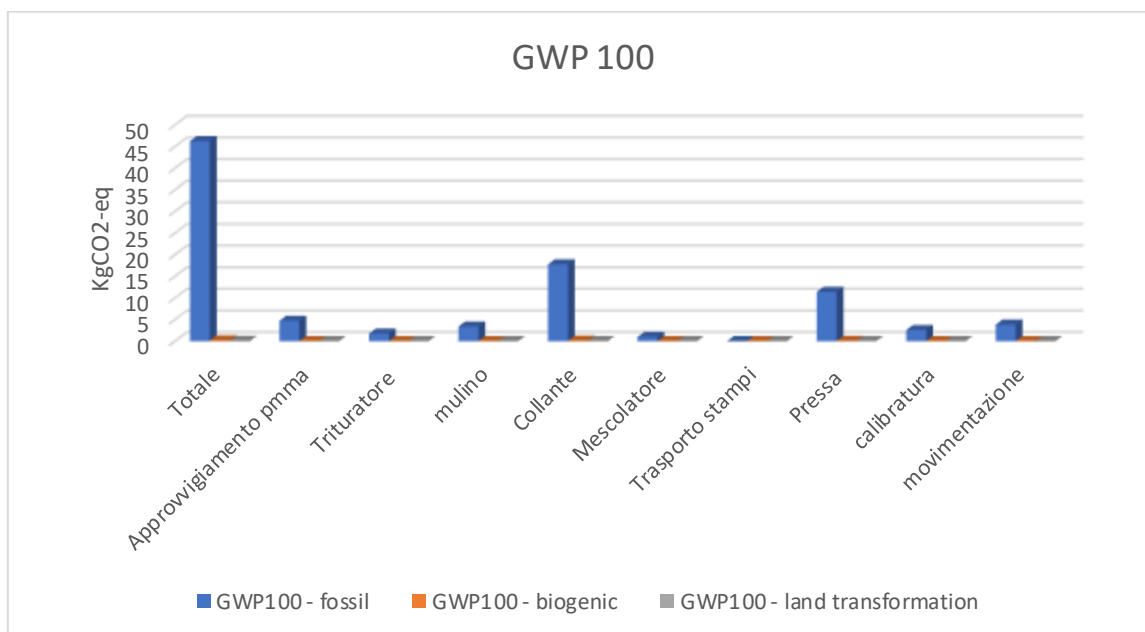


Figura 16 Metodo GWP 100 scenario riciclato



Dalla figura 16, si nota che gli impatti ambientali associati al metodo GWP si concentrano principalmente sull'aspetto fossile, mentre gli aspetti biogenico e la trasformazione del territorio siano di entità minore rispetto al totale. Questo suggerisce che le emissioni di gas serra legate all'uso di fonti di energia fossile siano la principale fonte di impatto ambientale nel contesto considerato.

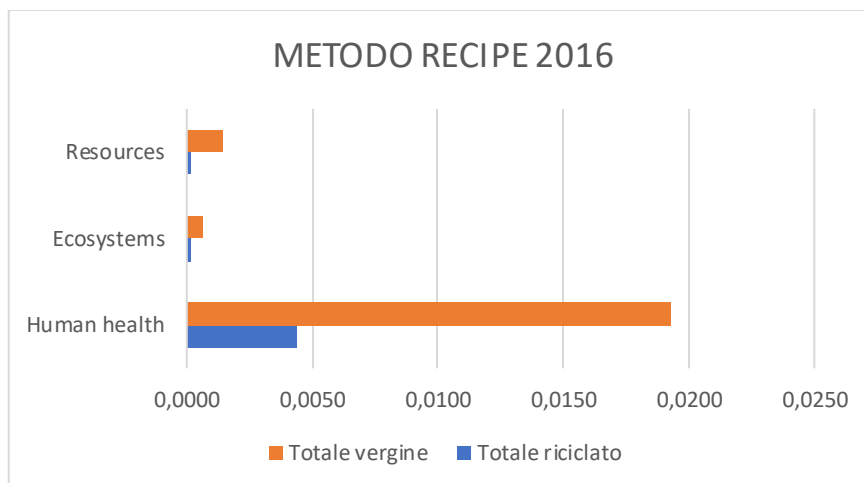
Per affrontare questa situazione e ridurre ulteriormente l'impatto ambientale associato all'aspetto fossile, se possibile, bisogna considerare la possibilità di sostituire le fonti di energia fossile con fonti di energia rinnovabile, come l'energia solare, eolica o

idroelettrica. Questo può contribuire in modo significativo a ridurre le emissioni di gas serra associate all'energia utilizzata nel processo.

Osservando i risultati ottenuti attraverso l'ultimo metodo preso in considerazione, il RECIPE, si nota subito come i due processi considerati hanno un impatto maggiore sulla salute umana. Questo è un aspetto importante da considerare, specialmente quando si tratta della produzione di materiali plastici, poiché è noto che l'industria dei polimeri e dei plastici può avere un impatto significativo sull'ambiente e sulla salute umana.

Anche l'utilizzo di risorse naturali non è da trascurare, anche se dal grafico si evince che esso è in quantità minore rispetto alla voce riguardante la salute umana, bisogna attuare delle modifiche ai diversi cicli di produzione di materiali plastici per non esaurire nel breve termine tutte le risorse non rinnovabili presenti sul nostro pianeta.

Figura 17 Metodo RECIPE 2016



7. CONCLUSIONI

In questo elaborato è stata presentata un'analisi LCA riguardante la realizzazione dei pannelli sopra indicati. Come era intuibile aspettarci, i risultati ottenuti rimarcano in modo chiaro la differenza che incombe tra i due metodi di realizzazione, uno classico con utilizzo esclusivamente di materie prime vergini e il secondo che abbraccia la filosofia dell'economia circolare e mira alla produzione di questi pannelli di plastica termoindurente con esclusivamente l'utilizzo di materie prime secondarie con impatti ambientali ridotti al minimo.

I risultati più rilevanti emersi sono:

- Notevole differenza per quel che riguarda la salute umana tra i due scenari di realizzazione e anche ovviamente per l'estrazione di risorse fossili.
- L'utilizzo del collante e la pressa per lo stampaggio sono i due processi da migliorare per quanto riguarda lo scenario riciclato.
- La quantità di CO₂ equivalente è 5 volte maggiore nello scenario vergine rispetto a quello riciclato, pari a 209.5 KgCO₂-eq.

Quindi la transizione verso un'economia più sostenibile e responsabile per il futuro del nostro pianeta e della nostra salute è di fondamentale importanza. La gestione responsabile delle risorse e la riduzione degli impatti ambientali sono obiettivi critici per affrontare le sfide globali come il cambiamento climatico e la perdita di biodiversità.

Riprogrammare i cicli di produzione dei prodotti plastici in modo da aumentare l'uso di materie prime secondarie, come il riciclo di scarti di PMMA e PET, rappresenta un passo positivo verso una maggiore sostenibilità. Come evidenziato nei risultati analizzati in precedenza, l'uso di materiali riciclati può ridurre in modo significativo gli impatti ambientali associati alla produzione. Questo non solo contribuisce a ridurre la quantità di rifiuti in discarica, ma anche a conservare risorse naturali preziose e a ridurre le emissioni di gas serra.

Inoltre, l'approccio descritto può essere applicato non solo ai processi di produzione dei materiali plastici, ma anche a molti altri processi industriali e settori. La promozione dell'efficienza delle risorse e del riciclo dovrebbe essere incoraggiata in tutti i settori dell'industria per ridurre l'impatto ambientale complessivo.

Continuare a esplorare modi per ridurre l'impatto ambientale dei processi industriali, adottare pratiche sostenibili e promuovere l'adozione di materiali riciclati è fondamentale

per affrontare sfide globali come il cambiamento climatico e la gestione dei rifiuti. Questi sforzi non solo contribuiscono a proteggere il nostro pianeta, ma anche a preservare la salute delle attuali e future generazioni.

Le sfide rimangono significative, tra cui la necessità di educare il pubblico sull'importanza del riciclo e dell'uso responsabile dei materiali plastici, la necessità di innovare nel design dei prodotti e la creazione di infrastrutture adatte all'economia circolare. Tuttavia, c'è ottimismo sul futuro, ci sono aziende e governi che si stanno impegnando sempre di più nell'adozione di strategie circolari e nell'integrazione dell'analisi del ciclo di vita nelle decisioni di produzione e consumo.

L'industria dei materiali plastici sta attraversando una trasformazione cruciale verso l'economia circolare, e l'analisi del ciclo di vita gioca un ruolo chiave in questo processo. Il nostro impegno verso un futuro più sostenibile richiede una collaborazione continua tra aziende, governi, accademici e il pubblico in generale. La strada è ancora lunga e in salita, ma con l'impegno e la determinazione, si può costruire un futuro in cui i materiali diventino parte integrante di un'economia circolare più sostenibile e responsabile nei confronti dell'ambiente, dove i rifiuti vengono trattati come la materia prima del futuro.

8. BIBLIOGRAFIA/SITOGRAFIA

- ¹ <https://rivistaeco.it/the-limits-to-growth-1972-rapporto-che-ci-ricorda-che-la-terra-non-e-infinita/#:~:text=Roma%20Ultime%20notizie-,The%20Limits%20to%20Growth%2C%201972%3A%2050%20anni%20fa%20il%20p,rimo,anniversario%20diversi%20eventi%20in%20programma.>
- ² <https://economiecircolare.com/cose-economia-circolare/>.
- ³ McDonough, W. and Braungart, M. (2002), “Cradle to cradle: Remaking the way we make things”, New York, North Point Press.
- ⁴ Stahel, W. R. (2010) “The performance economy”, Seconda ed, Basingstoke, Palgrave Macmillan.
- ⁵ Stahel, W. R. and Clift, R. (2016) “Stocks and Flows in the Performance Economy”, Taking Stock of Industrial Ecology, Cham, Springer International Publishing.
- ⁶ Pauli, G. A. (2010), “The blue economy: 10 years, 100 innovations, 100 million jobs”, Taos NM, Paradigm Publications.
- ⁷ Marshall, A. and Lozeva, S. (2009), “Questioning the theory and practice of biomimicry”, International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, vol. 4, no. 1.
- ⁸ Benyus, J. M. (1997), “Biomimicry: Innovation inspired by nature”, New York, Morrow
- ⁹ www.economiecircolare.com
- ¹⁰ “economia circolare: come lo spreco può diventare una risorsa”, Zalunardo Marco, università di Padova, a.a. 2017-18.
- ¹¹ <https://www.regionieambiente.it/economia-circolare-ue/>
- ¹² “strategie di circular economy per imprese multinazionali B2C”, Lombardo Marco, politecnico di Torino, a.a. 2018-19, tesi di laurea.
- ¹³ Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, 2017, “Verso un modello di economia circolare per l’Italia”, Documento di inquadramento e di posizionamento strategico
- ¹⁴ https://it.wikipedia.org/wiki/Analisi_SWOT
- ¹⁵ “Economia circolare un approccio sistematico per il bene comune”, Timoneri Silvia, università di Palermo, a.a. 2018-19, tesi di laurea.
- ¹⁶ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620312051>
- ¹⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52018DC0028&from=SK>

¹⁸ ISO Norm 14040:2006, “Life cycle assessment: Principles and framework”.
Environmental management (ISO) 2009a.

¹⁹ <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/certificazioni/ipp/lca>

²⁰ Iso - 2011 - Valutazione del ciclo di vita Requisiti e linee guida

²¹ <https://simapro.com/>

²² <https://to-be.it/strumenti/simapro-software-di-life-cycle-assessment/>

FIGURE:

Figura 1: I limiti allo sviluppo.

Figura 2: rappresentazione dell'economia circolare, immagine presa da internet.

Figura 3: Immagine esplicativa delle tre R.

Figura 4: Rappresentazione dell'LCA e fasi principali

Figura 5: Pannelli di recomplax d'ecò.

Figura 6: Scarti di PMMA e PET.

Figura 7: Nuova materia prima macinata.

Figura 8: Distribuzione negli stampi.

Figura 9: Settaggio della pressa.

Figura 10: Esempio di prefabbricato realizzato con materiale riciclato.

Figura 11: Esempio di tavolino realizzato con materiale riciclato.

Figura 12: Scenario riciclato e vergine a confronto.

Figura 13: Metodo CED per lo scenario riciclato.

Figura 14: Confronto tra i due scenari con metodo CED.

Figura 15: Confronto tra i due scenari con metodo GWP 100.

Figura 16: Metodo GWP 100 scenario riciclato.

Figura 17: Metodo RECIPE 2016.

9. RINGRAZIAMENTI

Sono arrivato finalmente alla fine di un percorso che rappresenta un grande passo in avanti per la mia carriera.

Ovviamente non è stato semplice, ci sono stati parecchi momenti bui in questi anni, ma la felicità che sto provando in questo momento mi ripaga di tutti gli sforzi e le difficoltà che ho affrontato per terminare l'università.

Questi tre anni mi hanno aiutato a capire chi sono e cosa voglio per il mio futuro, mi hanno reso più responsabile e più maturo, consapevole delle mie capacità e di quello che potrò fare in futuro.

Ci tengo a ringraziare il professore Alessio Vita che mi ha dato l'opportunità di approfondire un argomento molto importante al giorno d'oggi quale la sostenibilità ambientale. Inoltre, ringrazio il dottorando Iacopo Bianchi che anche se non presente formalmente, mi è stato di grande aiuto per la realizzazione della mia tesi e per approfondire al meglio le tematiche dell'argomento.

Continuo ringraziando le persone che mi sono state vicini in questo magnifico percorso, in primis la mia famiglia, mia madre Luisella, mio padre Paolo e mio fratello Simone, che mi sono stati sempre al mio fianco nel bene e nel male, non facendomi mancare mai nulla.

Ringrazio i miei nonni, in particolare quelli materni, Giuseppina e Fiore che mi hanno cresciuto e educato quindi è grazie principalmente a loro che oggi sono il ragazzo che sono.

Ringrazio Noemi la mia ragazza, anche se da poco, mi sta vicino e mi rende le giornate belle e piene di allegria.

Ringrazio mia zia Katia e mia cugina Giulia per tutto il bene che mi dimostrano giorno dopo giorno.

Per ultimi ma non per importanza, passiamo agli amici, ringrazio quelli di sempre, Riccardo, Federico, Luca, Francesco, Filippo, Matteo, Samuele e Stefano che ci sono sempre stati e sono certo che ci saranno sempre quando ne avrò bisogno, con le loro battute e le loro scemenze donano serenità e spensieratezza.