



Alma Mater Studiorum
Università di Bologna

Dipartimento di Architettura

Tesi di Laurea Magistrale in
Advanced Design del Prodotto

Bioplastica e progettazione sostenibile:

Calzature per l'infanzia che integrano materiali
rinnovabili e un ciclo di vita consapevole

Relatore
Flaviano Celaschi
Correlatrice
Ludovica Rosato

Candidato
Salim Znaidi

Anno Accademico 2022/23

INDICE

• Abstract

1 Progettazione per sostenibilità ambientale: la

1.1 Il quadro di riferimento	12
1.3 La dimensione socioetica	15
1.4 La dimensione economica	15
1.5 La qualità del cambiamento	16
1.6 Risorse a basso impatto ambientale e Life Cycle Design (LCD)	18
1.7 I requisiti ambientali dei prodotti industriali	19
1.8 Il Life Cycle Design e i suoi obiettivi	22
1.9 Implicazioni di un approccio di Life Cycle Design	23
1.10 Le strategie del Life Cycle Design	24
1.11 Vincoli economici del modello tradizionale dell'offerta	24
1.12 Sistemi di prodotto-servizio eco-efficienti e nuovi modelli di business favorevoli ad un approccio sostenibile	25

2 Economia circolare e design

2.1 Breve storia dell'economia circolare	28
2.2 Cradle to cradel e blue economy	29
2.3 Ellen MacArthur Foundation e gli sviluppi attuali	30
2.4 Una teoria dell'economia circolare	31
2.5 Vantaggi dell'economia circolare	32
2.6 Le particelle elementari dell'economia circolare	33
2.7 Introduzione al design circolare	35
2.8 L'economia circolare è guidata dal Design	39

3 La materia dell'economia circolare

3.1 Gli scenari della materia	40
3.2 I materiali neo-classici: le grandi filiere dell'economia circolare	43
3.3 I materiali ex-novo	44
3.4 Le bioplastiche	45
3.5 Panorama generale	46
3.5 Lo sviluppo delle bioplastiche	47
3.6 Il ruolo della politica	47
3.7 Applicazione delle bioplastiche	48
3.8.1 Industria automobilistica	48
3.8.2 Imballaggi	49
3.8.3 Servizi alimentari	49
3.8.4 Agricoltura	50
3.8.5 Elettronica di consumo	49
3.9 Contenuto biologico e contenuto carbonioso	49
3.10 Materia prima rinnovabile	50
3.11 Uso del suolo	51
3.12 Gestione dei rifiuti e opzioni di recupero per le bioplastiche	51
3.13 La compostabilità	52
3.14 I PolidrossiAlcanoati (PHA)	53
3.15 Applicazioni del PHA	54
3.16 Costi di produzione	56
3.16 Biodegradazione dei PHA	57
3.17 Compostaggio dei PHA	58

4 Sostenibilità e calzature

4.1 L'impronta ecologica dell'industria calzaturiera	61
4.2 Ciclo di vita delle calzature	62
4.3 Impatti ambientali dei materiali per calzature	64
4.4 Gestione dei rifiuti delle calzature	66
4.4.1 La discarica	66
4.4.2 Il riutilizzo	66
4.4.3 Il riciclo	66
4.4.4 Il recupero dei rifiuti	67
4.5 La strategia proattiva e i miglioramenti progettuali	68
4.6 Il caso Adidas per Parley for the Oceans	68
4.7 Impiego dell'additive manufacturing nell'industria calzaturiera	70
4.8 La sostenibilità della AM	71
4.9 Prime declinazioni dell'AM per la produzione di scarpe	72
4.10 Un nuovo approccio	74
4.11 Emissioni delle scarpe stampate in 3D:	75
4.12 Emilie Burfeind e il caso "Sneature"	77
4.13 Il caso Nike e le scarpe modulari	78
4.14 Ulteriori miglioramenti di processo, il knitting 3D	78
4.15 Parametri della macchina da maglia	78
4.16 Parametri del filato	80
4.17 Tipologie di maglia	80

5 Il progetto

5.1 Il Focus	85
5.2 Requisiti progettuali	86
5.3 Il Target	89
5.4 Il Progetto	90
5.6 Materiali	94
5.6.1 lamNature:	94
5.6.2 I benefici di lamNature:	95
5.6.3 Fibra di Bambù:	96
5.7 Render	98
5.8 Sviluppi futuri	104
5.9 Conclusione	105

ABSTRACT

La presente tesi magistrale si propone di esplorare l'importanza e l'impegno dei progettisti nel contesto del design consapevole, concentrando l'attenzione su un settore particolarmente delicato e promettente: le calzature destinate ai bambini durante i primi passi. Questa fase critica offre un'opportunità unica per sviluppare approcci innovativi e sostenibili nella progettazione di calzature.

Nel corso della crescita rapida dei piedi dei bambini, la necessità di un continuo rinnovo delle calzature emerge come una sfida rilevante. Questa pratica può contribuire significativamente all'aumento del volume di rifiuti destinati alle discariche, con impatti ambientali significativi.

La tesi si propone di affrontare questa problematica, stabilendo l'obiettivo di conciliare le esigenze pratiche e di sviluppo dei bambini con la necessità di mitigare l'impatto ambientale derivante dalla produzione e dallo smaltimento delle calzature.

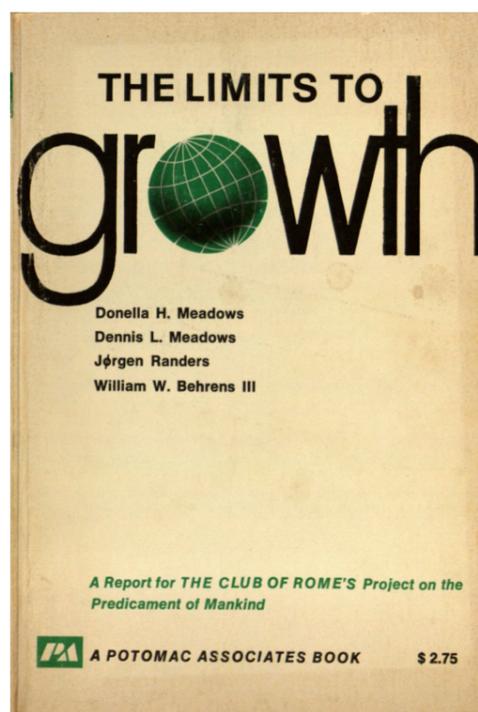
Attraverso un approccio interdisciplinare che integra indagini nel campo del design, dello sviluppo del bambino e della sostenibilità, la ricerca si concentra sulla creazione di soluzioni innovative che rispondano alle esigenze specifiche dei piccoli utenti, garantendo al contempo un'impronta ecologica ridotta. L'obiettivo finale è contribuire alla definizione di linee guida per una progettazione consapevole nel settore delle calzature per bambini, promuovendo pratiche sostenibili e riducendo l'impatto ambientale negativo associato a questa fase critica della crescita.



PROGETTAZIONE PER LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Negli ultimi anni, concetti quali sviluppo sostenibile e sostenibilità ambientale hanno assunto un ruolo significativo nell'agenda politica globale. Questo fenomeno ha posto dei vincoli importanti sullo sviluppo sociale ed economico, definendo inizialmente dei limiti di crescita in base alla capacità del pianeta di assorbire impatti e trasformazioni senza che vi siano dei fenomeni irreversibili di degrado ambientale.

Inoltre, bisogna considerare la necessità di preservare le risorse naturali per le generazioni future, promuovendo il principio per cui ogni individuo ha il diritto ad un equo accesso al capitale naturale a livello globale.



1.1 Il quadro di riferimento

La questione ambientale ha iniziato ad emergere negli anni '60 a causa della celere crescita dell'industrializzazione.

Tuttavia, bisogna aspettare il decennio successivo perché gli aspetti ambientali ricevano una considerazione scientifica, partendo dal tracciamento dei limiti ambientali.

Il dibattito si è aperto concentrandosi sul degrado e sull'esaurimento delle risorse ambientali a causa dell'azione umana e della crescita della popolazione a livello globale.

In questo contesto, "I limiti per lo sviluppo" fu uno dei primi documenti scientifici risalente al 1972 e redatti da Donatella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers e William W. Behrens, a trattare il rischio di un collasso dell'ecosistema globale.



È, però, negli anni '80 che il dibattito sull'ambiente si iniziò ad intensificare e diffondersi a livello internazionale, con le principali istituzioni che si occuparono della promozione di politiche e normative basate sul principio del "chi inquina paga". Mentre nel 1991 si assistette alla pubblicazione del documento "Caring for the Earth: A strategy for sustainable living" da parte di diverse organizzazioni, tra cui l'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura, il programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente e il World Wildlife Fund (WWF) in cui si definisce il concetto di sviluppo sostenibile come il miglioramento della qualità della vita umana entro i limiti della capacità di rigenerazione degli ecosistemi.

Da questo punto in poi, lo sviluppo sostenibile divenne una presenza costante nei documenti delle organizzazioni internazionali, con l'obiettivo di correggere gli aspetti ecologici dei sistemi di sviluppo sociale ed economico.

Con l'avvento del nuovo secolo, è cresciuta l'enfasi sulla partecipazione attiva di tutti gli attori coinvolti nella produzione e nel consumo di beni e servizi. In quest'ottica, nel 2006, è stata introdotta la Strategia di Sviluppo Sostenibile da parte del Consiglio Europeo, in cui si mira ad un graduale cambiamento nel modello attuale di consumo e produzione, considerato insostenibile, ponendo grande attenzione sull'esigenza di rafforzare la solidarietà globale, coinvolgendo i Paesi in via di sviluppo, fondamentali per la salvaguardia del pianeta. In quest'ottica, le Nazioni Unite hanno tentato di sottolineare le differenze tra i vari Paesi, considerando l'impatto ambientale in relazione al sistema economico e sociale, promuovendo principi quali l'equità e l'inclusione.

È nel 2015 che le Nazioni Unite, nella sede di New York, hanno tenuto un Summit per lo Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development Summit), in cui è stata redatta l'agenda sullo sviluppo sostenibile 2030 contenente i 17 obiettivi per permettere l'integrazione dello sviluppo sociale ed economico con uno sviluppo che sia ambientalmente sostenibile, oltre ad affrontare questioni fondamentali come la pace nel mondo, la sicurezza, lo stato di diritto ed il buongoverno.

Per una comprensione più chiara, il concetto di sostenibilità può essere suddiviso in tre dimensioni interconnesse:

- La dimensione ambientale (il pianeta): in cui l'obiettivo principale è quello di produrre ad un ritmo al di sotto della capacità del pianeta di assorbire perturbazioni antropiche senza che vi siano dei fenomeni irreversibili di degrado, quali il riscaldamento globale.
- La dimensione sociale: (le persone): ci si concentra nella preservazione delle risorse del pianeta in modo da soddisfare i bisogni delle generazioni future ed attivarsi per una paritaria redistribuzione delle risorse.
- La dimensione economica (il profitto): contempla la sfida di dirigere l'economia verso piani innovativi ricchi di conoscenze, competitivi ed eco-efficienti. Si punta verso alti standard di vita ed una piena occupazione.

1.2 La dimensione ambientale:

Esaminando gli impatti ambientali, diventa chiara la relazione di interconnessione tra il sistema di produzione e consumo e l'ambiente naturale. Queste interazioni si possono sviluppare in due distinte direzioni.

Da un lato, si hanno fenomeni di "input", caratterizzati dall'estrazione di sostanze dall'ambiente, mentre, dall'altro lato si osservano fenomeni di "output", che comportano l'emissione di sostanze nell'ambiente.

Le valutazioni del Gruppo Intergovernativo sul Cambiamento Climatico evidenziano come in assenza di azioni mirate per mitigare le emissioni di gas serra, il livello dei mari è destinato a crescere di circa 0,8 metri come media globale. Di conseguenza, sono numerose le aree geografiche che rischiano di essere sommerse, mettendo in pericolo l'attuale equilibrio degli ecosistemi.

Un'ulteriore problematica rilevante è costituita dalla questione dei rifiuti. È sufficiente pensare al fatto che solo nel 2015 sono stati generati 1,3 miliardi di tonnellate di rifiuti solidi urbani. Esaminando i dati forniti dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, si evince che nel 2012, in Italia, le morti premature dovute all'inquinamento atmosferico di origine antropica hanno toccato quota 84.000, ed estendendo questo dato a livello europeo, i decessi arrivano fino a 491.000.

In termini di strategie di intervento, la linea guida è la conservazione delle risorse mediante un uso più oculato delle stesse e preferire quelle rinnovabili. Contemporaneamente è importante ridurre le emissioni inquinanti e promuovere la loro compatibilità con l'ambiente. Tenendo conto di queste direttive, è possibile indicare 3 differenti scenari:



Un secondo rapporto da menzionare è "The State of Food Insecurity in the World" pubblicato dall'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura (Food and Agriculture Organisation, FAO), che fornisce una panoramica sulla povertà e la malnutrizione a livello globale dal 1990 al 2016.

Da tale documento emergono due tendenze degne di nota: in termini di percentuale vi è stata effettivamente una diminuzione delle persone denutrite nel mondo; tuttavia, analizzando più attentamente alcuni valori di determinati paesi, quali gli Stati dell'Africa Subsahariana, si assiste ad un inaccettabile aumento delle percentuali

1.4 La dimensione economica:

È irrealistico considerare la progettazione sostenibile senza coinvolgere il fattore economico, che gioca un ruolo fondamentale in ogni aspetto della produzione di beni e servizi. La sostenibilità ambientale deve, infatti, essere un modello di produzione e consumo ambientalmente e socio-eticamente sostenibile, ma soprattutto economicamente praticabile. Ci sono tre vie percorribili per rendere la sostenibilità praticabile:



- Lo scenario della bio-compatibilità: scenario in cui input e output dei sistemi di produzione e consumo di beni e servizi sono progettati tenendo in considerazione la compatibilità con l'ecosistema naturale. Questo obiettivo è raggiungibile promuovendo le risorse rinnovabili e la produzione di rifiuti ed emissioni biodegradabili.



- Lo scenario della non-interferenza: in tale ottica gli input del sistema di produzione e consumo di beni e servizi sono ricavati dallo stesso sistema antropico di produzione e consumo; dunque, il sistema non interferisce con la natura. Un chiaro esempio è l'utilizzo di materiali riciclati.



- Lo scenario della dematerializzazione: una strategia in cui l'approccio principale è la riduzione al minimo degli input e output del sistema di produzione e consumo, ad esempio tramite i servizi di posta elettronica, o la carta di credito.

1.3 La dimensione socioetica:

La sostenibilità socioetica affronta il principio di equità, ossia il principio per cui "ogni persona, in un'equa distribuzione delle risorse, ha diritto allo stesso spazio ambientale, ovvero alla stessa disponibilità delle risorse globali naturali"; dunque allo stesso livello di soddisfazione. Un pilastro alla base della sostenibilità socioetica è sicuramente l'eliminazione della povertà a livello globale.

Un'azione finalizzata a questo obiettivo fu la redazione della Dichiarazione del Millennio (Millennium Development Goals, MDG) con un primo obiettivo di sradicare la povertà estrema e la fame nel mondo, puntando alla riduzione del 50% della popolazione che vive in condizioni di estrema povertà.

- L'orientamento del sistema di produzione verso soluzioni sostenibili, quindi capire come rendere il sistema sempre più interconnesso e favorendo una società dei servizi.
- Il tentativo di internalizzare i costi delle risorse. Vi sono svariati aspetti che spesso non vengono considerati essendo effetti indiretti della produzione. Tipico esempio è il disboscamento delle foreste tropicali, che può comportare l'erosione del suolo e la conseguente perdita di biodiversità. Tali effetti non vengono considerati nel prezzo di acquisto del legno, malgrado rappresentino un alto costo per la società. Perciò, quando si parla di internalizzazione del costo delle risorse, ci si riferisce precisamente all'inclusione nel costo del prodotto commerciale anche i costi definiti "ambientali".
- Valorizzare modelli produttivi promettenti, ma che sono ancora di nicchia.

1.5 La qualità del cambiamento:

Numerose ricerche ipotizzano che, in considerazione degli incrementi demografici previsti e la conseguente crescita di domanda di benessere, affinché le condizioni di sostenibilità possano essere praticabili, si dovrebbe aumentare di almeno 10 volte l'eco-efficienza dell'attuale sistema di produzione e consumo di beni e servizi. Questi sono dati molto approssimativi, ma rappresentano comunque un valido metodo di valutazione della dimensione del cambiamento che si dovrebbe attuare.

Nei decenni a venire, la soluzione sembra orientata ad un passaggio da una società in cui il benessere è misurato in termini di produzione e crescita del consumo a una società in cui l'economia si concentra sulla riduzione della produzione di beni materiali.

Perciò, si sente l'esigenza di passare da un approccio "end of pipe", dunque di rimedio del danno, ad uno più orientato a risolvere le problematiche partendo dalla radice. Questo può avvenire solo ponendosi le giuste domande durante ogni fase nella catena di sviluppo e progettazione di manufatti. Ne consegue la formazione di una nuova generazione di professionisti con competenze tali da poter utilizzare e sfruttare nuovi strumenti e conoscenze. La sostenibilità è un campo che interessa una vasta gamma di contesti, che vanno dai sistemi industrializzati e complessi a quelli più semplici e a basso reddito. Nel primo caso vi è la necessità di ridurre l'uso delle risorse considerando l'intero sistema di produzione e il completo ciclo di vita del manufatto. Mentre nei sistemi a basso reddito è utile consentire ai sistemi di produzione di pareggiare i costi di consumo e di gettare le basi per uno sviluppo futuro in linea con le esigenze dell'ambiente.

Inoltre, è importante considerare i dati presentati da Oxfam, la confederazione internazionale di organizzazioni non profit che si occupano di riduzione della povertà globale, secondo cui attualmente solo il 20% della popolazione mondiale utilizza circa l'80% delle risorse disponibili.

Per ovviare a tale situazione critica, la Commissione Europea ha definito normative e politiche per lo sviluppo sostenibile, adottate nel 2006 e confermate nel 2009.

A partire dagli anni '70 del '900, gli studiosi hanno iniziato a condurre ricerche sull'impatto ambientale delle varie risorse e sulle fonti energetiche. I temi fondamentali sono stati l'atossicità, la riciclabilità, la biodegradabilità

Ma è solo durante la metà degli anni '90 che si inizia ad adottare questo approccio anche nel mondo della progettazione a livello di prodotto. In questi anni, infatti, si iniziano ad introdurre tematiche quali il ciclo di vita di un prodotto e il concetto di unità funzionale, ossia la funzione del prodotto vincolata alla sua progettazione. Dunque, si inizia a considerare il prodotto come un elemento complesso inserito in un sistema di produzione che, deve essere concepito in modo globale, tenendo conto di tutti gli aspetti del suo ciclo di vita fino alla dismissione.

In tal senso, la ricerca non si è mai conclusa, anzi, ora più che mai è di fondamentale importanza approfondire la via dell'eco-efficienza per preservare le risorse ambientali e migliorare le

condizioni di vita a livello mondiale.

Nei prossimi paragrafi verranno mostrati brevemente i principali strumenti e le metodologie che permettono ai progettisti di includere la sostenibilità ambientale in ogni fase del processo di progettazione.



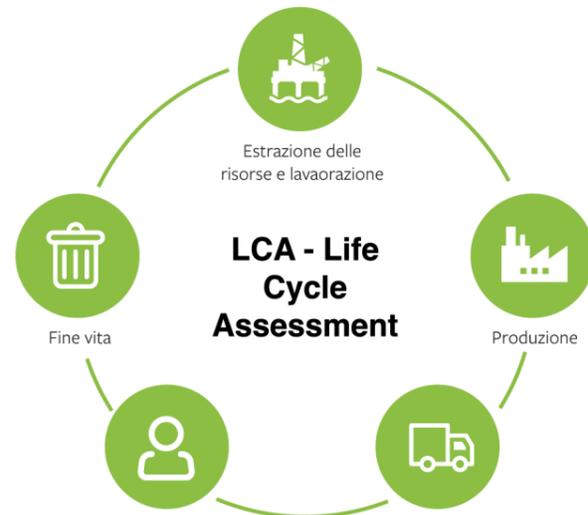
1.6 Risorse a basso impatto ambientale e Life Cycle Design (LCD):

Parlando di progettazione sostenibile, ci sono svariate tematiche che non si possono non affrontare. Una prima questione riguarda la tossicità e la pericolosità dei materiali, tematica che, pur essendo stata normata, è ancora soggetta a nuovi aggiornamenti e valutazioni.

Inoltre, bisogna affrontare anche l'origine naturale dei materiali, considerando che la maggioranza dei materiali naturali è comunque soggetta ad una serie di lavorazioni di carattere industriale e ogni processo ha un corrispettivo impatto ambientale da non trascurare.

Bisogna poi anche considerare la gestione dei rifiuti e degli scarti, dunque la possibilità di impiegare tali rifiuti per riciclarne i materiali o recuperarne il valore energetico.

Queste prime considerazioni mettono già in luce come la progettazione sostenibile dovrebbe accompagnare ogni fase del ciclo di vita di un manufatto. È utile consentire ai sistemi di produzione di pareggiare i costi di consumo e di gettare le basi per uno sviluppo futuro in linea con le esigenze dell'ambiente.



Con il passare del tempo, è emersa una metodologia sempre più consolidata, chiamata Life Cycle Assessment (LCA). Tale approccio comporta l'analisi degli impatti ambientali generati durante l'intero ciclo di vita di un manufatto, considerando la sua performance, ossia la sua unità funzionale. In questo modo si tengono in considerazione tutti gli input e gli output associati alla totalità dei processi che costituiscono il ciclo di vita di un prodotto in modo da verificare l'effettiva sostenibilità del manufatto.

In linea con questo filone, si inizia una nuova modalità di progettazione che prende in considerazione tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto, e che viene chiamata Life Cycle Design, ossia la progettazione del ciclo di vita di un prodotto a partire dalla produzione dei materiali necessari fino alla dismissione. Tutte queste fasi sono considerate una singola unità funzionale, ciò introduce una forte attenzione alla progettazione dell'interno sistema-prodotto. Si introduce un design con un approccio sistemico, che prevede, dunque, i vari fenomeni che caratterizzeranno il prodotto per tutta la sua esistenza.

1.7 I requisiti ambientali dei prodotti industriali:

Un principio cardine da tenere sempre a mente è quello per cui ogni effetto ambientale è scatenato da uno scambio di sostanze tra l'ambiente naturale ed il sistema di produzione di beni e servizi. Come detto in precedenza questi processi possono essere divisi in input e output. Considerando i processi industriali, gli effetti da output più dannosi sono:

- Il riscaldamento globale
- Il buco nell'ozono
- L'eutrofizzazione
- L'acidificazione
- Lo smog
- Le tossine
- I rifiuti

Per poter associare a queste problematiche dei prodotti bisogna rifarsi all'analisi del ciclo di vita del prodotto industriale, dunque al concetto di unità funzionale.

Parlando di ciclo di vita, si considera il prodotto a partire dall'estrazione e lavorazione delle materie necessarie utilizzate fino alla sua dismissione finale.

Per una migliore comprensione, si può schematizzare la vita del manufatto in una serie di fasi e lavorazioni:

- Pre-produzione
- Produzione
- Distribuzione
- uso
- dismissione

Pre-produzione

La fase in cui vengono prodotti i materiali utili alla produzione dei componenti del manufatto finale. Le tappe fondamentali sono:

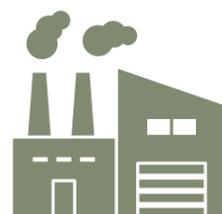
- L'acquisizione delle risorse
- Il trasporto delle risorse fino al sito di produzione
- La trasformazione delle risorse in energia e materiali, in cui si considerano i vari processi necessari a livello industriale per convertire le risorse di partenza materiale finale utilizzato oppure energia.

Quando si parla di risorse, è utile discriminare tra risorse primarie e secondarie.

Le risorse primarie (vergini) sono estratte direttamente dalla geosfera, e si differenziano in risorse primarie rinnovabili, le biomasse coltivate e raccolte, quindi tutta la famiglia di sostanze organiche non fossili di origine vegetale e animale, e risorse non rinnovabili estratte dal suolo, quali petrolio o gas naturale.

Le risorse secondarie (riciclate) sono provenienti da scarti oppure rifiuti provenienti dai sistemi produttivi. Tali risorse possono essere recuperate sia pre che post consumo. Nel primo caso si parla di eccedenze recuperate in fase di produzione, mentre nel secondo caso si tratta di materiali che provengono da prodotti ed imballaggi, che hanno raggiunto il fine vita.

Bisogna comunque sottolineare come entrambe le risorse hanno comunque bisogno di essere trattate per poter essere impiegate nel sistema di produzione.



Produzione

Il ciclo produttivo solitamente si organizza in tre principali battute: vi è una prima fase di trasformazione dei materiali, in cui rientra tutto il ventaglio di processi a cui il materiale è sottoposto in vista della sua trasformazione negli elementi finali del prodotto. In seguito, si arriva all'assemblaggio, ossia l'operazione in cui le componenti dell'artefatto vengono assemblate per realizzare il manufatto. In ultimo si ha il momento della finitura del materiale, necessaria per eliminare le irregolarità superficiali. Ad ogni modo, è bene considerare la completa gamma di materiali che ricoprono un ruolo nel ciclo produttivo. Dunque, bisogna porre attenzione sia ai materiali che verranno ritrovati direttamente nel prodotto finale, sia a tutti quelli che indirettamente rientrano a livello metaprodotto, negli impianti e nei macchinari utilizzati

Distribuzione

In questo processo vi sono tre momenti importanti:

- L'imballaggio
- Il trasporto
- L'immagazzinamento.

L'imballaggio gioca un ruolo essenziale, in quanto rappresenta il primo livello di approccio che l'utente finale ha con il manufatto. Inoltre, è fondamentale per proteggere il prodotto durante il trasporto. Perciò è utile porre una particolare attenzione anche alla produzione dell'imballaggio stesso come momento di dispendio di materiali ed energia.

Mentre considerando il trasporto del manufatto in luoghi intermedi o direttamente verso il cliente finale, è utile soffermarsi sui consumi e l'energia per il trasporto stesso, l'uso di risorse per la produzione del mezzo utilizzato e le varie strutture adibite all'immagazzinamento



Uso

In molti casi, anche l'uso del prodotto potrebbe essere soggetto ad un dispendio di energia oppure produrre residui e rifiuti. Inoltre, durante la loro vita utile, alcuni artefatti potrebbero avere bisogno di manutenzione, riparazione o sostituzione di componenti. Tali azioni potrebbero necessitare dell'utilizzo di risorse, basti pensare agli elettrodomestici oppure alle automobili, che oltre a richiedere alimentazione per il loro funzionamento, emettono polveri sottili, fumi e gas dannosi per l'ambiente e l'essere umano. Ogni prodotto si può considerare in uso finché non viene dismesso dall'utente.



Dismissione

Con la dismissione si arriva all'ultima fase del ciclo di vita di un prodotto. In tale fase vi sono più vie da percorrere in base alle caratteristiche del manufatto stesso. Si potrebbe tentare di recuperare la funzione del prodotto o di qualche sua componente, oppure si potrebbe cercare di valorizzare il contenuto materico o energetico tramite riciclaggio, compostaggio oppure incenerimento.

Parlando di riciclo bisogna distinguere tra le due modalità ad anello chiuso e aperto.

Nella prima modalità si ricicla un prodotto in funzione di produrre lo stesso artefatto o una sua componente, mentre la seconda metodologia, i materiali di recupero vengono utilizzati all'interno di un sistema-prodotto diverso da quello di partenza.

Mentre, i prodotti non recuperati sono destinati alla discarica o alla dispersione nell'ambiente,



Unità funzionale

L'unità funzionale, come anticipato precedentemente, è un concetto che considera gli impatti dovuti ai vari processi primari e secondari utili al soddisfacimento di uno specifico bisogno dell'utente finale, dunque di una unità funzionale. È uno strumento molto utile per associare ad un determinato prodotto degli effetti sull'ambiente. Si passa, perciò, da una progettazione del manufatto a quella della sua funzione, ossia del servizio





1.8 Il Life Cycle Design e i suoi obiettivi:

Riprendendo un concetto già introdotto in precedenza, l'approccio del Life Cycle Design (LCD) contempla un'estensione della progettazione, non più al mero prodotto, ma anche alla progettazione delle fasi del ciclo di vita del prodotto in questione, tenendo sempre a mente la sua unità funzionale.

Il metodo LCD ha come obiettivo la riduzione del carico ambientale creato da un determinato prodotto in relazione al suo ciclo di vita e alla sua funzione. Si tende a ridurre al minimo gli input e gli output in termini qualitativi e quantitativi, tenendo sempre in considerazione tutti gli effetti generati.



1.9 Implicazioni di un approccio di Life Cycle Design:

Uno dei vantaggi più grandi dell'approccio LCD consiste proprio nell'individuazione, in tutte le fasi del ciclo di vita, delle proprietà dello specifico prodotto e dei materiali che lo compongono. Questa caratteristica è molto importante perché vi sono stati progetti in cui, tentando di ridurre l'impatto ambientale in una fase, lo si è aumentato in linea generale, proprio perché il rendimento sotto il punto di vista dell'unità funzionale è complessivamente andato peggiorando in altre fasi del ciclo di vita. Un esempio chiarificatore è rappresentato dalle sedie in cartone, che pur diminuendo l'impatto ambientale nelle fasi di pre-produzione e produzione, sono meno durevoli delle controparti prodotte con materiali più longevi, dunque, si evince che sarà necessario produrre una quantità maggiore, con una crescita dell'impatto ambientale conseguente.

Tale metodologia comporta, chiaramente, un'attività progettuale più intricata e complessa, dovuta al numero più elevato di fattori da considerare, partendo da banche dati e strumenti di calcolo, oltre alla famiglia di fattori imprevedibili collegati all'evoluzione tecno-economica.

Anche i contesti culturali, normativi e tecnologici sono in continuo mutamento ed evoluzione, senza considerare che le diverse fasi del ciclo produttivo sono gestite da diversi attori (produttori, distributori, utilizzatori finali, enti e imprese che si occupano di dismissione). Perciò, è ragionevole che in tale contesto la progettazione diventi più complessa, ma arricchita di spunti e stimoli nuovi.

1.10 Le strategie del Life Cycle Design:

Parlando di strategie dell'approccio LCD, ci si riferisce ai seguenti punti:

- Minimizzazione del consumo dei materiali riducendo l'uso
- Minimizzazione del consumo di energia riducendo l'uso dell'energia
- Minimizzazione della tossicità e della nocività delle risorse selezionando materiali, processi e fonti energetiche con la minima tossicità possibile
- Ottimizzazione della rinnovabilità e della biocompatibilità delle risorse
- Ottimizzazione della vita dei prodotti valorizzando i materiali usati
- Facilitazione del disassemblaggio progettando in funzione della separazione delle componenti e dei materiali incompatibili.

Tali punti contribuiscono ad una riduzione dell'impatto ambientale del sistema-prodotto nelle differenti fasi del suo ciclo di vita. Bisogna però dire che, le strategie dell'LCD possono talvolta trovarsi in conflitto tra di loro e con alcuni processi della progettazione tradizionale. Si prenda, ad esempio, una progettazione che ha come fine l'estensione della durabilità di un manufatto, essa andrà chiaramente in conflitto con l'aumento delle vendite. Mentre in ottica di una riduzione generale dei consumi in fase produttiva, vi è una maggiore sintonia degli obiettivi.

1.11 Vincoli economici del modello tradizionale dell'offerta:

Gli attori che gestiscono il sistema-prodotto hanno un forte interesse a considerare il costo economico di materiali ed energia, mirando verso un'ottimizzazione delle risorse. Tale manovra si traduce in un quadro in cui da una parte i produttori di materiali e semilavorati puntano alla riduzione del consumo per unità di materiale prodotto e alla vendita del maggiore quantitativo possibile di materiale. Dall'altra parte, invece, chi produce manufatti è portato a tentare di ridurre i costi sotto forma di riduzione di consumo di risorse per unità di prodotto venduto.

Le problematiche possono sorgere nel momento in cui si entra nella transizione di fase, ossia la vendita di materiali o prodotti da un soggetto ad un altro, momento in cui potrebbe risultare economicamente vantaggioso l'aumento di consumo di risorse. In linea di massima si può evincere che può avvenire una riduzione dei consumi se avviene una transizione di fase operata da un singolo attore, mentre se vi è il passaggio da un protagonista economico ad un altro accade generalmente il contrario.

Questo fenomeno implica che l'eco-efficienza del sistema-prodotto non coincide per forza con gli interessi economici dei vari attori operanti nelle diverse fasi del ciclo di vita di un artefatto. Questo potrebbe ritardare o addirittura impedire l'adozione di un approccio LCD nella progettazione.

1.12 Sistemi di prodotto-servizio eco-efficienti e nuovi modelli di business favorevoli ad un approccio sostenibile

L'efficienza dei sistemi di prodotto-servizio è migliorabile andando ad intervenire sulle interazioni tra i vari protagonisti delle fasi del ciclo di vita di un manufatto. Tali interazioni possono svolgersi in maniera verticale od orizzontale.

Nel primo caso si ha un unico soggetto responsabile di più fasi, mentre nel secondo vi è un attore economico che diventa responsabile di più prodotti e servizi, ad esempio un produttore di lavatrici che produce anche i detersivi e li dismette. Si possono anche utilizzare delle partnership in cui le relazioni tra i vari soggetti economici sono molto estese, fino a coinvolgere direttamente anche l'utente finale. Tali tipologie di modalità dell'offerta, ossia sistemi che convergono la sostenibilità ambientale con quella socio-etica ed economica, sono state chiamate Sistemi di Prodotto-Servizio eco-efficiente (EE.PSS) e sono così definiti: "gli EE.PSS sono modelli di offerta che forniscono un mix integrato di prodotti e servizi che sono in grado di soddisfare una particolare domanda dei clienti (fornire una "unità di soddisfazione"), sulla base di interazioni innovative tra gli attori del sistema di produzione di valori (sistema di soddisfazione), dove l'interesse economico e competitivo dei fornitori spinge continuamente verso innovazioni a minor impatto ambientale".

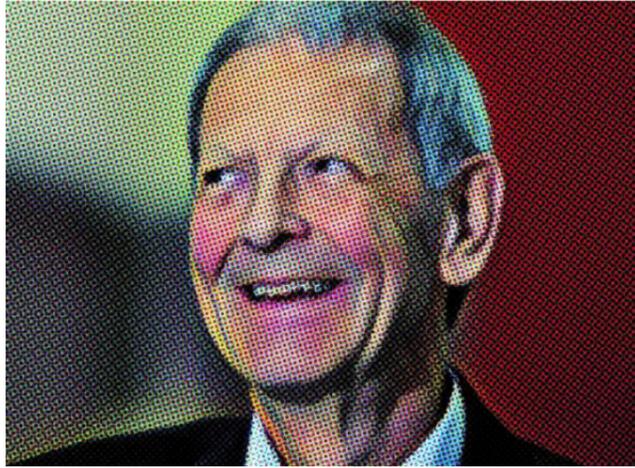


Un secondo concetto rivoluzionario, che sta prendendo sempre più piede si ritrova nell'economia circolare, ossia un'idea legata allo sviluppo sostenibile. Tale termine è usato per definire un modello basato sull'autorigenerazione. Secondo la Ellen MacArthur Foundation i flussi materici in tale tipologia di economia devono essere di due tipi: biologici, dunque capaci di essere reintegrati nella biosfera, e tecnici, destinati ad una rivalorizzazione differente rispetto alle precedenti.

An aerial photograph of a circular garden path. The path is a light grey color and curves around a central area filled with dense, vibrant green foliage. The surrounding area is also filled with various types of trees and plants, creating a lush, green environment. The text "ECONOMIA CIRCOLARE E DESIGN" is overlaid in white, uppercase letters on the central green area.

ECONOMIA
CIRCOLARE
E
DESIGN

2.1 Breve storia dell'economia circolare:



Nel 1976, Walter R. Stahel, pioniere della teoria sullo sviluppo economico, ha redatto il documento Potential for Substitution Manpower for Energy per conto della Commissione Europea, in collaborazione con la ricercatrice Reday-Mulvey. Lo studio si è occupato di analizzare la problematica dello spreco di risorse legato alla dismissione di beni e prodotti anziché alla loro riparazione. Si propose di estendere il ciclo di vita dei manufatti in vista di una riduzione degli sprechi e dei rifiuti conseguenti. Bisognava prendere ispirazione dai sistemi naturali e immaginare un sistema produttivo che si autorigenera, in cui le imprese divengono responsabili dei loro prodotti anche nel post-vendita e nel fine vita del prodotto. Un modello simile consumerebbe meno risorse e in maniera più efficace, basandosi su unità decentralizzate diminuendo il volume di trasporto dei beni.

Negli stessi anni, Orio Gardini, economista italiano e membro del Club di Roma, l'OGN internazionale e non-profit che agisce come catalizzatore dei maggiori cambiamenti globali, sostiene la necessità di operare in un campo di sintesi tra economia ed ecologia concentrandosi sulle ricchezze naturali della Terra. Giarini fu anche il primo a dubitare dell'efficacia del prodotto nazionale lordo (PNL) come effettivo indicatore di sviluppo economico e sociale. Tale misura non necessariamente accresce la ricchezza ed il benessere a livello di Società.

Si è nel 1982 quando Giarini e Stahel fondarono il Product-Life Institute, la più longeva organizzazione di consulenza sulle strategie e le politiche sostenibili in Europa, che ancora oggi svolge il ruolo di sviluppo strategico per una crescita della "società dei servizi". Le strategie più vincenti sono:

- Nascita del prodotto come servizio, in modo che ci sia un incentivo da parte del produttore a sviluppare beni di lunga durata, facilmente smaltibili o riciclabili.
- Condivisione della proprietà per assicurarsi un minor numero di beni senza un calo delle prestazioni, per esempio il car-sharing.
- Rigenerazione: occuparsi della riparazione di componenti danneggiati invece della sostituzione.

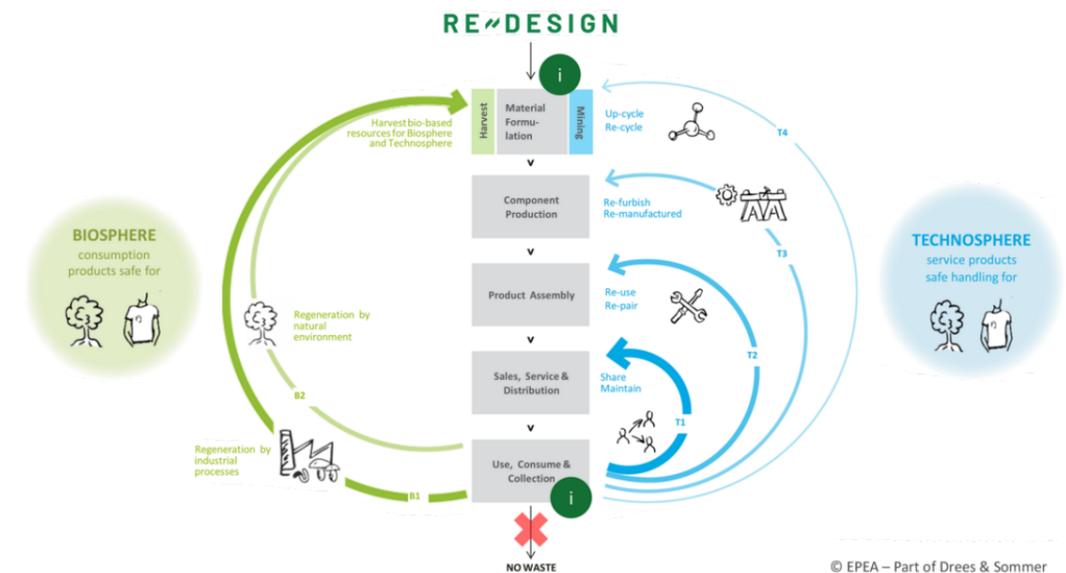
Alcuni anni dopo, nel 1989, sempre Giarini e Stahel pubblicano il libro "The limits of Certainty, dove affermano che i limiti associati alla crescita sono in realtà limiti vincolati ad un modello economico lineare, basato quindi sulla produzione di manufatti per ricavarne il massimo profitto. Ruolo centrale di tale modello è dato dal mercato e dalla sua intrinseca competitività. Un adeguamento della produzione alla domanda di mercato risulta in una inverosimile idea di crescita infinita, che porta ad un'obsolescenza programmata affinché ci sia la necessità di acquistare ulteriori beni.

Secondo gli studiosi, un modello circolare è capace di superare tali limiti sostenendo il paradigma "dalla culla alla culla", modello organizzativo che verrà ripreso in seguito dall'architetto William McDonough ed il professore Michael Braungart.

2.2 Cradle to cradel e blue economy:

Nel sistema lineare, meglio detto come "dalla culla alla tomba", gli acquirenti sono definiti consumatori, anche se i prodotti sono gettati con una velocità che non ammette un lungo consumo. Il bene finito in sé contiene mediamente solo una percentuale pari al 5% delle materie prime impiegate nella produzione e distribuzione. In base a queste riflessioni, William McDonough e Michael Braungart svilupparono la teoria del "Cradel to cradle", dalla culla alla culla, dove si enfatizza l'importanza di progettare sin dall'inizio dei prodotti in vista della conversione in qualcos'altro una volta raggiunto il fine vita. In questo modo si intende eliminare il concetto di rifiuto e raggiungere la eco-efficacia.

Si cercano di cogliere le opportunità di uso efficiente delle risorse e azzeramento degli scarti. La Blue Economy ha l'obiettivo finale di rendere fruibile l'eterno flusso di creatività, adattabilità e abbondanza della natura. Un esempio di Blue economy nella progettazione è dato dagli sforzi del professor Jorge Reynolds, che inventò una nuova tipologia di pacemaker che non necessitano di batterie, elementi inquinanti e difficili da riciclare, tramite le conoscenze acquisite sul funzionamento degli organismi viventi che gli permise di pensare ad un modo per alimentare il manufatto facendo uso della temperatura corporea e la pressione generata dalla voce.



Mentre nel 2010, imprenditore Gunter Pauli, del Club di Roma, pubblicò il testo Blue Economy, che divenne ben presto una lettura fondamentale nell'ambientalismo scientifico. Lo scritto affronta i principi dei "rifiuti zero" e del concetto di economia autorigenerativa. Lo sforzo di Pauli è quello di trovare possibili soluzioni che possano generare nuove occupazioni e preservare la qualità ambientale. L'economista indica uno sviluppo basato su sistemi integrati e che interagiscano tra di loro, ricercando soluzioni imitatrici della natura integrando fisica, chimica e biologia.

2.3 Ellen MacArthur Foundation e gli sviluppi attuali

Ellen MacArthur è una navigatrice, che nel 2005 stabilì il record mondiale come navigatrice solitaria più veloce a circumnavigare il globo. Questa sua avventura le aprì gli occhi su nuove prospettive sulla connessione tra i cicli della natura e le risorse limitate del pianeta. Ellen si ritrovò a riflettere sulla fragilità dei sistemi eretti dall'essere umano e sulla dipendenza della nostra sopravvivenza da risorse limitate.

Al suo ritorno, decise di studiare approfonditamente l'economia, arrivando alla conclusione che fosse molto importante non solo agire sulla produzione di energia, ma anche sull'uso responsabile dei materiali. Questo la portò a fondare, cinque anni dopo, la fondazione a suo nome che ha come missione la promozione della transizione verso un'economia circolare, contrapposta al fallimentare modello lineare.



L'organizzazione no-profit si occupa di realizzare ricerche basate su evidenze scientifiche sui benefici risultanti dall'adozione di un'economia circolare e come questa possa contribuire alla risoluzione di sfide globali, tra cui la crisi climatica. La rete della fondazione si dirama in aziende leader, innovatori emergenti, reti affiliati, autorità governative, regioni, città e altro ancora. La sfida è comprendere le condizioni abilitanti utili a sviluppare pratiche di economia circolare. La Ellen MacArthur Foundation e altri

La Ellen MacArthur Foundation e altre realtà mondiali si impegnano a rendere il più circolare possibile anche le città. Gli edifici giocano un ruolo vitale nel contenimento delle emissioni di CO2, ma anche la filiera ed il sistema del cibo va reso il più possibile locale puntando ad una riduzione degli sprechi alimentari con sistemi a cascata che si auto nutrono per rendere possibile la chiusura dei cicli.

2.4 Una teoria dell'economia circolare:

Nonostante la rapida evoluzione tecnologica e la diversificazione della merce, l'economia ha mantenuto un assunto fondamentale che si porta dietro dall'alba della rivoluzione industriale, ossia il modello lineare basato sul produrre, consumare e dismettere. Si è realizzato come un modello simile porti le materie prime alla discarica presentando svariati problemi:

- Diminuzione delle risorse ed aumento dei loro prezzi
- Difficoltà di approvvigionamento
- Creazione di nodi fragili all'interno della supply chain globale.
- Creazione di un protezionismo sulle materie prime
- Costi molto elevati di gestione dei rifiuti.

Secondo la società di consulenza McKinsey, l'indice dei prezzi delle commodities, negli ultimi vent'anni è salito esponenzialmente, nonostante durante tutto il secolo precedente fosse caratterizzato da un calo generico. Dunque, ci si rivolge ai beni, materiali e scarti di produzione che vengono buttati ogni anno come nuova materia con cui calmierare i prezzi. Secondo le stime della World Bank, ogni anno si generano 2 miliardi di tonnellate di rifiuti solidi urbani, cifra destinata ad aumentare fino a 2,2 miliardi di tonnellate l'anno. Anche lo spreco alimentare rappresenta una fonte incredibile di materia da utilizzare. Secondo la FAO, gli impianti degli sprechi alimentari contribuiscono all'emissione annuale di 3,3 miliardi di tonnellate di CO2, senza considerare l'esiguo patrimonio economico sprecato.

Occorre, dunque, una totale trasformazione dell'economia lineare, questo si ottiene seguendo 3 principi "universali":

THE WASTE HIERARCHY



- Piramide gerarchica della materia: riduzione, riuso, riciclo, raccolta, recupero, sulla base di un principio di responsabilità condivisa. Sia i produttori che i consumatori hanno un ruolo proattivo sulla responsabilità della gestione dei consumi.
- Fine dello spreco d'uso del prodotto prima ancora di essere scartato.
- Impedire la morte prematura della materia che va valorizzata con le varie strategie in base al contesto. Bisogna considerare soluzioni come riciclo, riuso e riparazione.

2.5 Vantaggi dell'economia circolare:

Uno dei fondamenti dell'economia circolare è il mantenimento del valore, dove il valore d'uso, in un'ottica di prodotto come servizio, sostituisce il valore di scambio.

Secondo il report realizzato dalla Ellen MacArthur Foundation in collaborazione con il McKinsey Center for Business and Environment, il passaggio all'economia circolare permetterebbe una crescita dell'11% del PIL europeo entro il 20230 ottenendo un risparmio stimato a 1800 miliardi di euro l'anno ed una riduzione delle emissioni pari al 48%

Il Circularity Gap Report del 2021 dimostra come una totale applicazione del modello circolare potrebbe ridurre le emissioni globali di gas serra fino al 39% evitando il crescere della crisi climatica attualmente in atto. Mentre secondo l'Emission Gap Report redatto dall'UNEP, entro il 2030 si devono abbassare le emissioni di 15 miliardi di tonnellate per mantenere il riscaldamento globale sotto i 2° e di 32 miliardi di tonnellate per raggiungere una migliore situazione di 1,5°. Dal rapporto si evince che il 70% di tutte le emissioni è generato per soddisfare le esigenze della società odierna tramite estrazione, lavorazione e produzione di beni di consumo, perciò, un intervento sull'attuale sistema di produzione è assolutamente necessario.

2.6 Le particelle elementari dell'economia circolare:

Per particelle elementari si intendono gli elementi di base che costituiscono l'economia circolare. Con simili particelle si cerca di dare una teoria generale unitaria al modello circolare. Allo stesso tempo tale suddivisione favorisce una migliore comprensione del fenomeno.

- Particella 1: Materia rinnovabile. La materia rinnovabile è una nuova modalità di guardare a tutto ciò che occupa spazio e ha una massa nel nostro universo. Il rifiuto non può più esistere, in questa visione esso è un insieme di componenti biologiche, chimiche e tecniche, dunque i materiali, da disassemblare in unità più semplici e da reinserire nel ciclo economico per un uso nuovo. Anche il reimpiego dei materiali va progettato in maniera da usare meno energia e meno risorse idriche possibili. Dunque, si passa da una filosofia del riciclo ad una della materia rinnovabile.
- Particella 2: Pensiero sistematico. Il modello circolare, a differenza di quello lineare che non guarda al sistema in cui è inserito, si presta particolare attenzione ad un pensiero sistemico, in cui si devono sempre cercare tutti i possibili usi per ricreare un flusso circolare di materia. Ciò avviene in focalizzando su due elementi chiave: gli stock e i flussi. I primi sono riferiti agli stock di materia, che devono essere sempre riempiti in modo che non si vada mai in contro ad uno shock sistemico, mentre i secondi riguardano tutte le potenziali interconnessioni e influenze che possono avvenire tra i vari attori del sistema produttivo e dell'ecosistema in cui è inserito. Si considerano tutti i possibili eventi che si svolgono lungo l'intero ciclo. Si ha come obiettivo la trasformazione di analisi complesse e interconnesse in strategie efficienti con connessioni proporzionate in modo da garantire la resilienza del sistema.
- Particella 3: Azione a cascata e cicli ristretti. Per azioni a cascata si intendono tutte quelle azioni in cui si valorizza lo scarto di un prodotto come nuovo input per creare produttività. Nella cascata si compie il passaggio del valore da un prodotto all'altro. Questo è possibile per via del rifiuto che smette di essere tale e viene scomposto nelle sue parti più basiche, che possono essere fibra, materia, componenti e così via.
- Particella 4: Cross-fertilizzazione: Tale particella vuole affrontare la questione dell'intersezione nell'economia, quindi realizzare dei sistemi abilitati per il miglioramento dell'intersectorialità in modo da minimizzare gli output negativi. Questo concetto porta all'introduzione della bioeconomia, dove alla base vi è un estensivo impiego di scarti agricoli e sottoprodotti della filiera alimentare, altrimenti altamente inquinante, come input per creare prodotti ad alto valore aggiunto. In questo modo si evitano anche i conflitti con la produzione di cibo. A tal proposito bisognerebbe gestire gli spostamenti di rifiuti e sottoprodotti tramite un'attenta tracciabilità, fondamentale per evitare traffici illeciti e infiltrazioni malavitose. Una soluzione è stata presentata dall'ideazione del "Passaporto dei rifiuti" da parte degli architetti Rau e Oberhuber, una strategia volta al trasferimento e lo scambio facilitato della materia prima seconda a livello globale tramite un marketplace.

- Particella 5: Resilienza. Il sistema non si piega. L'obiettivo principale dell'approccio circolare è la generazione di benessere a livello sociale, culturale, economico, ed ambientale. Un obiettivo simile si ritrova nelle teorie della resilienza, dove l'attività umana viene riconosciuta come influente per la biosfera a tal punto da determinarne la sopravvivenza. Perciò la resilienza è considerata una metodologia per far sì che il sistema possa affrontare gli svariati stress e shock che possono colpirlo. Grazie ad un approccio flessibile, basato sul pensiero resiliente, si ha la possibilità di migliorare la gestione di politiche di innovazione e garantire che le governance e i sistemi di regolamentazioni spingano verso una svolta sempre più sostenibile. La resilienza è sia un elemento alla base della transizione da modello lineare a circolare, sia una caratteristica implicita dell'approccio circolare.
- Particella 6: Limiti planetari. L'importanza del capitale naturale. Un ulteriore assunto importante è l'allineamento dei sistemi di produzione alla natura. La terra ha offerto al genere umano una stabilità tale per cui si è riuscito ad ottenere il progresso e la diffusione della specie. Secondo l'ecologo e ricercatore svedese Rockström vi sono 9 confini da non superare per mantenere l'equilibrio sul pianeta. Tali limiti includono:
 - la concentrazione di anidride carbonica sotto le 350 ppm (parti per milione);
 - il mantenimento della biodiversità al 90%;
 - l'uso di azoto e fosforo sotto 11 Tg e 62 Tg;
 - il mantenimento del 75% delle foreste originali;
 - le missioni di aerosol sotto la soglia di 0,25 AOD;
 - la riduzione dell'ozono stratosferico;
 - l'acidificazione degli oceani;
 - l'uso di acqua fresca sotto i 4000 km³;
 - lo scarico di sostanze inquinanti.
 L'economia circolare si trova ad operare entro questi limiti cercando di minimizzare gli impatti tutelando il benessere generale umano e tenendo a mente che il capitale naturale non può essere sostituito.
- Particella 7: Temporalità. Un nuovo modo di concepire il tempo. In questo caso si prende in esame la temporalità delle strategie industriali, che nel caso del modello circolare deve essere a lungo termine e considerare un elevato numero di reincarnazioni future della materia. La temporalità deve essere riaggiornata anche per quanto riguarda le tecnologie, i prodotti e i servizi. Sono tre i processi attraverso cui l'economia occidentale garantisce l'obsolescenza: le mode, le innovazioni incrementali continue e l'obsolescenza programmata. Secondo la sociologia moderna la moda è un mito di fabbricazione dall'industria della moda e dagli intermediari culturali, formato da diverse istituzioni con lo scopo di concretizzare un campo di produzione e commercio. Mentre l'innovazione incrementale continua è l'illusione di un prodotto rivoluzionario che si ottiene dalla modifica di pochi dettagli tra un prodotto e l'altro. Per quanto riguarda il terzo punto, nell'economia circolare, che garantisce una gestione del fine vita del prodotto, il produttore ha un grande interesse a tenere il massimo controllo sul prodotto quando sta per diventare obsoleto cercando di riutilizzare il massimo quantitativo di materia possibile. In futuro si punta ad un rapporto con il cliente che si estenda al di là dei tempi della garanzia. Bisogna mantenere la fiducia in quanto il cliente eventualmente si troverà a giocare il ruolo del fornitore generando loop potenzialmente chiusi.
- Particella 8: Scala. Come cambia la geografia economica: In un approccio economico circolare la geografia ha un ruolo centrale. Le buone norme di progettazione che includono una riflessione sul ciclo vitale e la sua durata, deve coinvolgere anche un ragionamento sull'efficienza di scala dell'approvvigionamento, quindi come definire il territorio da cui raccogliere materia prima seconda, informarsi sulle possibilità presenti a livello locale e nazionale. Inoltre, bisogna chiedersi se sia più conveniente centralizzare o delocalizzare le attività di remanufacturing, o se rivolgersi ad imprese terze per la lavorazione della materia.

- Particella 9: Persone. Asset fondamentale: L'economia circolare deve chiaramente generare dei posti di lavoro che abbiano orari ridotti e siano accessibili. L'ottimizzazione dei costi legati alla gestione delle risorse tramite l'approccio circolare dovrebbe aumentare le disponibilità economiche ripiegabili nel personale lavorativo, aumentandone il benessere.



2.7 Introduzione al design circolare:

Come già evidenziato, i rifiuti esistono conseguentemente a particolari scelte progettuali. Allo stesso modo la distruzione dell'ecosistema per estrarre risorse avviene per soddisfare il ritmo di produzione di beni.

Perciò, incorporando i principi dell'economia circolare nella progettazione si può rendere il processo di sviluppo industriale funzionale per le persone, le imprese e la natura.

La progettazione è fondamentale per l'economia circolare in virtù del fatto che il design determina ciò molti aspetti della vita umana, dalle abitazioni, agli abiti, alla filiera alimentare.

Attualmente, in diversi settori quali la moda, l'alimentazione, l'imballaggio di merci, i prodotti sono progettati per essere destinati alla discarica o all'incenerimento. In questo modo non vi è solo uno spreco materico, ma anche di risorse e forza lavoro.

Un esempio chiarificatore potrebbe essere il banalissimo cucchiaino di plastica per consumare cibo take away, che si è usato, è stato progettato partendo dall'impugnatura, ergonomica e funzionale fino ad arrivare alla scelta del materiale, economico e leggero, il colore, che dà identità al prodotto e lo associa al marchio dell'azienda e così via. Le decisioni progettuali determinano la provenienza della plastica utilizzata, la tipologia di processo, il confezionamento del prodotto e la tipologia di spedizione e consegna ai rivenditori. Oltre al filone funzionale ed estetico, il design influenza potenzialmente i nostri desideri e gusti plasmando i comportamenti d'acquisto attraverso mirate manovre di marketing e pubblicizzazione. Durante il percorso di inserimento di qualsiasi manufatto nel mercato, ci sono molti attori, al di là dei progettisti stessi, che plasmano la modalità di progettazione. Tra questi personaggi vi sono ricercatori e professionisti di materiali, strategist aziendali, creativi del campo comunicativo, ingegneri, fornitori, utenti finali e via dicendo. In un modello economico lineare, che per definizione è intensivo, la maggior parte dei beni volti al consumo non è restituita per successivi utilizzi con una conseguente perdita economica, che secondo la Ellen MacArthur Foundation ammonta a centinaia di miliardi di dollari.

Inoltre, tale sistema ingloba cattive pratiche industriali a discapito del capitale umano: dall'esposizione a sostanze pericolose nell'atto di azioni estrattive alle condizioni poco sicure e la mancanza di diritti sociali e culturali.

Il design ha svolto, e continua a svolgere ancora, un ruolo chiave nella costruzione di un sistema difettoso, può anche essere usato per favorire l'innestamento di un modello più favorevole, ma ciò è possibile solo con il coinvolgimento di tutti i settori, una moltiplicazione di approcci e una volontà al cambiamento. Dei primi passi sono già stati mossi, in quanto diversi designer hanno iniziato ad affrontare uno dei problemi principali del modello lineare, gli sprechi.

Tale approccio sembra inizialmente essere efficace, ma di fronte alla situazione attuale di crisi climatica e perdita di biodiversità, si evince come non possa essere sufficiente.

Estrarre e sprecare meno risorse è una soluzione che può solo far guadagnare del tempo ulteriore, ma non punta alla creazione di un modello che possa funzionare nel lungo termine. Un chiaro esempio si ritrova nel sistema alimentare, in cui ci sono svariate pratiche volte alla riduzione di sprechi alimentari, ma in questo modo non si affrontano problematiche più severe quali il declino della fertilità del suolo e la degradazione del terreno.

Persino una filosofia in cui si trasformano i rifiuti in risorse e prodotti, nonostante crei nuovi flussi di entrata, ad esempio impiegando la plastica raccolta dagli oceani per produrre braccialetti, o soles per scarpe, sono solo la punta dell'iceberg non affrontando il completo quadro di problematiche, come l'energia utilizzata per produrre il manufatto base o il fine vita del nuovo bene ottenuto. L'obiettivo dovrebbe essere sempre garantire che nessun bene diventi rifiuto.





Un ulteriore argomento che è importante toccare è sicuramente il riciclo, che per quanto sia utile e crei milioni di posti di lavoro a livello globale, non è da considerare la soluzione ai problemi ambientali mondiali.

La maggior parte del riciclo di materiali come carta e poliestere porta alla perdita di qualità. Sistemi di raccolta e strutture di smistamento perfetti non possono esistere per via di limiti intrinseci del riciclo. Questo rende l'attuale sistema di produzione ancora fortemente attaccato all'estrazione di materia vergine. Il riciclo da solo non può garantire una prestazione massimale del materiale nel lungo termine.

Secondo i dati pubblicati nel Brief del 2022 dall'Agenzia ambientale Europea (AAE), gli scarti urbani residui, dunque che sfuggono al riciclaggio, si aggirano intorno al 27% dei rifiuti prodotti in EU. Nel 2020 per ovviare a questo problema e innescare cicli virtuosi, l'UE si è dotata di un piano d'azione per l'economia circolare con l'obiettivo di dimezzare il quantitativo di rifiuti urbani non riciclati entro il 2030. Sempre entro la stessa data gli Stati membri devono raggiungere il 60% di riciclaggio o riutilizzo dei propri rifiuti urbani.

Ogni anno si producono 113 milioni di tonnellate di rifiuti urbani residui. I dati attuali mostrano come anche con l'impegno degli Stati membri a raggiungere l'obiettivo del 60%, il quantitativo di rifiuti urbani residui ammonterebbe comunque a 80 milioni di tonnellate, con un impegno a dover riciclare almeno il 72% dei rifiuti urbani.

Unica plausibile alternativa è la riduzione di un terzo della quantità di rifiuti generati combinando svariati approcci in una strategia integrata, come possono essere, ad esempio, attuare politiche di prevenzione del danno, aumentare la durata del ciclo di vita dei beni oppure ancora garantire incentivi alla produzione di prodotti riutilizzabili e al loro reinserimento nel ciclo produttivo.

Il design ha il potere di essere trasformativo. Vi sono svariati stimoli e processi di reinvenzione dei prodotti che mirano ad una circolarità totale. Esistono sforzi per eliminare il più possibile gli imballaggi di plastica per prodotti di cosmesi o per la casa. Altri processi sono impegnati a garantire servizi di condivisione o riparazione dei beni. Per stimolare la nascita di un nuovo modello servono sforzi di progettazione in ogni settore, da modo in cui si producono e si utilizzano i manufatti alla progettazione di processi e politiche volte all'economia circolare.

2.8 L'economia circolare è guidata dal Design:

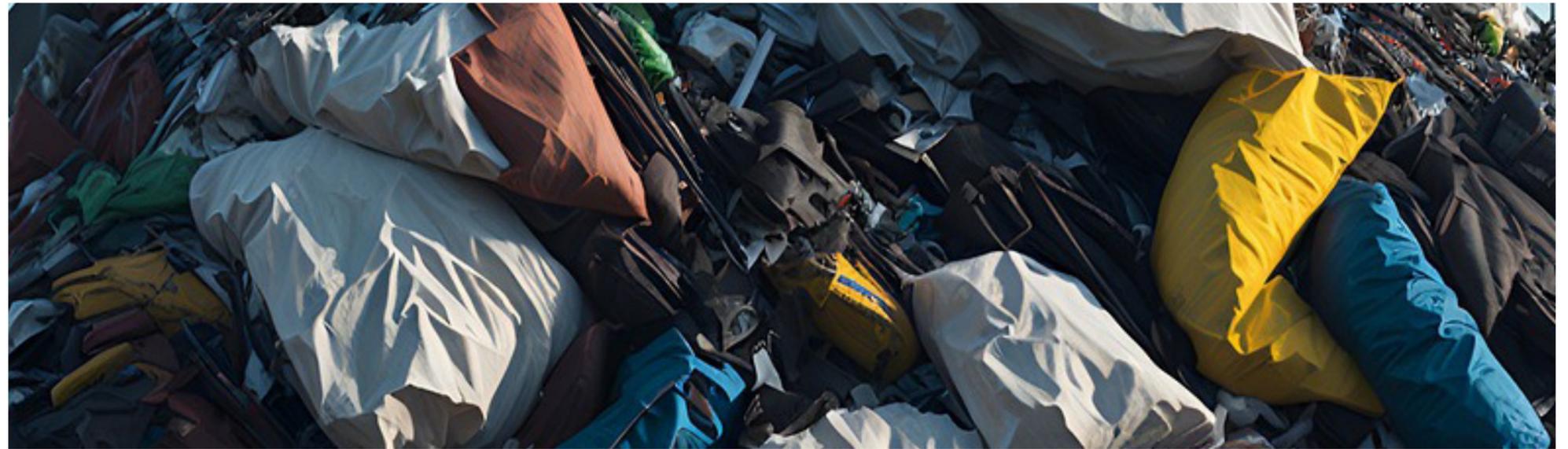
Il design circolare per rendere concreta la teoria circolare deve applicare e abilitare tre principi del modello circolare: eliminare, circolare, rigenerare. Bisogna utilizzare il pensiero sistemico per creare soluzioni che possano offrire delle soluzioni sostenibili sotto ogni punto di vista. Nella pratica, dunque, ciò si traduce nell'eliminazione dei rifiuti a monte attraverso buone pratiche progettuali, ad esempio considerare materiali sicuri e progettati per la circolazione perpetua, potendo utilizzare sottoprodotti ed utilizzandoli in prima battuta con il loro massimo valore e per lungo tempo.

Un designer deve prendere in esame il design per la riparabilità, l'aggiornabilità e la durabilità, nonché la creazione di modelli di business volti alla condivisione, rivendita e noleggio. La progettazione e produzione di beni deve risultare rigenerativa, ossia creare le condizioni affinché la natura prosperi e non collassi.

Un simile pensiero sistemico non è una pratica individuale, bensì collettiva. È basata sull'interdisciplinarietà e la condivisione di esperienze e conoscenze. Tale modalità di progettare è un impegno creativo e collaborativo che punta alla creazione di una pluralità di soluzioni per innestare un modello innovativo.

Nel design circolare, inoltre, è molto importante considerare l'immagine completa prendendo in considerazione l'intero sistema nel lungo termine. Ciò si ottiene anche allargando la portata del valore creato. In un'economia lineare la prospettiva è limitata e si basa quasi unicamente sul profitto, mentre in un approccio circolare, si può generare benessere su diversi livelli del sistema, tra cui il prodotto, il modello di business e le condizioni in cui si opera all'interno del sistema, dunque politiche, finanza e istruzione. Si tratta di sbloccare il valore in ogni aspetto del ciclo produttivo mantenendo i materiali in uso il più a lungo possibile, aumentando il numero di utenti per prodotto e utilizzando pratiche rigenerative, come possono essere i materiali bio-based.

LA MATERIA DELL'ECONOMIA CIRCOLARE



3.1 Gli scenari della materia:

In uno scenario di circolarità del modello economico, il materiale assume una forte centralità, esso è protagonista indiscusso della scena industriale, essendo sia parte dei beni prodotti che a sua volta bene stesso. Il materiale può essere definito circolare, dunque "neomateriale circolare" se proviene da risorse bio-based o proviene da materia reimpressa nel ciclo produttivo, a prescindere dalla fonte di origine. Tali vincoli portano alla nascita di tre grandi famiglie di materiali:

- I Bio-based, materiali quindi di origine vegetale, o comunque biologica. Tali materiali sono riproducibili rispettando i ritmi biologici della natura. Grande esponente di questo primo gruppo sono sicuramente le bioplastiche.
- Materiali Neo-classici; rifiuti provenienti da "miniere urbane", in cui sono considerati il recupero della carta, il vetro, l'alluminio, l'acciaio, il legno e ultimamente anche la plastica.
- Materiali ex-novo: provenienti dagli scarti delle lavorazioni industriali di svariate filiere, rifiuti dati per terminali, che però grazie alla creatività e l'innovazione tecnologica e scientifica possono rientrare nel ciclo produttivo



Nel 2015, lo studio di McKinsey commissionato dalla Ellen MacArthur Foundation dal nome "Growth within: A circular Economy vision for a competitive Europe" si è occupato di valutare l'impatto che avrebbe una possibile adozione del sistema circolare e ha evidenziato una crescita di 1,8 miliardi di euro in 15 anni, il doppio paragonato alle previsioni che riguardano il modello lineare. Tali risultati hanno portato la Commissione Europea a lanciare il programma "Green Deal" con l'obiettivo di raggiungere la Carbon Neutrality entro il 2050 sfruttando naturalmente gli asset del modello circolare.

Il Green Deal prevede una serie di investimenti, nuove normative, linee-guida mirate alla preservazione delle risorse e ad un loro funzionale utilizzo.

Lo sviluppo di materiali circolari è possibile solo in un'ottica di innovazioni tecnologiche avanzate che coinvolgano il progresso scientifico e l'interdisciplinarietà. È necessario che le singole buone pratiche vengano scalate innalzandole a standard ufficiali e diffusi.

Per la costruzione di sistemi ad impatto minimo vanno rispettate alcune indicazioni:

- Favorire lo sviluppo di "simbiosi industriale" in cui utilizzare i fenomeni a cascata.
- Metodi di approvvigionamento e trasformazione di materiali locali.
- Miglioramento della filiera del recupero dei rifiuti con un obiettivo di discarica zero.

Una filiera che tiene conto di questi aspetti è quella dei polimeri bio-based, basti pensare che il PLA può venire prodotto da diverse risorse vegetali in base alla localizzazione geografica; dunque, proviene dal mais se si sviluppa in Nord America, dalla canna da zucchero se si parla del Brasile o dalla colza se si è in un contesto europeo. Si tendono a sfruttare coltivazioni autoctone e a basso impatto ambientale.

Le prospettive future dei materiali circolari in termine di diffusione e convenienza sono determinate da tre fattori principali:

- Migliori processi di trasformazione che riducano l'impatto del materiale in fase di produzione.
- Capacità di adottare nuovi processi per nuovi materiali.
- Diminuzione della naturale riduzione entropica della qualità della materia per via delle molteplici reimmersioni nei cicli produttivi per aumentare i cicli vitali della materia.



3.2 I materiali neo-classici: le grandi filiere dell'economia circolare:

Questo gruppo di nuove materie prime sono molto differenziate, quindi, in prima battuta ci si occupa della separazione dei singoli elementi che li compongono per ottenere materiali di base il più omogenei possibile. Tale separazione avviene in molti modi diversi, dall'impiego di innovativi macchinari alla divisione manuale. Successivamente seguono tra le più svariate operazioni in base al tipo di materia che si sta gestendo, pulizia, lavaggio, riduzione in elementi più elementari e così via.

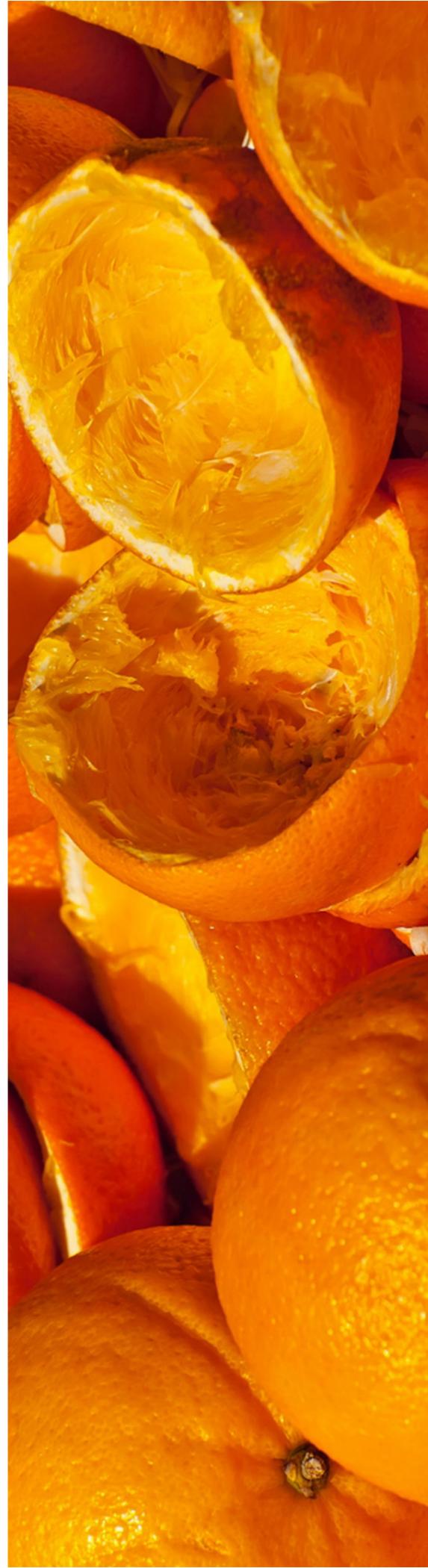
Il riciclo vero e proprio, invece, può avvenire in due maniere diverse: meccanicamente e chimicamente. Nel riciclo meccanico la materia di partenza è ridotta in particelle più piccole tramite azioni meccaniche di triturazione. È molto consigliato soprattutto per le materie plastiche termoindurenti, in cui è avvenuto un processo di polimerizzazione irreversibile. Mentre l'operazione chimica permette di riottenere una materia prima pari se non antecedente allo stato di partenza. Una buona gestione della filiera della raccolta differenziata potrebbe portare ad alti livelli per tutte quelle plastiche che possono essere gestite sia tramite riciclo meccanico che chimico. Bisogna inoltre manovrare il prodotto di partenza in modo da renderlo il più omogeneo e possibile, preferibilmente monomaterico. Perciò, una delle aree di sviluppo più interessanti è la creazione di processi che riescano ad invertire con successo tutti i processi produttivi separando tutti quei materiali che vengono sviluppati composti per ubbidire ad esigenze di mercato.



3.3 I materiali ex-novo:

Esiste una ulteriore risorsa da cui è possibile ricavare delle materie prime nuove, ossia gli scarti provenienti dai differenti processi di lavorazione delle materie prime bio-based destinate a svariati usi, principalmente alimentare e cosmetico. Questi scarti variano dai reflui da lavorazioni industriali, fanghi conseguenti a processi di riciclaggio, rifiuti che sfuggono al riciclaggio e compostaggio e che quindi si innestano in nuove declinazioni e possibilità di utilizzo. I materiali ex-novo considerano tutti quei materiali considerati a fine corsa, ma che sono fonte di risorse importanti e non trascurabili.

Parlando più precisamente dell'industria alimentare, si può facilmente notare come in ogni singolo passaggio nella catena del valore vi è la generazione di scarti, che siano essi eccessi di produzione agricola, residui della lavorazione della materia prima o semplicemente prodotti processati che non vengono smaltiti in tempo. Perciò, si è sentita l'esigenza, anche etica, di sfruttare queste perdite e dal loro valore immettendole nuovamente nel ciclo produttivo. Esempi utili per comprendere meglio il concetto si ritrovano nei progetti sviluppati dai ricercatori della stazione sperimentale per l'industria delle conserve alimentari di Parma presentati all'Expo 2015 che si è svolto a Milano. In questa rassegna si ritrovano il ketchup integrale, ricavato esclusivamente da scarti di lavorazione dei pomodori, o esempi di prodotti veri e propri, come la biolacca ricavata sempre dalla filiera del pomodoro. Questi risultati sono ottenibili solo se l'industria alimentare si interfaccia con altre realtà industriali e di ricerca e sviluppo. Ma è necessario anche che ci siano delle manovre a livello governativo per fornire approvvigionamenti continuativi a tali imprese, altrimenti vi è il rischio che tali cicli virtuosi non si avviino mai. Secondo Qmilch, azienda tedesca che si occupa della riconversione di latte non più commestibile in risorsa prima, sono in territorio tedesco vengono scartati ogni anno 1,9 milioni di litri di latte per svariate ragioni diverse. Quel latte potrebbe essere usato per trasformarlo in polimeri e fibre tessili, ma è necessario che venga costruita una rete di ritiro del latte in eccesso presso tutti gli allevatori coinvolti.



3.4 Le bioplastiche:

Parlando di bioplastiche è utile chiarire come si tratti effettivamente di una famiglia di materiali differenti, dunque con proprietà e applicazioni diverse. Secondo la European Bioplastics, ente nato quale punto di riferimento per le aziende leader nel settore delle bioplastiche a livello europeo, un materiale per essere definito bioplastico deve rispettare alcune caratteristiche di origine biologica, biodegradabilità oppure

Alcuni termini per orientarsi:

Sempre secondo la European Bioplastics, queste sono le definizioni da tenere a mente per non fare confusione sul mondo dei biopolimeri:

“Bio-based”- di origine biologica- vuole introdurre un materiale derivato da biomassa, quindi piante. Tale biomassa può provenire da diverse fonti quali il mais, la canna da zucchero, il legno e così via.

Biodegradabilità: processo biochimico in cui i materiali sono trasformati in acqua, anidride carbonica e biomassa dall'azione di microorganismi presenti in uno specifico ambiente. Tale processo subisce l'influenza delle condizioni ambientali in cui il materiale è inserito, e le proprietà del materiale stesso. La biodegradabilità, inoltre, non dipende dall'origine delle risorse impiegate, ma dalla struttura chimica del materiale. Ciò porta ad avere, ad esempio, materiali di base biologica ma non biodegradabili e viceversa.

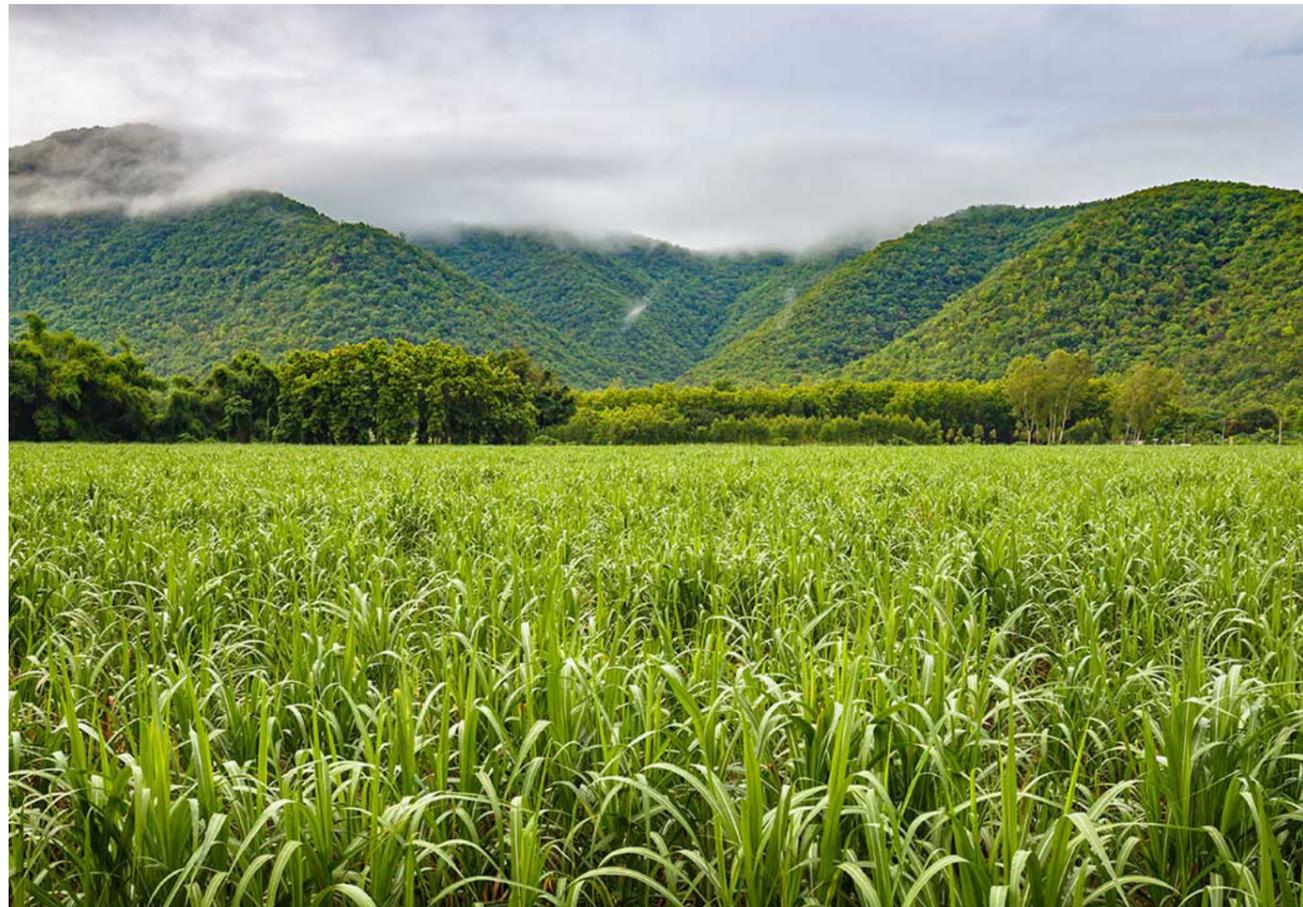
Compostabile: proprietà di biodegradabilità in condizioni di compostaggio industriale o domestico.



3.5 Panorama generale:

Vi sono tre gruppi principali in cui si può suddividere la differenziata famiglia delle bioplastiche:

- Polimeri di origine biologica in tutto o in parte, non biodegradabile. Tra queste si trovano il bio-pe, il bio-pp e il bio-pet, una delle bioplastiche più sviluppate negli ultimi anni. Si ritrovano anche polimeri ad alte prestazioni tecniche, come le poliammidi bio-based o nuovi polimeri come il polietilene furanoato, il PEF.
- Plastiche sia bio-based che biodegradabili, come l'acido polilattico, il PLA, e i poliidrossialcanoati, i PHA e differenti miscele di amido termoplastico, i TPS. Tali materiali sono impiegati tipicamente nello sviluppo di prodotti a vita breve, come per il packaging, ma la ricerca sta spingendo verso il loro utilizzo anche in applicazioni a lungo termine, per poter sfruttare al meglio le loro caratteristiche ottimali. Il contenuto rinnovabile di materiali simili è un punto di partenza di un futuro e sostenuto sviluppo tecnico.
- Plastiche provenienti da risorse fossili ma biodegradabili, come può essere il polibutene, il PBAT. Questa categoria sta sempre più scomparendo, in quanto ci si vuole concentrare su soluzioni che promuovano l'indipendenza dai combustibili fossili.



3.5 Lo sviluppo delle bioplastiche:

Attualmente la produzione di bioplastiche ricopre circa lo 0,5% del quantitativo di plastica prodotto ogni anno a livello globale. Dopo un periodo di stasi, vi è una ripresa nella sua produzione dal 2023. La capacità globale di sviluppo di bioplastiche è destinata a crescere per via delle nuove applicazioni a cui è sottoposta questa famiglia di materiali. Secondo le stime eseguite dall'European Bioplastics la produzione aumenterà da circa 2,18 milioni di tonnellate attuali a 7,43 milioni di tonnellate entro il 2028. Un altro aspetto favorevole alla crescita di tale mercato è la creazione di alternative bioplastiche per quasi ogni materiale plastico convenzionale, oltre allo sviluppo di nuovi polimeri come l'acido polilattico o i poliidrossialcanoati, ottenuti per fermentazione batterica.

Sono state attuate diverse manovre di marketing e ingenti investimenti finanziari per lo sviluppo di tale settore. Le previsioni indicano come l'industria delle bioplastiche rivelerà un forte potenziale economico e sostenibile nei prossimi decenni, chiaramente continuando ad impiegare risorse sulla ricerca.

L'ente European Bioplastics ha come obiettivo la promozione delle attività che a livello europeo possono contribuire al successo dei nuovi materiali. Effettivamente l'Europa detiene condizioni molto favorevoli per poter competere a livello globale e diventare produttrice Leader nel campo per via di:

- Un'economia sviluppata
- Aziende professioniste nel campo chimico e di produzione di plastiche
- Realtà industriali dedicate alla promozione di uno sviluppo sostenibile
- Consumatori istruiti e con potere d'acquisto e possibile consapevolezza ambientale.

3.6 Il ruolo della politica:

Dei processi politici sono essenziali per lo sviluppo del mercato delle bioplastiche. Un quadro di investimenti fissi e stabili favorirebbe certamente la creazione di un futuro più sostenibile. A tal proposito, negli ultimi anni, la Commissione Europea si è mossa in questa direzione con manovre quali il Green Deal europeo, che punta ad attuare i principi di un'economia bio e circolare, fattori utili per la crescita delle bioplastiche.

Sforzi di ricerca sull'economia bio-based è già stata avviata da diverse Nazioni con programmi europei come l'Horizon 2020, che era è sostituito da Horizon Europe, in vigore dal 2021 fino al 2027, ed include diverse manovre di finanziamento per la ricerca bio-economica. Inoltre, esistono molti altri enti non governativi e realtà, come European Bioplastics, oppure la Ellen MacArthur Foundation, che svolgono un ruolo di educazione e facilitazione all'adozione di misure sostenibili. Pr non parlare dell'influenza che l'adozione di questi materiali da parte di grandi marchi può avere sullo sviluppo futuro del settore. Brand internazionali come Tetra Pak, Danone, Lego, Ikea, Toyota e molti altri hanno già adottato su larga scala l'uso di bioplastiche per i loro prodotti.

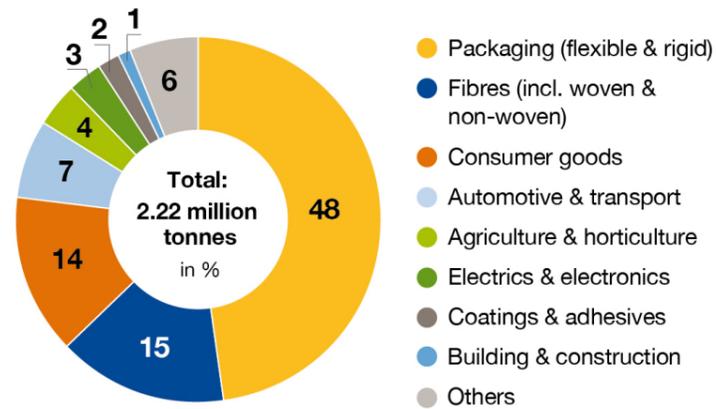
Tutte queste manovre potrebbero aumentare significativamente il livello di consapevolezza, informazione riguardo le bioplastiche e favorirebbero il loro impiego. Conseguenza naturale sarebbe la crescita di volume sul mercato e la diminuzione dei costi legati alla produzione fino a poter concorrere coi materiali convenzionali.

3.7 Applicazione delle bioplastiche:

Attualmente le bioplastiche possono essere utilizzate in svariati settori, i principali sono:

- Imballaggi
- Servizi alimentari
- Agricoltura
- Elettronica di consumo
- Trasporti
- Beni di consumo e elettrodomestici
- Edilizia e costruzioni
- Rivestimenti
- Fibre

Global production capacities of bioplastics in 2022 (by market segment)



3.8.1 Industria automobilistica:

Il settore automobilistico è stata tra le prime ad impiegare le bioplastiche dure a base biologica o parzialmente bio-based per la produzione di componenti robuste del cruscotto e di altri elementi degli interni, ma anche gli sterzi della macchina. Tali componenti sono in grado di garantire e superare gli standard di sicurezza necessari per operare nel settore dei trasporti. Altri prodotti sviluppati includono coperture per sedili,

3.8.2 Imballaggi:

Il settore del packaging è sicuramente uno dei più floridi per quanto riguarda le bioplastiche. Nel 2022 la produzione globale di bioplastiche si aggirava intorno a 2,22 milioni di tonnellate, di cui circa 1,07 milioni del volume è stato destinato al settore degli imballaggi. In questo contesto vi possono essere diverse applicazioni, tra cui contenitori rigidi per l'imballaggio di cosmetici, o di bottiglie di bevande. In questo determinato settore si ritrovano materiali come il PLA, il bio-PE o solitamente il bio-PET.

Mentre un'altra caratteristica molto sfruttata in tale contesto è la biodegradabilità, soprattutto se si tratta di prodotti alimentari deperibili. Affrontando problematiche simili si necessitano imballaggi flessibili, come film o vassoi, ideali per prodotti freschi. Quando si tratta di prolungare la durata di scaffale dei prodotti, gli imballaggi bioplastici godono di proprietà paragonabili ai materiali convenzionali esistenti, se non migliori.

3.8.3 Servizi alimentari:

Il settore della ristorazione, e le pratiche del take away contribuiscono alla crescita di una fetta di mercato legata ai prodotti usa e getta, soprattutto per quanto riguarda contenitori, posate, stoviglie e bicchieri in plastica. Negli ultimi 10 anni tale fetta è cresciuta in media del 7% ogni anno a livello europeo. La Commissione Europea si è occupata di questo problema introducendo un'iniziativa in vigore dal luglio 2021 che riguarda i prodotti monouso. Tuttavia, osservando lo stile di vita e il consumo moderno, si richiede una combinazione di soluzioni sostenibili e monouso o riutilizzabili perché gli standard di igiene e sicurezza alimentare siano comunque mantenute. La sfida si concentra sulla progettazione di bicchieri, tazze, vassoi, piatti e posate sia in versione monouso e biodegradabile che riutilizzabile e bio-based.

3.8.4 Agricoltura:

Un altro contesto in cui le bioplastiche hanno trovato un'ottima applicazione è quello dell'agricoltura. Un grande esempio è rappresentato dai film biodegradabili, prodotto che sta facendo progressi rapidi, permettendo un'aratura dei film poso l'uso senza raccogliarli dal campo, pulirli e portarli a riciclo, rendendo l'operazione più pratica ed economica. Altre applicazioni riguardano film per le piante che necessitano di protezione da polvere e influenze atmosferiche, diverse tecnologie di fissaggio, vasi per la coltivazione, bastoncini fertilizzanti che non vanno rimossi dopo l'uso. Sono, inoltre, stati sviluppati bulbi di fiori che non necessitano di estrazione dall'imballaggio per essere piantati, anzi l'imballaggio è utile per la crescita della pianta.

3.8.5 Elettronica di consumo:

L'elettronica di consumo rappresenta un settore molto invitante, in quanto una grande maggioranza degli elettrodomestici, o comunque dei loro sottoprodotti o componenti, sono realizzate in plastica per garantire leggerezza, mobilità ed economicità. Dunque, è un'ottima opportunità per rimpiazzare le convenzionali materie plastiche con le loro controparti bio-based e/o biodegradabili. Perciò molti gusci di computer touch screen, altoparlanti, elementi di tastiere, gusci per dispositivi mobili, aspirapolveri, mouse e altri prodotti ancora ormai sono sviluppati anche impiegando le bioplastiche.



3.9 Contenuto biologico e contenuto carbonioso:

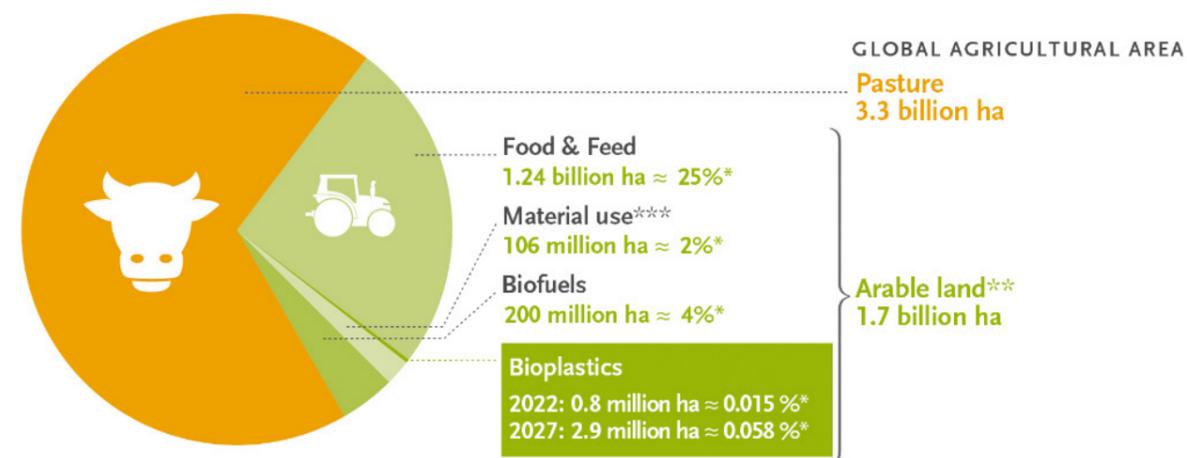
Per poter effettivamente certificare ed indicare il contenuto biologico del materiale, le aziende interessate possono indicare il "contenuto di carbonio di origine biologica" e il "contenuto di massa di origine biologica" dei loro manufatti. Sia le materie prime di origine fossile che quelle rinnovabili sono formate per la maggior parte da carbonio (C). Il carbonio si può osservare sotto forme differenti che si chiamano isotopi. Un isotopo di particolare interesse è il C14. Tale isotopo è radioattivo e si trova naturalmente negli organismi viventi, dunque piante, animali ecc, in concentrazioni di $1,2 \times 10^{-12}\%$. Con una tale concentrazione, il livello di attività radio del C14 è del 100%.

In questo modo si può rilevare la presenza di carbonio "giovane", di un'età compresa tra gli 0 e i 10 anni, quindi proveniente da materia prima rinnovabile, dato che quest'ultimo avrà un'attività C14 di circa il 100%. Viceversa, il carbonio "vecchio" avrà un'attività pari al 0%. Dunque, se un prodotto ha un'attività pari all'80% di C14, ciò significa che esso è composto per l'80% da carbonio proveniente da risorse rinnovabili.

I principali schemi di certificazioni ed etichette ufficiali di prodotti che rispettano gli standard europei e statunitensi sono disponibili attraverso il certificato belga TÜV Austria o il certificatore tedesco DIN CERTCO (OK biobased e DIN geprüft biobased).

Ulteriori elementi chimici diversi dal carbonio bio-based, ad esempio ossigeno, azoto e idrogeno, possono essere presi in considerazione per valutare il contenuto di massa di origine biologica. L'istituto olandese di Standardizzazione (NEN) ha pubblicato uno schema di certificazione per valutare degli standard che potessero rispecchiare il contenuto biologico.

Land use estimation for bioplastics 2022 and 2027



3.10 Materia prima rinnovabile:

Attualmente le bioplastiche sono realizzate a partire da piante con un alto contenuto di carboidrati, quali canna da zucchero o mais, nominate colture alimentari o materia prima di prima generazione. Tale tipologia di materia ha il vantaggio di richiedere minor qualità di terreno coltivabile per crescere e ha rendimenti alti.

Vi sono anche svariati filoni di ricerca che indagano l'uso di colture non alimentari, dunque materie prime di seconda e terza generazione, come la cellulosa, le alghe, gli scarti alimentari per produrre materiale bioplastico. Vi sono poi tecnologie che si stanno concentrando su sottoprodotti non commestibili all'interno della filiera alimentare, perciò si considerano elementi come paglia, residui di mais o bagassa, che solitamente vengono lasciati sui terreni per la biodegradazione e dunque la restituzione di carbonio nel suolo, ma in quantità più elevate del dovuto.

3.11 Uso del suolo:

Secondo i dati rilavati dell'European Bioplastics, nel 2022 globalmente si è prodotto un quantitativo di bioplastiche pari a 2,2 milioni di tonnellate, dato che si traduce in circa 0,8 milioni di ettari di terra. Ciò significa che la produzione odierna di bioplastiche ricopre poco più dello 0,01% dell'area agricola globale. Secondo le stime, entro il 2027, la produzione dovrebbe crescere fino a 6,3 milioni di tonnellate, corrispondenti a 2,9 milioni di ettari, ossia lo 0,06% dell'area agricola mondiale.

Chiaramente la sostenibile reperibilità della materia prima è di fondamentale importanza in un contesto simile per poter assicurare la nascita di un prodotto sostenibile. Bisogna far sì che impatti negativi quali deforestazione, sfruttamento del suolo e pratiche agricole non corrette vengano evitate per salvaguardare l'ambiente circostante.

3.12 Gestione dei rifiuti e opzioni di recupero per le bioplastiche:

Una volta raggiunto il fine vita, le bioplastiche possono essere reimmesse nel ciclo produttivo tramite riciclaggio meccanico, riciclaggio organico e recupero energetico. Inoltre, una grande maggioranza delle bioplastiche che presentano omologhi convenzionali possono essere riciclate nello stesso flusso di riciclaggio, laddove ne esista una, delle omologhe convenzionali. C'è da aggiungere anche che prodotti quali sacchetti per i rifiuti organici biodegradabili, packaging alimentare e posate biodegradabili hanno rafforzato la filiera del compostaggio industriale, il riciclaggio organico, con una conseguente migliore efficienza della gestione dei rifiuti.

I polimeri bioplastici che non sono adeguati al riutilizzo o il riciclo, invece, vengono destinati alla produzione di biomassa. Accade spesso che le bioplastiche vengano declinate come soluzione ai problemi dell'abbandono di rifiuti, quindi alla pratica di gettare in maniera negligente ed illegittima i rifiuti nell'ambiente.

3.13 La compostabilità:

La pratica di compostabilità presenta un grande vantaggio in tutte quelle condizioni in cui gli oggetti in plastica sono miscelati con rifiuti organici. Usando le bioplastiche compostabili si rende il riciclaggio organico dei rifiuti misti molto più praticabile. Per essere adatti al riciclaggio organico, bisogna che il materiale rispetti i criteri descritti dalla normativa europea EN 13432 sulla compostabilità industriale.

Il compostaggio viene definito come la biodegradazione in condizioni aerobiche entro 6-12 settimane. È un processo di decomposizione biologica di materiale organico in condizioni che devono essere controllate. Quando si tratta di prodotti industriali, il compostaggio avviene in siti di compostaggio industriale, dove molte condizioni sono controllate e garantite, quindi la temperatura, il livello di umidità, il livello di aerazione, la presenza di quali e quanti microrganismi diversi e come sono in grado di digerire la struttura a catena dei polimeri adatti al compostaggio.



Tale supposizione deriva dalla proprietà delle bioplastiche biodegradabili di essere decomposte da microrganismi senza produrre residui nocivi all'ecosistema, ma ciò è fuorviante in quanto non tutte le bioplastiche sono progettate per la biodegradabilità, inoltre, quest'ultima dipende da svariati fattori, tra cui le condizioni ambientali e la presenza o meno di determinati microrganismi.

Perciò, è molto importante che l'utente finale consideri ogni manufatto o imballaggio come elemento che deve obbligatoriamente essere sottoposto ad appropriati processi di smaltimento e recupero. Pratiche come la dispersione nell'ambiente o lo sviluppo di discariche sono uno spreco ed un ostacolo ad un consumo funzionale di risorse.

Il risultato si ottiene sotto forma di acqua, anidride carbonica e biomassa. I parametri sopracitati influiscono sulla riuscita dell'intero processo e sulla sua velocità.

Mentre dalla catena di approvvigionamento alimentare, dalle catene di supermercati o più banalmente dai rifiuti organici domestici si ottiene un compost di ottima qualità tramite svariati trattamenti negli impianti di compostaggio con trattamento aerobico.

Un'altra possibilità è il compostaggio in impianti di trattamento anaerobico, in cui il processo di degradazione portato avanti dai microrganismi avviene in assenza di ossigeno in un impianto tenuto chiuso ermeticamente. I microrganismi ricavano l'ossigeno di cui necessitano direttamente dalla biomassa. Con un processo simile si ottiene biogas, quindi metano ed anidride carbonica, impiegato nella produzione di energia.

3.14 I Poliidrossialcanoati (PHA):

I PHA sono delle bioplastiche poliesteri alifatici con delle ottime proprietà di biodegradabilità e si basano sul metodo di produzione della fermentazione batterica. Sulla base di guidate combinazioni di unità monomeriche, si possono formare alti quantitativi di copolimeri di PHA. Con le proprietà di biodegradabilità, i poliidrossialcanoati permettono la creazione di un ciclo chiuso che diminuisce l'impatto ambientale, malgrado tutto dipenda dalla tipologia di PHA che si prende in considerazione.

I differenti tipi di PHA possono essere settorializzati in base alla lunghezza della loro catena. La lunghezza si considera corta che è formata da 3-5 atomi di carbonio, media se ce ne sono 6-14 e lunga se gli atomi sono presenti in un numero pari o superiore a 15 atomi. Attualmente i PHA più studiati e conosciuti sono il poli(3-idrossibutirrato) (PHB) e il poli(3-idrossibutirrato-co-3-idrossivalerato) (PHBV), entrambi a catena corta, i più facilmente reperibili a livello commerciale. Altre tipologie disponibili attualmente sono il poli(3-idrossibutirrato-co-4-idrossibutirrato) (PH4B), il poli(3-idrossibutirrato-co-3-idrossiesanoato) (PHBHx) e il poli(3-idrossibutirrato-co-3-idrossiotanoato) (PHBO).

I PHA furono scoperti e studiati per la prima volta dal microbiologo francese Maurice Lemoigne, che li osservò all'interno delle cellule del *Bacillus Megaterium*, un batterio a bastoncino. Questa osservazione portò allo sviluppo di ricerche e studi a riguardo, che portarono ad una conseguente scoperta della presenza di PHA all'interno del metabolismo di piante, animali ed esseri umani, ma un peso molecolare molto basso di questi materiali presenti naturalmente e prodotti della fermentazione non è utile al loro impiego. Questo portò molti scienziati e ricercatori a studiare nuovi e più efficienti metodi di fermentazione in cui si cercò di mantenere la naturalità dei PHA e allo stesso tempo aumentare il peso molecolare per poterli effettivamente applicare a livello industriale.

Gli investimenti sulla ricerca hanno portato la produzione dei PHA ad essere attuata tramite fermentazione batterica di zuccheri, lipidi, oli e grassi vegetali oppure utilizzando i loro scarti provenienti da altre filiere. Questo è possibile per via della biosintesi dei batteri, che possono essere tra i più svariati. Per fermentazione batterica si intende l'azione di far moltiplicare celermente una coltura batterica tramite specifici nutrienti, con il fine di produrre macromolecole accumulate dai batteri stessi sotto forma di fonte carboniosa di riserva, che si può definire una specie di "grasso interno" al batterio. Una volta che la proliferazione batterica ha prodotto un livello sufficiente di biomassa, si attua una modifica alla composizione dei nutrienti in modo da indurre gli stessi microorganismi a sintetizzare ed accumulare PHA.

Ciò equivale a dire che i PHA possono essere considerati una riserva di energia per i microorganismi, riserva che viene sintetizzata sotto forma di granuli intercellulari in particolari condizioni definite di stress, come può essere una situazione di eccesso di carbonio o carenza di azoto, fosforo oppure ossigeno. Il prodotto della sintetizzazione è un poliestere che quando estratto diventa il polimero di base da cui derivano i nuovi materiali.

Perciò, essendo polimeri naturali, i PHA vengono prodotti in fermentatori industriali, da cui si ricava l'80% di poliestere che viene estratto e purificato. Come si è evinto, la composizione chimica dei poliidrossialcanoati può essere molto varia, in quanto possono esserci differenti lunghezze di catena, che portano a differenti caratteristiche, proprietà e campi di applicazione.

3.15 Applicazioni del PHA

Grazie alle caratteristiche di biocompatibilità e biodegradabilità, i PHA sono indicati per le applicazioni temporanee in vivo, dove affrontare un costo di produzione anche più alto rispetto ad altri materiali convenzionali è meno significativo. In questo campo si possono ricordare le suture rilascianti antimicrobici, film di supporto per la trasfusione di gas, capsule a rilascio prolungati di farmaci, fibre per tessuti ossei ed impalcature tessutali e così via.

Un altro importante campo di applicazione riguarda la sostituzione di plastiche monouso, dunque nella progettazione di posate, stoviglie, imballaggi o anche altri prodotti di uso quotidiano come vasi per piante, contenitori e via dicendo. Inoltre, anche nel campo agricolo, per la produzione dei teli da pacciamatura di cui si è parlato precedentemente, essendo biodegradabile anche in suolo.



3.16 Costi di produzione

Nel 2004, il prezzo dei PHA commerciali si aggirava intorno ad una cifra circa 15-17 volte superiore ai polimeri convenzionali a base fossile e 4-6 volte superiore al PLA. Queste condizioni, però, sono cambiate negli anni grazie allo sviluppo dell'ingegneria metabolica, le condizioni di fermentazione migliorate ed in generale capacità produttive superiori permettendo al prezzo dei biopolimeri di arrivare a 5 dollari per chilogrammo nel 2009 e a mantenersi circa su questa cifra di prezzo fino ad oggi. Conseguentemente, i PHA hanno ancora un mercato limitato, malgrado abbiano il potenziale di sostituire il 33% dei polimeri commerciali.

I maggiori ostacoli che impediscono l'abbattimento dei prezzi della produzione di PHA sono l'economicità del petrolio negli ultimi decenni, il prezzo del glucosio derivante dalla fecola di mais che è aumentato, materia prima molto utilizzata per la produzione dei biopolimeri e il fatto che i processi di fermentazione, oltre ad essere più dispendiosi, hanno anche una resa minore rispetto ai processi che si svolgono in reattori chimici. Pertanto, una buona parte della ricerca si occupa ancora della riduzione dei costi a livello di produzione e dell'ottimizzazione complessiva del processo, piuttosto che un miglioramento di singoli indicatori.

3.16 Biodegradazione dei PHA:

La tipologia di biodegradazione dei PHA sono molto simili a quelle dell'amido. In effetti, in letteratura è riportato che circa il 90% dei microrganismi capaci di degradare l'amido riescono anche a degradare i PHA a catena corta. Bisogna, però, aggiungere che tali microrganismi riescono solo a bio-assimilare, dunque assumere e utilizzare, i prodotti della biodegradazione senza compiere una completa biodegradazione quando si tratta di PHA a catena media o lunga. Perciò si necessita di due tipi di microrganismi per la biodegradazione, una prima tipologia che degrada fisicamente i PHA e una seconda che si nutre di sottoprodotti della degradazione effettuata dal primo gruppo, quindi acido butirrico, acido valerico e così via.

Si si tratta di PHA a catena corta o media, la biodegradazione avviene tramite diversi batteri, tra cui i membri dei generi Actinomyces, Alcaligenes, Arthrobacter, Aspergillus, Bacillus, Clostridium, Comamonas, Corynebacterium, Enterobacter, Gracilibacillus, Klebsiella, Micrococcus, Mycobacterium, Nocardia, Pimelobacter, Planococcus, Pseudomonas, Pseudoalteromonas, Staphylococcus, Streptomyces, Variovorax.

Ma anche i funghi, si è osservato, che siano molto efficaci, se non addirittura più efficienti rispetto ai batteri nella distruzione di PHA. I funghi più noti per tale degradazione appartengono alle tipologie Ascomycota, Basidiomycetes, Deuteromycetes e Zygomycotina in ambienti aerobici e anaerobici.

3.17 Compostaggio dei PHA

Per quanto riguarda il compostaggio, vi è una larga rosa di studi compiuti osservando le condizioni del compostaggio industriale, caratterizzato da una temperatura controllata di 58°C. Considerando le normative che gestiscono la biodegradabilità e il compostaggio delle bioplastiche, norma ISO 14855, equivalente alla ASTM D5338, un sacchetto di PHA subisce una biodegradazione del 94% in un periodo di 180 giorni, superando in percentuale la biodegradazione di tutti gli altri biopolimeri a base fossile.

Il compostaggio industriale è caratterizzato da variabili molto controllate, ma, nonostante ciò, si può incorrere ad una variabilità tra i vari campioni, ad esempio i film in PHBV richiedono un periodo che va dai 45 ai 200 giorni, variabilità che dipende dalla fonte dell'inoculo, ossia il materiale usato per inserire i microorganismi che andranno a degradare i materiali.

La norma ASTM D5338 mostra come tale inoculo può derivare da rifiuti solidi urbani, rifiuti vegetali, rifiuti da giardino. Inoltre, sono stati effettuati diversi studi sulla biodegradabilità dei PHA a partire da fanghi attivi, compost da coltivazioni di funghi, rifiuti organici provenienti da altre filiere. Non essendoci ancora delle norme e degli standard che possano definire con precisione le caratteristiche di partenza di questi inoculi, si avrà anche una differenza significativa sulla composizione. Per esempio, il fango attivo è ottenuto da acque reflue trattate, che contengono un alto numero di diversi batteri e protozoi, che variano a seconda del metodo di trattamento usato in precedenza. Dunque, la materia utilizzata è fortemente legata ai tempi di degradazione.

La famiglia dei PHA può essere anche soggetta a compostaggio domestico, metodo in cui condizioni come temperatura e livello di umidità non sono controllati, di conseguenza tale modalità di compostaggio avviene più lentamente rispetto a quello industriale. Anche in questo caso, fattori rilevanti sono sicuramente l'influenza del profilo microbico, la temperatura e il livello di pH durante il processo. I PHA mostrano un minimo livello di biodegradazione nelle condizioni di compostaggio domestico sia per via delle temperature più basse, ma soprattutto per la tipologia e concentrazione di inoculo presente.



SOSTENIBILITA' E CALZATURE



4.1 L'impronta ecologica dell'industria calzaturiera:

Negli ultimi tempi, i consumatori, in qualsiasi settore merceologico sembrano sempre più interessati e condizionati dalla volontà di garantire che i prodotti usati provengano da realtà sostenibili a livello ambientale, sociale ed economico. Un fenomeno simile porterebbe a pensare che la sostenibilità, in realtà, sia non sia un capolinea, un traguardo da raggiungere, ma piuttosto il risultato di modelli aziendali volti al miglioramento delle condizioni ambientali e socio-economiche sia per i produttori che per i consumatori in tutte le fasi del ciclo produttivo. Un aspetto fondamentale della sostenibilità, però, si trova legato ad un sistema di gestione dei rifiuti funzionale ed efficiente, soprattutto considerando come la produzione di rifiuti sia aumentata ampiamente nel corso degli anni per via di molteplici motivi, quali il progresso tecnologico, l'aumento dello standard di vita, un cambiamento sociale nei confronti del consumo in generale e soprattutto un aumento demografico globale.

I rifiuti prodotti dall'industria calzaturiera rappresentano un'esigua parte del totale dei rifiuti prodotti a livello domestico; perciò, in molti casi il loro impatto ambientale viene sottovalutato. Focalizzarsi su questa tipologia di rifiuto è, in ogni caso, di fondamentale importanza per via della complessità materica e di sostanze chimiche coinvolte nella produzione di calzature. Inoltre, la domanda scarpe è drasticamente aumentata nel tempo.

Secondo Rahimifard et al (2007), il consumo di calzature ha visto un raddoppiamento ogni circa 20 anni dagli anni '50. Si stima che nel 2005 siano state consumate oltre 20 miliardi di paia di scarpe. Se sempre negli anni '50 al mondo si stimava un utilizzo di un nuovo paio di scarpe all'anno a persona a livello globale, nel 2018 questo valore è salito a 2,6 con 24,2 miliardi di paia di scarpe consumate.

Il consumo pro capite delle calzature è più elevato nei paesi sviluppati, come l'Italia, rispetto a quelli in via di sviluppo come il Brasile o l'India. Mentre nel contesto africano, fino agli anni '80 vi era produzione di calzature che superava la domanda nella maggior parte del continente, ma a seguito del miglioramento delle condizioni socioeconomiche il consumo di calzature è aumentato, restando comunque inferiore al consumo dei paesi più sviluppati. Spostandosi in Asia si ritrovano i principali produttori di calzature su larga scala in Cina, India e Vietnam.

È in questo contesto che, secondo l'economista ambientale Bukhari et al (2018), il "fast fashion" ha trovato terreno fertile, rendendo il ricambio dei prodotti per calzature molto celere.

L'espressione fast fashion indica un veloce ricambio di articoli di moda in cui si favoriscono elementi quali l'economicità e la facilità di produzione e distribuzione dei beni a discapito della qualità e di una progettazione sostenibile. Tale modello incoraggia i consumatori finali a vedere i manufatti come articoli usa e getta dalla vita breve. Questo porta ad una diminuzione della vita utile degli articoli aumentando la mole di rifiuti prodotta.

4.2 Ciclo di vita delle calzature:

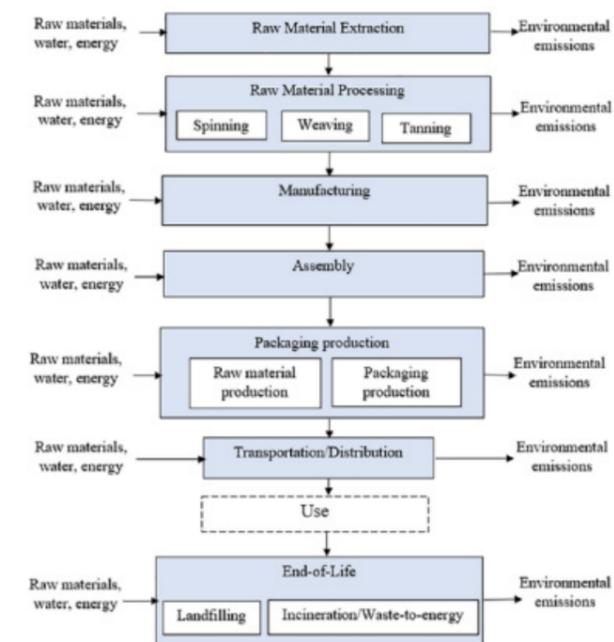
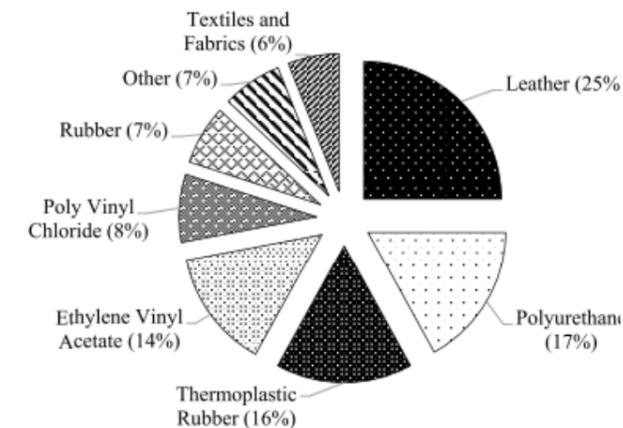
Come già menzionato precedentemente, il ciclo di vita di un prodotto parte dall'estrazione delle materie prime necessarie per la produzione del manufatto, fino alla gestione del suo fine vita. Nel caso dell'industria calzaturiera si nota una grande diversificazione di materiali e processi impiegati nella filiera. Le proprietà di tali materiali sono di primaria importanza, in quanto determinano la durata del manufatto e l'impatto ambientale che ne deriva. Secondo le stime, in alcuni modelli di scarpe vengono utilizzati fino a 40 materiali diversi per la loro produzione. Una così complessa miscela aumenta notevolmente l'impatto ambientale di un determinato settore per via della difficoltà nella intera separazione e recupero dei materiali stessi in modo sostenibile. Tra i molteplici materiali usati, quelli più impiegati sono sicuramente la gomma, i materiali sintetici, i tessuti e la pelle:

- La gomma: un materiale ricavato dagli alberi ed è spesso impiegato come suola nelle calzature per via delle caratteristiche di resistenza e ammortizzazione degli urti, inoltre è impermeabile. Nonostante le proprietà ideali, la sua produzione è imputabile di emissioni di gas serra, deforestazione, conversione di terreni volti alla produzione agricola in piantagioni e di rilascio di composti organici volatili ed emissioni di biossido di carbonio. Tutti questi elementi portano ad una perdita di biodiversità causata da cambiamenti dell'ecosistema. Uno studio condotto dal World Wildlife Fund (WWF) sulla produzione di gomma ha evidenziato l'enorme danno causato dal processo di trasformazione della linfa in forme di lattice, poiché produce alti livelli di scarico di effluenti, che danneggiano l'ecosistema circostante.

- I materiali sintetici: uno dei materiali sintetici più comuni in cui ci si imbatte nell'industria calzaturiera è sicuramente la plastica. Effettivamente sono diversi i polimeri sintetici che si possono introdurre nella produzione di calzature, tra cui il polietilene e il polistirene. Questo determina un problema in quanto la presenza di tali materiali non agevola la gestione di questa tipologia di rifiuto, soprattutto se si considera anche l'utilizzo di adesivi per combinare altri materiali con i polimeri sintetici.

- I tessuti: L'adozione dei tessuti è utile solitamente per la fodera e la parte superiore della scarpa, ossia la parte che si trova al di sopra della suola. In questa famiglia si ritrovano cotone, nylon, poliestere, lana e così via.

- La pelle: L'introduzione della pelle nella produzione di calzature risale a secoli fa, per via delle proprietà di robustezza e di protezione da lesioni ai piedi e agenti atmosferici. Solitamente, le pelli impiegate nella produzione di scarpe derivano dalla pecora, mucca o vitello, oltre alla pelle dei rettili. Oltretutto la pelle può essere cucita, modellata, resa impermeabile facilmente. Secondo Joseph e Nithya (2009), gli impatti ambientali più preoccupanti che derivano dalla produzione di pelle sono imputabili agli elementi generati dalla sua lavorazione, come liquidi, gas e prodotti chimici altamente inquinanti.



4.3 Impatti ambientali dei materiali per calzature:

Durante le varie fasi del ciclo di vita delle calzature vi sono diversi impatti ambientali conseguenti. Uno studio condotto da parte di Chrobot et al. (2018) si è occupato di dell'analisi degli impatti ambientali dei diversi materiali impiegati nell'industria calzaturiera, concentrandosi in realtà sulle tre tipologie di scarpe più prodotte, ossia scarpe sintetiche, in pelle e tessili, che corrispondono rispettivamente al 57%, al 25% e al 18% della produzione a livello globale di calzature. Gli indicatori utilizzati per condurre lo studio sono i cambiamenti climatici, le risorse, il prelievo di acqua dolce, salute umana e qualità degli ecosistemi. In ogni fase del ciclo di vita vi sono degli impatti differenti su una di queste 5 categorie, e si evince dallo studio che le fasi di produzione ed estrazione delle materie prime siano i più impattanti a livello ambientale in tutte le quante. Mentre gli impatti di altre fasi come l'imballaggio, il trasporto e lo smaltimento in confronto alle prime due sono trascurabili, in quanto il trasporto ricopre solo il 2% degli impatti ambientali a livello globale, mentre le fasi di imballaggio e smaltimento cumulativamente sono responsabili di meno del 5% degli impatti. Nello stesso studio si evidenzia come nonostante le scarpe in pelle ricoprano solo un quarto della produzione totale di calzature, esse sono imputabili di una percentuale di impatti ambientali tra il 30 e l'80%. Se si guarda alla qualità degli ecosistemi si nota come le scarpe in pelle hanno l'impatto maggiore, l'82%, per via della severa lavorazione delle materie prime necessarie. Per quanto riguarda le scarpe sintetiche si parla di un contributo tra il 12 e il 54% sugli impatti ambientali. Tali tipologie di scarpe hanno il maggior impatto sull'impoverimento delle risorse, molto probabilmente per via dell'estrazione di petrolio necessario per la produzione di principalmente poliestere e polietilene. Mentre nel caso delle scarpe tessili vi è un forte impatto sul prelievo di acqua dolce, attribuibile a coltivazioni intensive di cotone, che richiedono un ingente quantitativo di acqua.



Un ulteriore studio molto interessante dal titolo "Environmental impacts of shoe consumption Combining product flow analysis with an LCA model for Sweden" riguardante gli impatti ambientali del consumo di scarpe in un contesto svedese e condotto da Gottofridsson e Zhang (2015) ha mostrato risultati molto simili. I materiali presi in analisi sono la pelle, la gomma, la plastica, il tessuto e le scarpe impermeabili. In questo caso le categorie di impatto considerate sono:

- Il potenziale di riscaldamento globale, dunque l'impatto delle emissioni di gas serra nell'atmosfera causa di cambiamenti climatici.
- Il potenziale di acidificazione, ossia il rilascio di inquinanti che presentano ioni acidi (H^+) dannosi per le fonti d'acqua e il suolo. Tali agenti inquinanti possono dissolversi nell'aria e portare all'acidificazione delle piogge.
- Il potenziale di eutrofizzazione, vale a dire l'accumulo di nutrienti in un ecosistema che causa la riduzione o addirittura l'esaurimento di ossigeno interno al sistema.
- Il potenziale di creazione di ozono fotochimico si ottiene quando agenti inquinanti vengono rilasciati nell'ozono a livello del suolo. Tale operazione porta alla formazione di particelle nelle regioni atmosferiche, particelle potenzialmente dannose per la salute umana e la vegetazione.

Anche in questo studio i risultati dimostrano come le scarpe in pelle abbiano il maggiore impatto in tutte e quattro le categorie. Mentre al secondo posto per percentuale di impatto si ritrovano le scarpe impermeabili seguite da scarpe in gomma e in plastica.



4.4 Gestione dei rifiuti delle calzature:

Quando si parla di fine vita delle scarpe, si possono intraprendere due strade differenti: una strategia proattiva e una reattiva, in cui la prima include azioni volte alla minimizzazione dei rifiuti attraverso una migliore progettazione mentre la seconda, d'altro canto, si concentra sul riutilizzo dei manufatti una volta raggiunto il fine vita tramite misure di smaltimento, riciclo, riutilizzo e recupero dei rifiuti (Staikos and Rahimifard, 2007).

4.4.1 La discarica:

In molti paesi a livello globale, quali Inghilterra, Stati Uniti, India, Sudafrica, si sta affrontando una crisi riguardante la gestione delle discariche, in quanto queste ultime stanno drammaticamente raggiungendo le capacità massime. Per fare alcuni esempi, in Sudafrica solo il 10% dei rifiuti sfugge alle discariche in favore del riciclaggio, mentre in India manca un adeguato ed efficiente sistema di raccolta differenziata, causando l'affollamento delle discariche.

Inoltre, le condizioni anaerobiche tipiche delle discariche causano il rilascio di biogas dalla decomposizione organica di rifiuti, tra cui le calzature. In effetti uno studio di Albers ha rivelato come una coppia media di scarpe sia causa un'impronta di gas serra equivalente di 0,27 kg di CO₂.

Questi elementi dimostrano la necessità di agire sul fine vita delle calzature evitando che finiscano in discarica.

4.4.2 Il riutilizzo:

L'operazione più comune effettuata nelle strategie di utilizzo è la riparazione, donazione e redistribuzione delle scarpe usate nei paesi in via di sviluppo. Ma queste attività non sempre hanno degli effetti benefici sui paesi riceventi. Effettivamente, uno studio condotto da Baden e Barber (2005) ha evidenziato come l'importazione di abiti e calzature usate possa compromettere le imprese locali per via di un grande afflusso di abbigliamento molto economico. Inoltre, solitamente i paesi in via di sviluppo non presentano filiere di gestione dei rifiuti efficaci; dunque, ricevere manufatti che diventeranno eventualmente rifiuti aggiuntivi non è favorevole.



4.4.3 Il riciclo

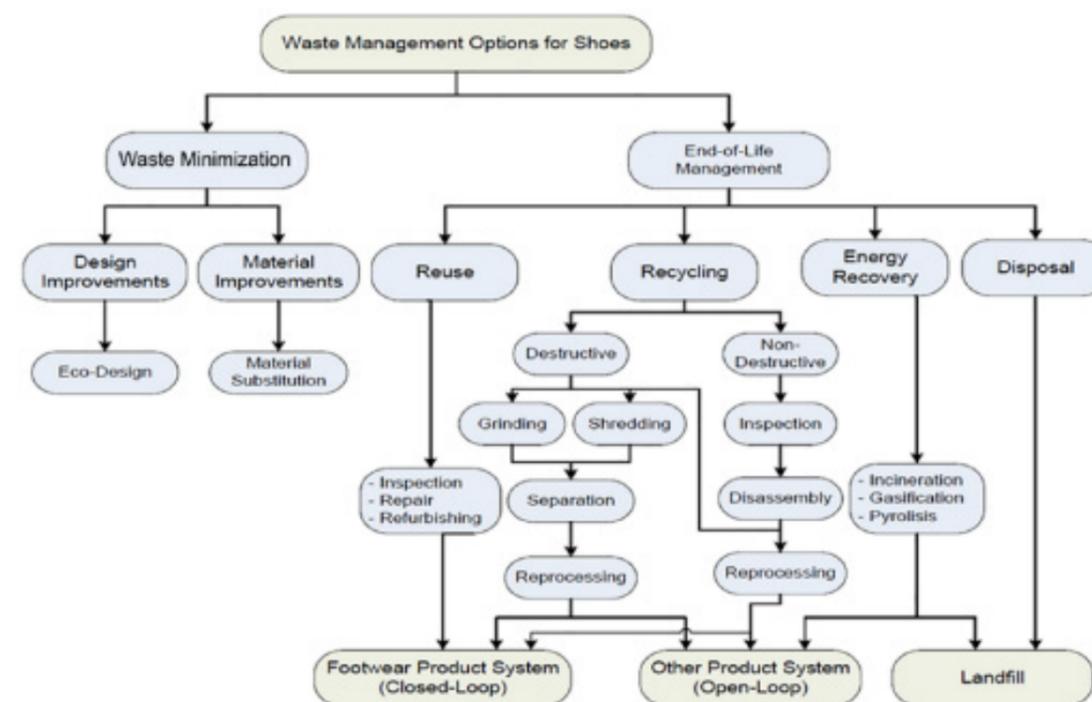
Nell'industria calzaturiera il riciclo si è mostrato una strategia di poca efficienza. Le stime indicate da Lee e Rahimifard (2012) mostrano come meno del 5% delle scarpe post-consumo vengano effettivamente riciclate, questo perché non si è investito sullo sviluppo di soluzioni efficienti di separazione materica.

Uno dei pochi esempi di sistemi virtuosi è il programma "Reuse-a-shoe" dell'azienda Nike presente negli Stati Uniti, nel Regno Unito, in Giappone e in Australia. Tale sistema si basa sullo sviluppo di punti di raccolta di scarpe usate presso campus universitari, centri commerciali e altri luoghi pubblici e facilmente accessibili. Le scarpe raccolte sono poi destinate alla triturazione per la produzione di un materiale dal nome "Nike Grind" usato per differenti applicazioni, tra cui pavimentazioni per campi da tennis, piste da corsa e aree giochi per bambini. Il più grande vantaggio di tale programma è la deviazione delle scarpe al fine vita dalle discariche.

4.4.4 Il recupero dei rifiuti:

Quando si parla di recupero dei rifiuti, in questo caso si intende il trattamento termico, misura che consente il recupero energetico e riduce il volume complessivo dei rifiuti, in alcuni casi anche fino al 90%. I trattamenti che verranno discussi saranno l'incenerimento, la gassificazione e la pirolisi.

- L'incenerimento è un'azione che consiste nella combustione di materiali organici per generare elettricità, ma purtroppo è anche associata all'emissione di sostanze dannose con effetti negativi sulla salute umana. Uno dei limiti più grandi di questo processo è che consente solamente il recupero dell'energia a discapito di altre sostanze chimiche preziose. Senza contare che l'incenerimento potrebbe spostare semplicemente il problema ambientale da una problematica di volume di rifiuti ad una di tossicità di questi ultimi.
- La gassificazione è un processo in cui l'aggiunta di ossigeno è inferiore al livello necessario per consentire una completa combustione ottenendo una parziale ossidazione della sostanza. Ad esempio, la gassificazione dei rifiuti di cuoio conciato al vegetale ha portato all'ottenimento di gas idrogeno come sottoprodotto. Inoltre, anche in questo caso vi è una riduzione del volume dei rifiuti.
- La pirolisi è descritta dall'ingegnere ambientale Dina Czajczyska et al. (2017) come "la decomposizione termochimica di materiale organico a temperature elevate in assenza di ossigeno o in un'atmosfera di gas inerti". Perciò è un processo più sostenibile rispetto alla combustione in quanto avviene in assenza di ossigeno con conseguente diminuzione delle emissioni di CO₂ e riduzione dell'effetto serra. Senza aggiungere che la pirolisi è un processo più veloce rispetto ad altri processi di conversione termochimica e biochimica.



4.5 La strategia proattiva e i miglioramenti progettuali:

Parlando di approcci proattivi alla gestione dei rifiuti è utile concentrarsi sulle attività da svolgere all'inizio del ciclo di vita del prodotto in vista di un miglioramento della sua progettazione. Pratiche come l'eco-design mirano alla riduzione dell'impatto ambientale di un manufatto esaminando tutti i possibili impatti che esso può avere nei vari cicli a cui verrà sottoposto. Una progettazione sostenibile può rappresentare una selezione più meticolosa e ridotta dei materiali necessari, riducendo il volume di rifiuti ed aumentando la facilità di separazione per facilitare un possibile riciclo o riuso dei materiali. Oppure una riprogettazione delle componenti delle scarpe in modo da favorire assemblaggi e disassemblaggi più sostenibili per ridurre il numero di calzature che finirà in discarica. Un altro approccio proattivo, intrinseco alla progettazione, è il miglioramento dei materiali da impiegare. La scelta dei materiali ha il potere di migliorare drasticamente o peggiorare le proprietà sostenibili di un prodotto, in quanto possono contribuire al livello di emissioni e alla produzione o meno di rifiuti destinati alla discarica. Basti pensare banalmente all'utilizzo di materiali riciclati nella produzione di calzature e a come possa ridurre in maniera significativa l'estrazione di materie prime vergini.

4.6 Il caso Adidas per Parley for the Oceans:

Parley for the Oceans è un'organizzazione ambientale globale fondata nel 2012 dal Designer tedesco Cyrill Gutsch con l'obiettivo di creare una rete di connessioni in cui creatori, leader aziendali, pensatori e ricercatori si interfacciano per sensibilizzare sull'importanza e fragilità degli oceani collaborando a progetti ed iniziative che possano salvarli. Essi operano nel mondo della scienza, dell'arte, della moda e del design, della tecnologia, dell'intrattenimento e dello sport tentando di far riconoscere agli individui il proprio ruolo nello sviluppo di soluzioni alternative per la salvaguardia degli oceani e di tutti di ecosistemi ad essi connessi. Con il supporto di partner di collaborazione a livello globale, uno dei ruoli dell'associazione ambientale è quello di sviluppare delle linee guida per l'azione e dei piani strategici per mettere in atto queste ultime. La strategia di base sviluppata dall'ente è la Parley AIR, Avoid, Intercept and Redesign, quindi evita, intercetta e ridisegna. Tale iniziativa è stata presentata nel 2015 alla Sala dell'Assemblea Generale delle Nazioni Unite, e successivamente adottata da brand leader del settore, governi ed istituzioni come linea generale per una rivoluzione materica.

È proprio in questo contesto, sempre nel 2015, che è nata la partnership con il noto marchio Adidas. Nei cinque anni successivi, Adidas ha mantenuto l'impegno ambientale lanciando intere linee di prodotti e collaborazioni incentrate sulla salvaguardia degli oceani. Come primo atto della collaborazione

Il primo stadio è la raccolta dei materiali plastici e la loro pulizia per la rimozione di oggetti estranei. Successivamente la plastica viene trasferita in stabilimenti in cui è sottoposta a frantumazione, lavaggio e disidratazione. Si ottengono dei frammenti plastici che vengono scaldati, analizzati, puliti ed asciugati per prepararli

Questa collaborazione ha portato ad ulteriori investimenti in ricerca e sviluppo volti ad introdurre la plastica riciclata nella catena di approvvigionamento globale di Adidas per poter avere un impatto concreto. Effettivamente l'impegno del marchio non si è fermato solo nello sviluppo di calzature applicando materiale



nacque una tipologia di scarpa concettuale composta da rifiuti plastici marini riciclati. "Ultra Boost" è il nome del prototipo che presenta una tomaia prodotta a partire da fili e filamenti recuperati dagli oceani e derivanti dalle reti da pesca illegali usate per operazioni

all'estrazione, raffreddamento e tritatura in granuli di resina. Tali granuli, infine, vengono fusi per la produzione della fibra dal nome "Ocean Plastic", filato di poliestere che può essere impiegato per la produzione di scarpe, abbigliamento e molto altro.

riciclato, ma ha anche agito in vista di una totale eliminazione dell'uso di sacchetti di plastica nei suoi negozi, cessato l'uso di microsfere di plastica nei suoi prodotti per il corpo e attualmente si impegna ad eliminare la plastica vergine dall'intera filiera di approvvigionamento. Inoltre, bisogna aggiungere che Adidas è arrivata a produrre un volume pari ad 1 milione di paia di scarpa con la collaborazione con Parley for the Oceans nel 2017, aumentando di 5 volte la produzione nel 2018 fino ad arrivare a circa 15 milioni di paia



4.7 Impiego dell'additive manufacturing nell'industria calzaturiera:

Una frontiera di forte interesse per la fabbricazione di scarpe in maniera sostenibile si ritrova proprio nell'additive manufacturing, ossia la stampa 3D.

Con il termine Additive manufacturing (AM) si intende la famiglia di processi di produzione basata sull'assemblaggio o sulla giunzione di elementi volumetrici, solitamente utilizzando una tecnica di deposizione di strati su strati. Di seguito nella tabella è mostrata una panoramica di tale categoria.



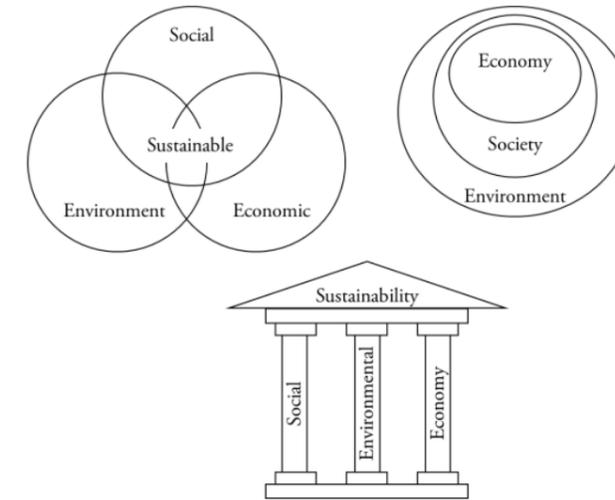
Indipendentemente dalla tipologia di tecnologia considerata, i processi di AM mostrano delle generiche caratteristiche che li differenziano dai processi produttivi tradizionali:

- Il CAD 3D è impiegato per lo sviluppo di geometrie dello strato
- Le proprietà meccaniche-tecnologiche del prodotto vengono generati durante il processo di costruzione
- La produzione degli oggetti è attuata in qualsiasi orientamento
- Le varie tecnologie sfruttano la stessa tipologia di dato, l'STL.

Tali proprietà consentono una produzione indipendente dal volume produttivo e fortemente personalizzata. Oltretutto, i progressi degli ultimi decenni hanno portato ad un'espansione riguardo ai materiali utilizzabili, aprendo le porte anche a materiali come il calcestruzzo e i metalli, ampliando i campi di utilizzo di tale tecnologia, che può essere impiegata in settori che spaziano dall'abbigliamento all'aerospaziale.

4.8 La sostenibilità della AM:

Per facilitare la comprensione degli aspetti sostenibili di un processo simile, l'approccio più utilizzato è la suddivisione della sostenibilità in 3 sottocategorie, la sociale, ambientale ed economica, e la loro reciproca influenza.



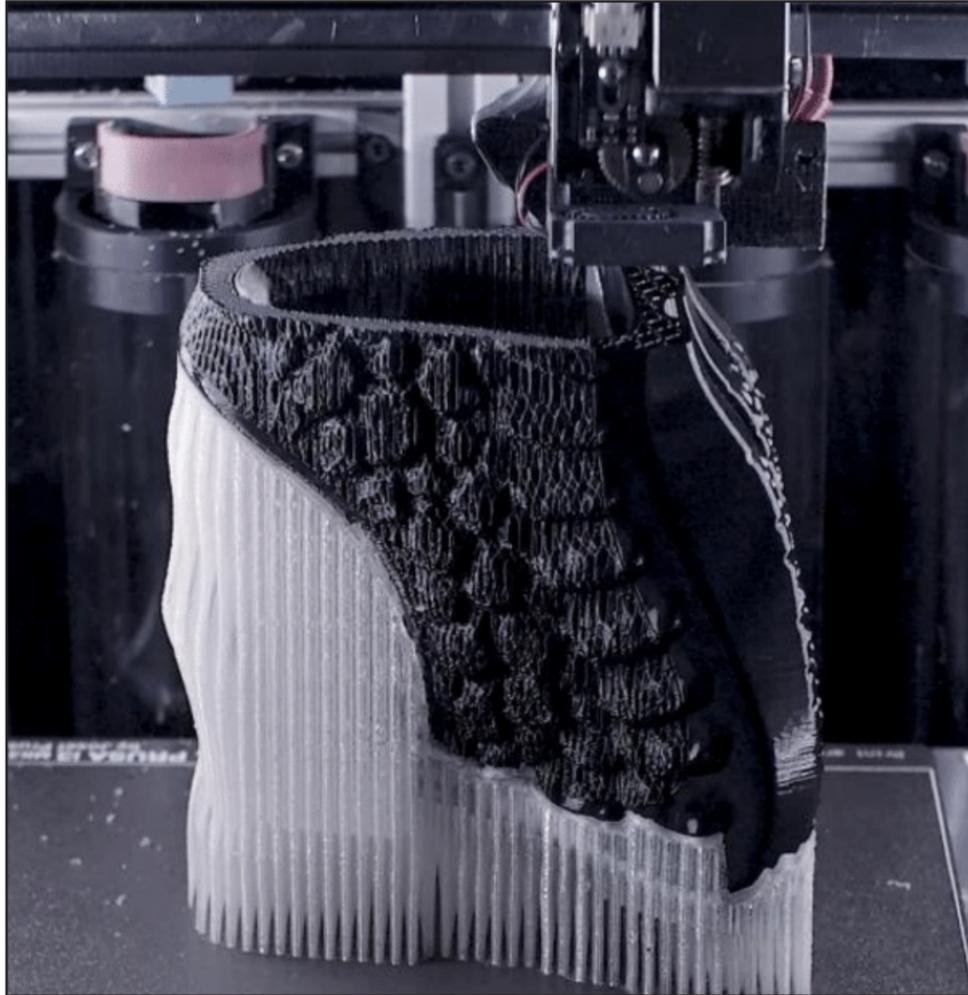
Come mostrato in figura, i diversi approcci si differenziano in base all'interazione che si svolge tra i tre elementi. Un primo approccio vede la sostenibilità come intersezione tra i tre aspetti. Un secondo approccio vede le prospettive individualmente come fosse dei pilastri a supporto della sostenibilità. Un'ulteriore opzione descrive l'ambiente come un quadro generale in cui vengono inseriti società ed economia. Da queste considerazioni è importante evidenziare come la sostenibilità non deve essere vista come una somma di impatti ambientali diversi e possibili, ma è un'interazione più complessa e diversificata.

È indubbio che uno degli impatti sulla sostenibilità più evidente sia rappresentato dalla capacità di produrre su ordinazione, con il vantaggio di ottenere risparmio di materiali e riduzione di emissioni. Oltretutto il livello di scarti diminuisce, dovendo aggiungere materiale all'occorrenza, invece che rimuoverlo. Inoltre, i requisiti di materiale primario possono essere soddisfatti anche utilizzando materiali riciclati, completamente riciclabili o biodegradabili.

Una gran parte dei processi di AM è slegata dall'esigenza di grandi fabbriche o impianti complessi. Ciò vuol dire che è possibile stabilire delle strutture produttive di ridotte dimensioni e decentralizzate, caratteristiche che riducono i trasporti interni alla catena di approvvigionamento, dunque, un ulteriore risparmio di emissioni.

4.9 Prime declinazioni dell'AM per la produzione di scarpe:

Un primo utilizzo di questa tecnologia nel mondo delle scarpe è spesso attribuito alla stampa 3D delle soles e delle intersuole. Lo studio condotto da Zolfagharian, Lakhi, Ranjbar e Bodaghi (I2021) ha appurato l'efficacia della stampa 3D nel soddisfare i requisiti di assorbimento e dissipazione della pressione durante le attività sportive sviluppando strutture per la produzione di soles intermedie per calzature sportive. Anche il produttore di calzature statunitense Hilos sfrutta l'additive manufacturing per la produzione di soles ed elementi aggiuntivi all'interno della sua catena di approvvigionamento in modo da produrre scarpe che possano essere interamente disassemblate per permettere un riutilizzo delle componenti.



4.10 Un nuovo approccio:

Fino ad ora si è parlato dell'impiego della stampa 3D per la produzione di limitate componenti della calzatura nella sua interezza. Tuttavia, in seguito allo sviluppo tecnologico e all'espansione della tecnica, sono nati nuovi approcci che contemplano la stampa della scarpa come un'unica componente. Questo avviene seguendo tre passaggi principali: l'individualizzazione di modelli standard di scarpe, l'impiego di una stampante 3D con tecnologia Fused Filament Fabrication (FFF) e l'introduzione dell'ispezione automatizzata della qualità.

- Individualizzazione di modelli standard di scarpe è l'approccio per cui si sviluppa una piattaforma online in cui produttori, designer e utenti finali possono interfacciarsi. Si offre un servizio in cui i da una parte progettisti hanno la possibilità di assicurarsi che i loro modelli siano stampabili e metterli in vendita, dall'altra i clienti hanno una la facoltà di chiedere personalizzazioni in base ai propri piedi. Ciò avviene tramite un'applicazione per smartphones, in modo che possa essere accessibile agli utenti, per effettuare una scansione 3D dei piedi, scansione necessaria per la personalizzazione del modello da mandare in stampa.
- La tecnologia Filament Fused Fabrication si basa sull'estrusione di materiale fuso. La temperatura a cui si scioglie il materiale deve essere correttamente regolata in modo da permettere la costruzione della forma desiderata. Si procede con la deposizione di strati, in cui ogni nuovo strato si unisce al precedente fino a creare il manufatto. In questo contesto si ricorda lo sforzo della compagnia di calzature americana, la Zellerfeld Shoe Company con sede a New York, che ha prodotto la "Heron01", la prima sneaker completamente stampata in 3D con la collaborazione del designer Heron Preston.
- Per lo sviluppo della scarpa si è adottato il poliuretano termoplastico (TPU), per via delle sue proprietà flessibilità, resistenza e traspirabilità, che lo rendono adatto per la stampa di scarpe, nonostante la sua derivazione fossile.
- La scarpa viene stampata in piedi sul tallone, in maniera da utilizzare il minor numero di supporti possibile, mentre la scelta di configurazioni adatte garantisce diverse prestazioni della scarpa, come l'effetto ammortizzante ed una resa abbastanza elastica da permettere stabilità e libertà di movimento.
- In un ambito di controllo qualità, i manufatti realizzati tramite l'additive manufacturing necessitano di ispezione per eventuali difetti e problematiche. Le informazioni ricavate dai controlli automatizzati aiuteranno all'adattamento del processo di stampa per le aree più critiche, riducendo le probabilità della nascita di difetti. Inoltre, per la produzione di massa, si richiedono volumi produttivi alti. Ciò permette alle tecnologie di intelligenza artificiale, come le reti neurali convoluzionali di raccogliere molti dati ed essere addestrati ad un controllo qualità efficiente. Tuttavia, tale metodo è ancora poco utilizzato, in quanto, attualmente, i pezzi prodotti sono ancora limitati. Perciò, attualmente le scarpe stampate, dunque, vengono digitalizzate con l'ausilio di uno scanner 3D per determinare un modello virtuale che verrà paragonato al modello CAD privo di difetti per valutare le eventuali deviazioni e correggerle, evitando altri difetti in futuro e diminuendo gli sprechi.

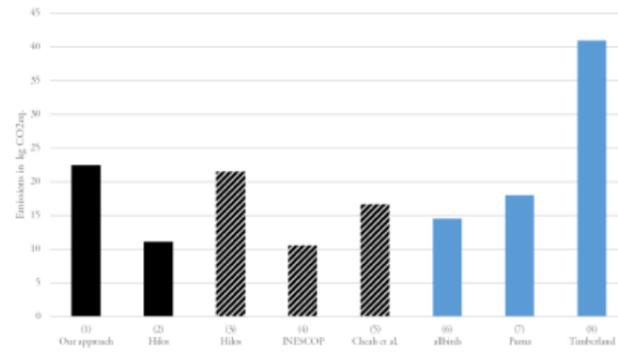
4.11 Emissioni delle scarpe stampate in 3D:

Il calcolo dell'impatto ambientale delle calzature prodotte tramite additive manufacturing è subordinato a due tipologie di emissioni: quelle derivanti dalla produzione della plastica impiegata, che può variare in base alla provenienza di quest'ultima, dunque, se a base fossile, biologica o se proviene da materia prima riciclata, e quella imputabile all'energia richiesta per il funzionamento della stampante.

Riprendendo il caso Zellerfeld, si è stimato che il consumo di energia, durante la stampa dei prototipi, si è aggirato intorno ai 22,5 kg di CO₂ equivalente. Tuttavia, considerando il processo come innovativo e sperimentale, obiettivi di emissioni che raggiungono i 5,5 kg di CO₂ equivalente per una scarpa sono considerati realistici e verosimili. Questo dipende da elementi quali l'ottimizzazione del processo e della sua rapidità e la fonte da cui proviene l'elettricità

Per quanto riguarda i dati riferiti alle scarpe prodotte senza l'ausilio delle stampanti 3D, sono stati attuati molti studi, che dimostrano come effettivamente, le emissioni di CO₂, possano risultare minori rispetto ai dati rilevati per le calzature stampate in 3D. Lo dimostrano i risultati del progetto CO2Shoe, voluto dalla commissione europea e svolto nel 2017. Nel report si ottiene un valore medio di 10,6 kg di CO₂ equivalente per paio di scarpe, dato che può variare in base al materiale, all'origine e al peso complessivo. Anche se ulteriori risultati di ricerche condotte da alcuni dei maggiori produttori di calzature, tra cui Puma e Timberland mostrano dati rispettivamente di 18 kg di CO₂ equivalente e persino 41 kg di CO₂ equivalente per paio di scarpe.

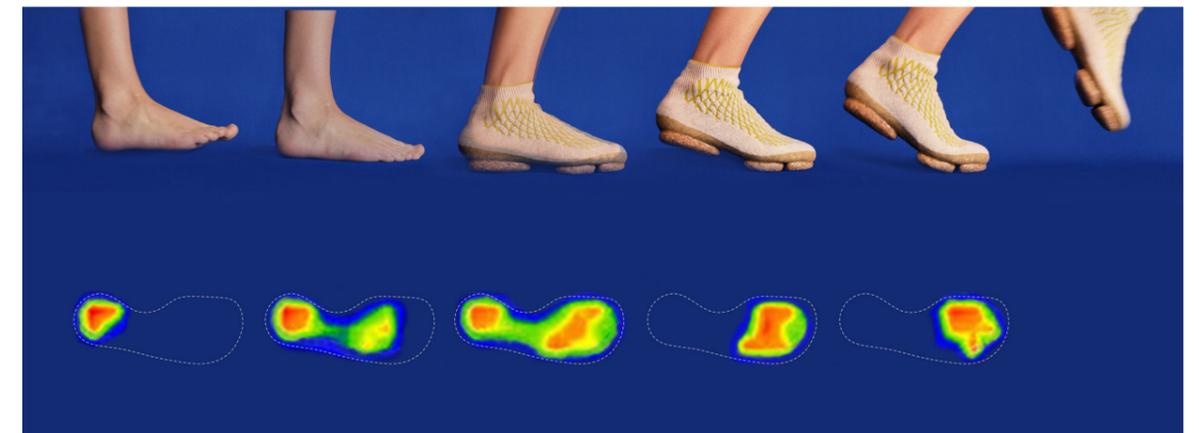
Sebbene questi ultimi dati mostrino come le scarpe stampate in 3D non mostrino i valori più bassi di emissioni di CO₂, è necessario considerare tutti gli altri fattori che tale approccio presenta e che possono essere decisivi per la sostenibilità ambientale del manufatto.



Inoltre, non vanno dimenticati i vantaggi offerti a livello sociale ed economico. In effetti, per la produzione tradizionale si necessita di grandi stabilimenti, mentre usando la stampa 3D, soprattutto la tecnologia FFF, si ha bisogno solamente di una stampante, i dati di stampa, il materiale e l'energia elettrica. Ciò porta a dei conseguenti investimenti ridotti e rende relativamente facile creare siti di produzione decentralizzati ed integrare facilmente le stampanti 3D in ambienti inadatti alla produzione convenzionale. Lo spostamento della produzione in più luoghi contribuisce alla creazione di valore economico diretto ampliando il cerchio di utilizzatori di tale tecnologia. Oltretutto, la decentralizzazione favorisce anche la diminuzione dei trasporti necessari, riducendo le emissioni da questo lato. In aggiunta, grazie alla semplicità del processo e l'assenza di sostanze tossiche, la formazione del personale e la professionalizzazione degli utenti risulta più

4.12 Emilie Burfeind e il caso "Sneature":

Un'innovativa tipologia di scarpe è stata progettata dalla designer tedesca Emilie Burfeind, che ha sviluppato un progetto che include una sneaker con la suola a base di micelio di fungo e la tomaia prodotta partendo dai peli di cane raccolti a seguito della toelettatura, che altrimenti sarebbero stati destinati allo smaltimento. Perciò la scarpa presentata è composta esclusivamente da materiali biodegradabili e rinnovabili, totalmente smontabili per destinare il manufatto al riciclaggio o al compostaggio industriale a fine vita.



I peli dei cani vengono raccolti tramite il servizio della start-up berlinese Modus Intarsia per essere filati in un filato dal nome "Chiengora". "Rispetto agli animali allevati e mantenuti esclusivamente per la produzione di fibre, la tenuta domestica dei cani non è un ulteriore onere per l'ambiente ma una risorsa che esiste già." Afferma la designer tedesca in un'intervista condotta da Dezeen, la rivista online dedicata all'architettura ed il design.

Per la creazione della tomaia, la Burfeind, ha utilizzato la tecnologia del knitting 3D, essenzialmente simile alla stampa 3D, ma invece che ricorrere alla fusione del filamento, la forma finale viene creata attraverso trame e orditi. Questo processo permette di realizzare il modello senza cuciture o scarti, oltretutto con un unico materiale è possibile ottenere qualità di performance diverse. Effettivamente la maglia può essere manipolata creando design diversi tramite la programmazione di ogni singolo punto.

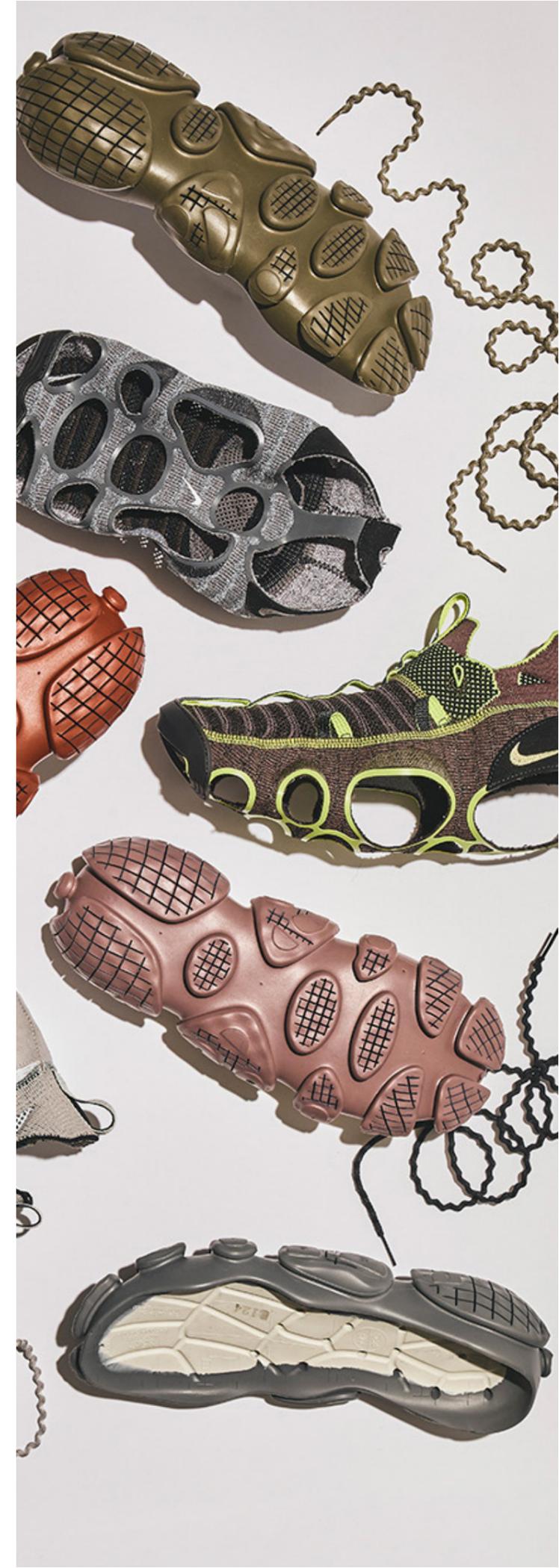
Il calzino che ne deriva viene infine immerso in gomma naturale liquida ottenuta dalla linfa dell'albero Hevea Brasiliensis per una migliore protezione dal fango e dall'acqua. Mentre il micelio è miscelato con un substrato di cellulosa a base di canapa e altri rifiuti agricoli e coltivato in uno stampo per lo sviluppo della suola esterna e interna. Questi ultimi componenti si incastrano nelle perforazioni sulla parte inferiore della maglia, che permettono una stabilizzazione della scarpa.

Una volta raggiunto il fine vita, il composito di micelio può essere sottoposto a triturazione e riutilizzato, mentre la componente in tessuto viene separata in fibre individuali tramite la cardatura, per poi essere nuovamente filate in un filato. In alternativa, i vari materiali possono essere sottoposti a compostaggio industriale.

4.13 Il caso Nike e le scarpe modulari:

Il noto marchio di abbigliamento e calzature Nike ha recentemente sviluppato "ISPA Link", una collezione di scarpe da ginnastica modulari, con la facoltà di essere facilmente smontate in un'ottica di progettazione circolare. Questi prodotti provengono dalla divisione ISPA, Improvise Scavenge Protect Adapt, di Nike, con lo scopo di produrre innovazioni sostenibili.

Le scarpe ISPA sono composte da tre componenti interconnesse e legate insieme dalla tensione. La scarpa è composta da una suola in cui sono inseriti dei perni che si innestano nelle aperture progettate nella parte superiore che copre il piede, con l'obiettivo di eliminare il processo di cementazione, ossia l'utilizzo di collanti per attaccare insieme le diverse componenti della scarpa. In questo modo, si possono ridurre le emissioni eliminando i processi ad alto impiego energetico come i tunnel di riscaldamento e raffreddamento, per non parlare delle linee di colla eliminate. In aggiunta, le scarpe che utilizzano collanti richiedono grandi quantitativi energetici per il riciclaggio per via della difficoltà di smontaggio e separazione delle componenti. Secondo Darryl Matthews, vicepresidente della progettazione di scarpe all'interno di Nike e responsabile della divisione ISPA, ogni paio di scarpe ISPA Link richiederebbe solamente otto minuti per la produzione, contribuendo a ridurre le emissioni legate alle fasi produttive.



4.14 Ulteriori miglioramenti di processo, il knitting 3D:

La tecnica del 3D knitting, la maglieria 3D, è un processo che crea tessuti tramite l'intreccio di fili in una serie di anelli concatenati. Tale tecnica fu introdotta nel 1995, ma è solo negli ultimi anni che si stanno riscoprendo le sue potenzialità, non solo nel settore dell'abbigliamento e delle calzature, ma anche in campi quali l'automotive, lo sport, l'aerospaziale e l'arredamento.

Il 3D knitting rappresenta uno degli avanzamenti più recenti nel campo della maglieria. Si parte da un filato, il cui movimento, coordinando degli aghi, che lavorano su quattro piani differenti nella macchina, crea un prodotto completo, considerando anche eventuali elementi decorativi e aggiuntivi.

Uno degli aspetti più innovativi è sicuramente la sostenibilità ambientale del processo, che non generando scarti di produzione, per via della possibilità di creare forme tridimensionali senza ricorrere a tagli e cuciture, risulta molto efficiente e riduce l'uso di materiale. Inoltre, una forte componente computerizzata permette avere il totale controllo e consente una produzione on-demand. Grazie alla facoltà di ottenere un prodotto completo, si riducono le fasi della catena produttiva e si permette la delocalizzazione dei siti produttivi. In aggiunta, la struttura dei prodotti ottenuti facilita il riciclo dei filati, che non vengono danneggiati durante la lavorazione, dunque, è possibile disfarsi il tessuto per recuperarli facilmente e reinserirli all'interno del



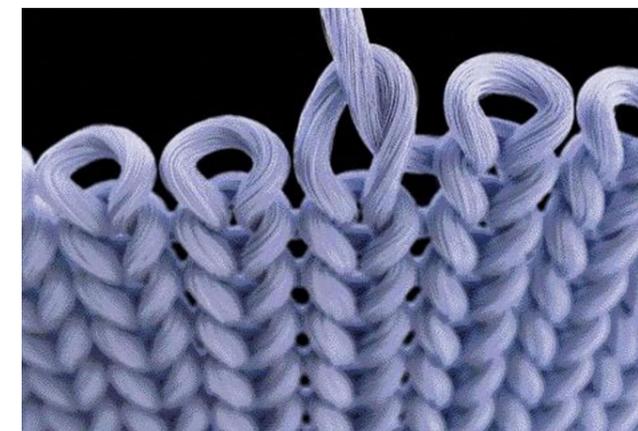
4.15 Parametri della macchina da maglia:

Esistono due tipi tradizionali di macchine da maglia e si differenziano in base al numero di barre aghi sulla macchina, dove le macchine a letto singolo hanno gli aghi che lavorano in una sola direzione, mentre quelle a letto doppio presentano due letti di aghi, che lavorano in direzioni opposte. Inoltre, vi sono anche macchine a quattro letti, che permettono l'impiego del processo di maglieria senza cuciture per maglieria di tessuti complessi.

Un'altra categorizzazione è la forma dei letti, che può essere piana e circolare. Attualmente, entrambe le tipologie sono impiegate per la produzione di tomaie di scarpe.

Le macchine da maglia hanno differenze sostanziali che le caratterizzano. Tuttavia, vi sono dei parametri che possono permettere di comprendere più facilmente il funzionamento.

Uno dei primi parametri da prendere in considerazione è il calibro, la tensione, che implica la densità degli aghi sul letto. Alcune macchine presentano un singolo calibro, mentre altre ancora forniscono diverse opzioni di calibro tramite l'impiego del mezzo calibro o l'utilizzo di più fili. Calibri multipli permettono di ottenere densità variabili di maglie sul tessuto. Un altro parametro è il numero di portacarichi, ossia quanti fili diversi possono essere utilizzati nel tessuto magliera.



4.16 Parametri del filato:

La selezione dei filati disponibili per le macchine da maglia è molto varia, in quanto la fabbricazione dei filati è molto datata. I filati presentano proprietà molto differenti a seconda delle fibre di cui sono composti e della modalità di filatura. I principali parametri usati per la selezione del filato è il materiale di base e la disposizione dei diversi filati nel tessuto.

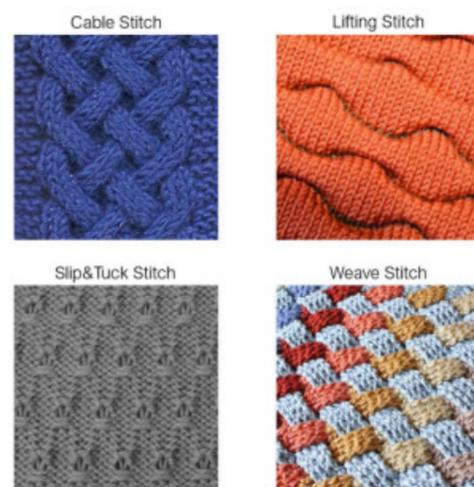
Alcuni tipi di filato usano un singolo tipo di fibra, mentre altri usano più fibre per raggiungere determinate proprietà. In base all'origine delle fibre, i filati si dividono in naturali o sintetici, in cui nella famiglia dei naturali vi sono differenze in base all'origine animale o vegetale. Per quanto riguarda i filati sintetici, si tratta di prodotti a base di fibre rigenerate e sintetiche, come può essere il nylon.

Lo spessore del filato dipende dal materiale di base e dal calibro o pozioni di calibro presentate dalla macchina. Questi due parametri influenzano il peso e le proprietà della macchina. Si possono anche dare spessori differenti ad elementi diversi dello stesso prodotto ottenuto tramite maglieria 3D se si necessitano determinate caratteristiche in punti strategici del manufatto finale. Questo è dovuto anche ad un avanzamento tecnologico in questo campo, che ha portato anche ad una più semplice personalizzazione della maglieria. Infatti, ormai è possibile ottenere differenti motivi grafici modificando semplicemente la disposizione di filati di diversi colori o differenti materiali.

4.17 Tipologie di maglia:

Le maglie e i rovesci sono i principali tipi di lavorazione, dunque, per diversificare le possibilità di design, si possono impiegare più tipologie di maglia, che hanno densità diverse a causa della tecnica specifica. L'impiego di più tipologie di maglia offre forti modalità di personalizzazione sia a livello strutturale che estetico.

Per densità di maglia si intende il numero di anelli di maglia in una certa area di tessuto. Una metodologia per misurare tale valore è la moltiplicazione del numero di maglie in una serie, ossia una riga orizzontale di maglie, per il numero di ferri, la colonna verticale di maglie in una determinata area unitaria di tessuto. Questo, però, è fortemente dipendente dal calibro della macchina, che stabilisce il numero di maglie in ogni serie. Tuttavia, non è da sottovalutare lo spessore del filato, che è direttamente proporzionale alla densità. Variare la densità può influire sulle proprietà della calzatura, quindi caratteristiche funzionali come la traspirabilità, l'impermeabilità oppure elementi più spessi per dare sostegno, possono essere determinati tramite differenti livelli di densità.



Diverse tipologie di maglie



Fino ad ora sono stati introdotti concetti di economia circolare e sostenibilità nella progettazione, elementi fondamentali per dipingere un contesto globale odierno, dove vi è sempre più una forte consapevolezza ambientale ed una responsabilità sociale dei produttori e gli utenti finali.

Si sono presi in esame questi principi e la loro influenza in diversi settori, promuovendo pratiche che minimizzino l'impatto ambientale, e nel contempo, massimizzando l'utilizzo delle risorse.



5.1 IL FOCUS

L'importanza e l'impegno da parte dei progettisti nei confronti di un design consapevole diventano più evidente se ci si concentra su di un aspetto delicato e promettente come il settore delle calzature destinate ai bambini che muovono i primi passi. Tale fase offre una grande opportunità per esplorare nuovi approcci innovativi e sostenibili nella fase di progettazione.

Il focus della tesi, dunque, si posiziona in questa fase delicata, in cui il piede del bambino cresce in fretta, richiedendo un continuo rinnovo delle calzature, che, come si è dimostrato nel capitolo precedente, può provocare l'aumento del volume di rifiuti destinati alla discarica, con tutti gli impatti ambientali conseguenti.

In questo contesto ci si pone l'obiettivo di rispettare le esigenze pratiche e di sviluppo dei bambini e allo stesso tempo di mitigare l'impatto ambientale derivante dalla produzione e smaltimento delle calzature

L'attenzione verso la sostenibilità nella progettazione non è più una scelta, ma una necessità imperativa. Un approccio sostenibile diventa così un impegno verso il futuro, in cui lo stile di vita umano deve essere subordinato alla preservazione della natura e l'ambiente circostante. Alla luce di questi elementi, in questo capitolo verrà presentato il progetto centrale della dissertazione, che si pone l'obiettivo di portare la sostenibilità al centro della progettazione, concentrando l'attenzione sull'impiego di materiali rinnovabili e sulla circolarità del manufatto. Si vuole dimostrare come il design sostenibile non sia solo possibile, ma anche vantaggioso in termini di efficienza, impatto ambientale e responsabilità sociale.



5.2 REQUISITI PROGETTUALI

Una delle problematiche principali caratterizzanti le calzature per bambini è la discrepanza tra la forma e le dimensioni interne della scarpa e quelle del piede del bambino. Questo porta alla nascita di deformazioni del piede, che vede adattarsi al volume inappropriato delle calzature senza avere la flessibilità di movimento e di crescita. Una forma razionale dovrebbe assicurare una completa libertà di movimento dei muscoli del piede. Con scarpe corte e strette si incorre alla compressione delle dita, che non riescono a distendersi completamente piegandosi nelle

Inoltre, le scarpe piccole limitano il comportamento elastico plantare, alterando la contrazione ritmica dei muscoli. Ciò causa le unghie incarnite, creazione di calli e persino predisposizioni al piede cavo, per via della tensione muscolare a cui è sottoposta la gamba. Una seconda alterazione del piede si osserva nella deformazione della parte anteriore del piede a forma triangolare, dovuto alla compressione del mignolo e del pollice, costrette a sfuggire alle pressioni laterali e le dita centrali che si trovano intrappolate e senza possibilità di un'appropriate mobilità. Queste condizioni inficiano la salute del piede.



- La punta deve essere ampia per permettere alle dita una adeguata libertà di movimento
- La suola deve essere flessibile in modo da consentire la marcia sulle punte e la mobilizzazione dei muscoli del piede durante la corsa.
- La tomaia dovrebbe avere rinforzi (contrafforti) interni ed esterni bassi (al di sotto dei malleoli) in modo da non ostacolare i movimenti della caviglia.
- Il tacco dovrebbe essere largo e alto circa un decimo della lunghezza della suola, per assorbire correttamente gli urti cui normalmente il piede è sottoposto durante la deambulazione;

D'altra parte, calzature troppo grandi non supportano a pieno i piedi, che perdono stabilità, con la possibilità di danneggiare le articolazioni. Inoltre, in queste condizioni, l'arco del piede tende a schiacciarsi per via della mancanza di supporto laterale. Per quanto riguarda la parte posteriore delle calzature, è necessario consentire al tallone un buon posizionamento in modo da non scivolare durante l'atto della camminata e per facilitare l'impatto del piede con la superficie. Le calzature per bambini devono aiutare il piede a compiere le funzioni di base dell'apparato locomotore, quindi supporto e movimento del corpo. Le scarpe dovrebbero fornire equilibrio e stabilità ammortizzando gli urti durante la fase di rollio del piede sulla superficie.



Inoltre, serve un adeguato livello di flessibilità e una buona vestibilità. Nel caso dei bambini, una suola troppo spessa e rigida porterebbe alla traumatizzazione della pianta del piede, atrofizzando i muscoli e allungando i legamenti del piede favorendo lo sviluppo del piede piatto e richiedendo un grande dispendio di energia. Perciò, solitamente per la produzione di calzature per bambini si impiegano soles in gomma termoplastica o poliuretano per via delle proprietà fisiche e meccaniche, quali la flessibilità, la resistenza all'abrasione e la densità apparente. Dunque, la produzione di calzature per bambini richiede una particolare analisi dei requisiti da soddisfare per il benessere del piede e per una crescita salutare. Perciò, la lunghezza della scarpa deve essere sempre maggiore della dimensione del piede in modo da ottenere uno spazio libero di almeno 10 millimetri tra la punta della scarpa e quella delle dita, per permettere il naturale allungamento del piede e la sua movimentazione corretta.

In questo contesto, il piede del bambino è paffutello e presenta alti livelli di tessuto adiposo intorno al tessuto muscolare. L'avampiede e le dita del bambino sono ampie, perciò necessitano dello spazio adeguato a trovare un equilibrio stabile sia nella fase statica che durante la spinta del piede. Il mesopiede del bambino, ossia la parte centrale, è ampia e non vi è ancora la formazione della volta plantare. Perciò un'adeguata scarpa per i primi passi deve presentare una suola ampia sia anteriormente che nella zona centrale. È poi utile che la suola abbia delle scanalature di qualche sorta in modo da facilitare il grip e la stabilità durante il cammino.



5.3 IL TARGET

Gli effettivi primi passi del bambino sono, in realtà, la fase conclusiva di un percorso in cui vi è una lenta e articolata maturazione del tessuto cerebrale che, porta il bambino a sviluppare diverse abilità cognitive oltre che fisiche.

Generalmente, la prima tipologia di movimentazione dei bambini avviene tramite il gattonamento, dunque lo spostamento usufruendo delle mani e dei piedi. Tipicamente, tale capacità si sviluppa tra i 6 e i 10 mesi, successivamente al raggiungimento di una posizione seduta autonoma. Il gattonamento è spinto dalla necessità del bambino di scoprire il mondo circostante. La sua curiosità lo porterà a volersi muovere, esplorare, aggrapparsi agli appoggi ed in ultima battuta, giorno dopo giorno, il bambino imparerà a rimanere in piedi in maniera sempre più indipendente e stabile.

Generalmente questi risultati si ottengono intorno al compimento del primo anno di vita, e sono seguiti da primi passi laterali con l'ausilio di un appoggio. Una volta raggiunto questo stadio, si tratta di settimane prima che il bambino impari a camminare da solo senza alcun tipo di appoggio.

È proprio in questo contesto che la progettazione sostenibile acquisisce un senso tramite l'attenzione al processo di produzione e ai materiali impiegati.

5.4 IL PROGETTO

Il seguente progetto, come detto in precedenza, si concentra sul concepimento e realizzazione di calzature per bambini che muovono i primi passi. Al centro della progettazione vi è sicuramente il rispetto dell'anatomia del piede infantile, tuttavia, l'innovazione progettuale va oltre la semplice considerazione fisiologica e si estende fino al dominio della sostenibilità all'interno del design circolare e responsabile. L'obiettivo principale, dunque, oltre allo sviluppo del manufatto è anche quello di impegnarsi nell'impiego di nuove famiglie di materiali che, non solo rispondono alle esigenze specifiche del piede in crescita, ma che tenga conto anche del ciclo di vita del prodotto, riducendo gli sprechi e minimizzando i conseguenti impatti ambientali.

La progettazione sostenibile mira ad integrare pratiche eco-friendly nel processo di produzione, dalla selezione materica fino all'analisi del fine vita.

Quest'iniziativa mira a promuovere il benessere collettivo, cercando di mitigare gli impatti negativi derivati dalla produzione industriale e soddisfacendo le esigenze degli utenti finali.

Questo progetto tenta di integrare i principi ergonomici e sostenibili nella progettazione di calzature per bambini, promuovendo un modello produttivo che guardi al futuro, sia in termini di salute del consumatore che di tutela

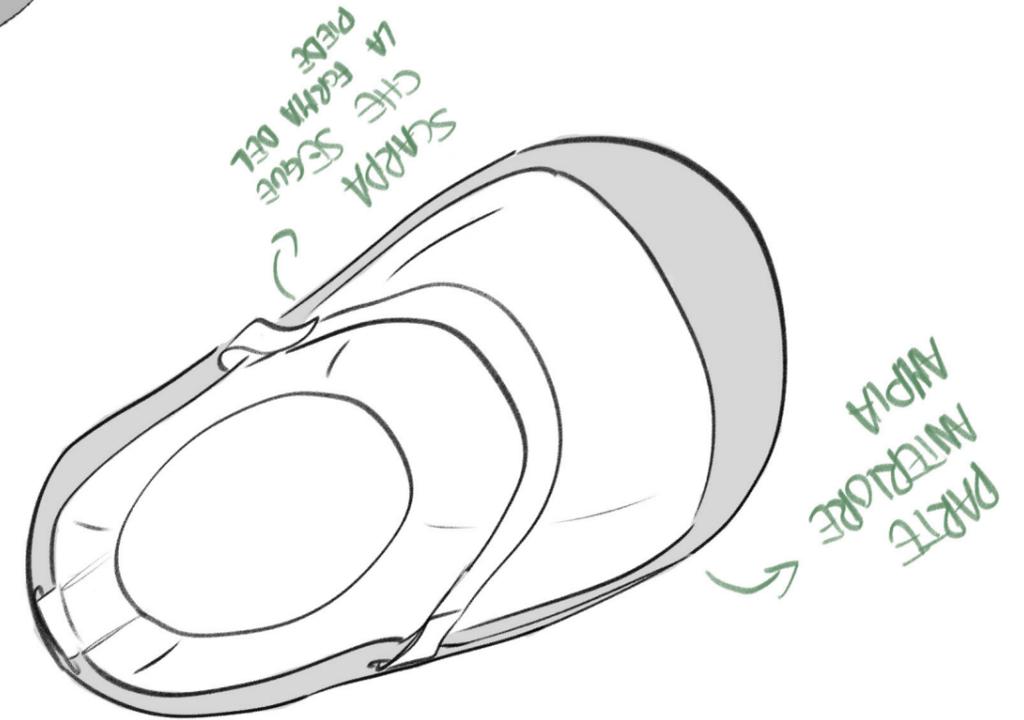
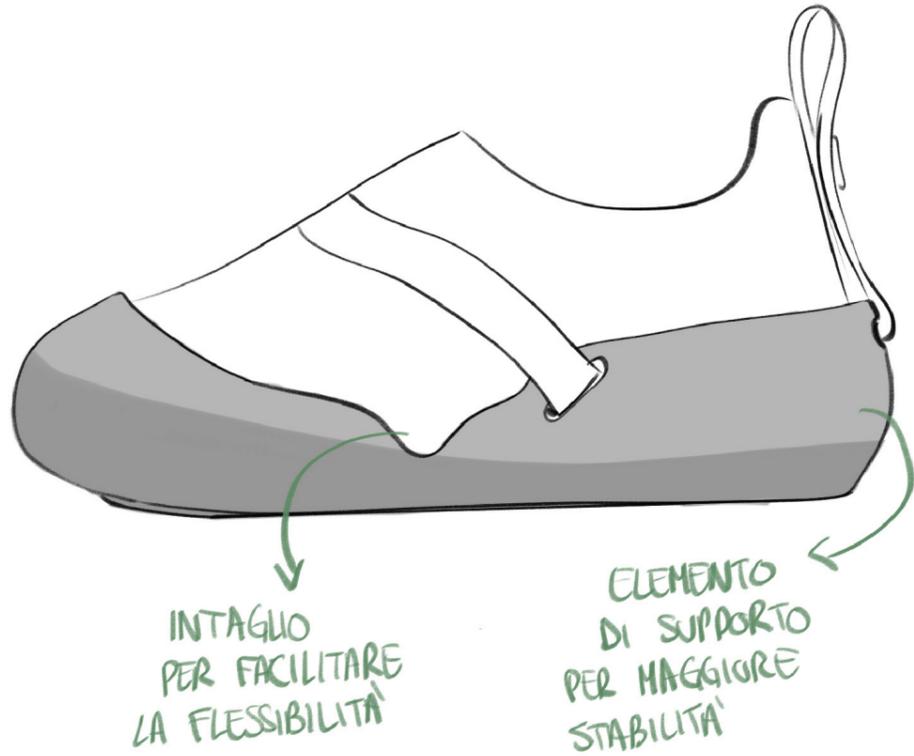
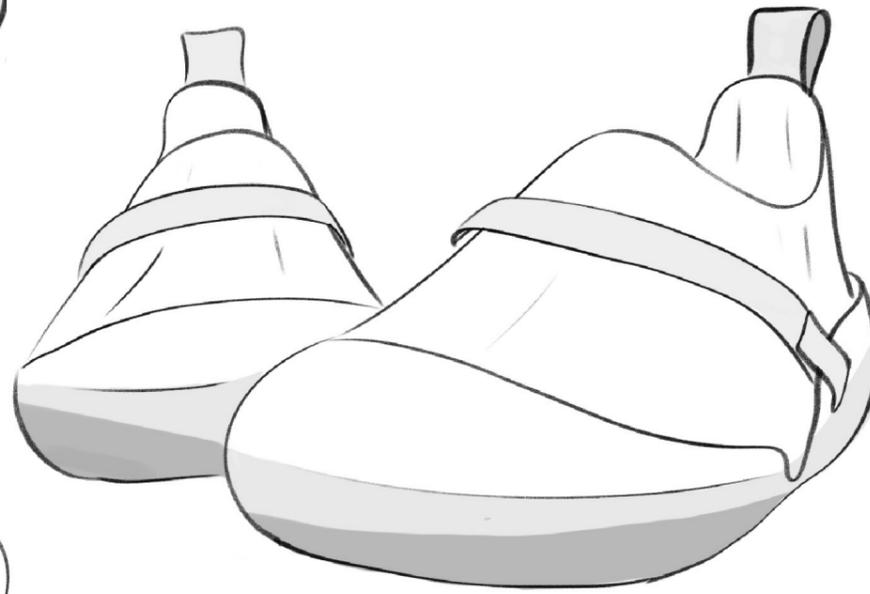
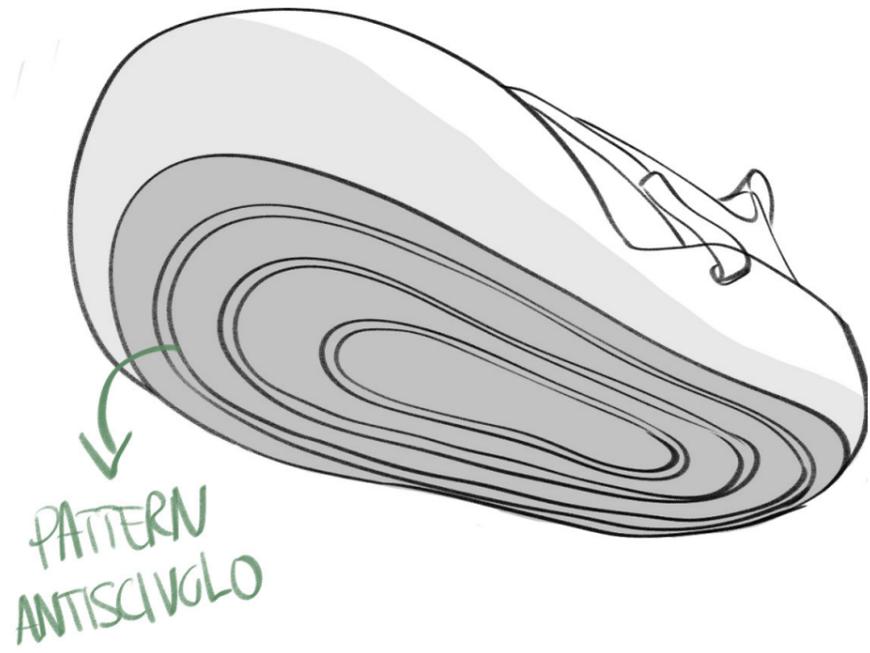


Il concetto alla base del progetto prevede la suddivisione del prodotto in due componenti principali: una suola monomaterica realizzata mediante la tecnologia di additive manufacturing, utilizzando i polioidrossialcanoati, i PHA, come materiale base, e un calzino ottenuto attraverso l'innovativa tecnica del 3D Knitting utilizzando fibre vegetali di bamboo.

Questa configurazione consente una flessibilità e un adattamento ottimali alle mutevoli dimensioni del piede in crescita, in quanto i materiali impiegati sono entrambi provenienti da fonti rinnovabili e biodegradabili, riducendo l'aumento del volume di rifiuti, dovuto al continuo cambio di calzature per i piedi dei più piccoli.

La connessione tra i due elementi principali è affidata ad un semplice laccio, eliminando la necessità di utilizzare collanti o adesivi che potrebbero compromettere la decomposizione dei materiali. Questa soluzione promuove una facile smontabilità del prodotto permettendo un approccio modulare che rende il prodotto utilizzabile sia all'interno che all'esterno dell'abitazione.

In questo modo si mira a fornire un prodotto che sia ergonomicamente adatto ai bambini in crescita e che intrinsecamente sia sostenibile.



5.6 MATERIALI

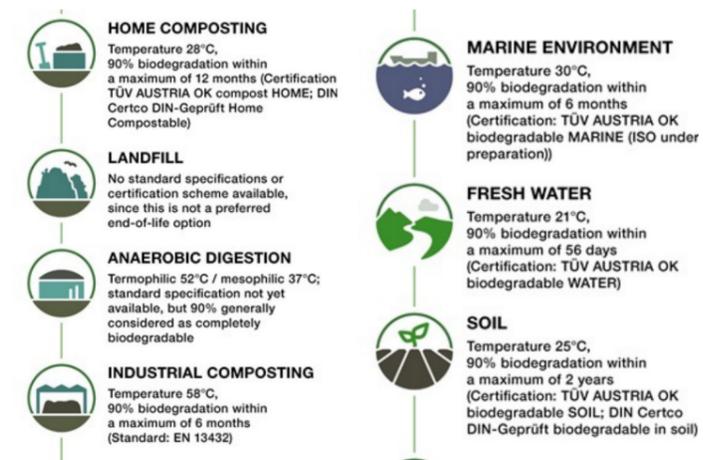
5.6.1 lamNature:

Per quanto riguarda la suola della scarpa, è stato selezionato un compound naturale di nuova generazione composto da biopolimeri e prodotto dal gruppo Maip.

La composizione alla base del materiale risultante è una base di biopolimero, per la precisione polioidrossialcanoati, a cui si aggiungono delle fibre e filler vegetali, che spaziano dalla canapa e il lino al granturco, e gli scarti alimentari. Inoltre, vengono aggiunti una serie di additivi di origine vegetale, come la glicerina o il sorbitolo, in modo da eliminare l'impiego di prodotti di sintesi chimica.

lamNature è un materiale dalla degradazione "intelligente", questo vuol dire che ha la facoltà di conservare la propria integrità nel contesto di utilizzo, ma modificare il proprio ciclo di vita se posto in condizioni di degradazione. È per tale motivo che il Gruppo Maip punta alla valorizzazione di questa famiglia di compound per la progettazione di beni di consumo più o meno durevoli.

Molteplici sono le formulazioni studiate e sintetizzate dal Gruppo Maip per soddisfare dei requisiti particolari dei clienti, quali maggiore resistenza ai raggi UV oppure ai graffi, studiando soluzioni customizzate di volta in volta. Questo è sintomo della grande adattabilità di cui è capace il materiale.



Schema di biodegradazione del PHA nei differenti ambienti

5.6.2 I benefici di lamNature:

Come già menzionato, i vantaggi del PHA derivano innanzitutto dalla sua natura bio-based e dalle notevoli proprietà di biodegradazione in vari ambienti, sia controllati che naturali. Inoltre, la sua velocità di disintegrazione è regolabile grazie alla possibilità di sviluppare diverse formulazioni. Analogamente, le sue proprietà fisico-meccaniche possono essere adattate per ottenere materiali più o meno flessibili, rigidi o resistenti in base alle esigenze specifiche dell'applicazione. Tuttavia, va notato che la ricerca e lo sviluppo di questi composti si trovano ancora in una fase iniziale, indicando un ampio potenziale per ulteriori miglioramenti e ottimizzazioni nelle proprietà del PHA.

Inoltre, lamNature è un materiale non tossico che, durante la sua degradazione, non genera microplastiche. Mostra una notevole resistenza al calore, elevate proprietà chimiche, e una forte resistenza ai graffi. È adattabile a diversi processi di produzione, spaziando dai metodi più tradizionali, come l'iniezione, l'estrusione o il soffiaggio, fino a tecniche più innovative, come la stampa 3D.



Conferimento all'lamNature del certificato di rinnovabilità del materiale da parte dell'Ente di ispezione belga Vincotte, ormai integrato nel gruppo TUV AUSTRIA.

Un certificato che presenta 4 stelle, come nel caso dell'lamNature, corrisponde ad un contenuto rinnovabile pari all'80% o superiore.

5.6.3 Fibra di Bambù:

Da un punto di vista fisiologico, il piede di un bambino è finalizzato allo sviluppo di un meccanismo di supporto biomeccanico per il processo locomotorio. Le calzature selezionate dovrebbero garantire la flessibilità di movimento del piede, per stimolare l'attività completa dei muscoli. D'altra parte, bisogna anche considerare la produzione di un microclima adeguato con condizioni di temperatura e umidità corrette durante l'utilizzo della calzatura, elemento legato alle proprietà igieniche dei materiali usati durante la produzione.

L'impiego di tessuti di bambù naturale, caratterizzato da elevate proprietà igieniche, antibatteriche e batteriostatiche, confermate in più rapporti scientifici, è una soluzione che sembrerebbe la più ottimale. Nel lavoro di Sekerden et al, è stato dimostrato come la permeabilità all'aria del tessuto di bambù fosse più alta paragonata ad altri tessuti naturali come il cotone e le loro miscele.



Un altro grande beneficio delle fibre di bambù è caratterizzato dalla biodegradabilità intrinseca per via dell'alto contenuto di cellulosa, rendendolo un materiale a tutti gli effetti circolare. In effetti la fibra di bambù è ottenuta dall'omonima pianta, caratterizzata da una crescita estremamente rapida e che si sviluppa maggiormente in altezza. Tali piante richiedono quantitativi più bassi di acqua rispetto ad altre fibre naturali, come il cotone o il lino, senza contare che non essendo soggetta all'attacco da parte di parassiti, può essere coltivata senza ricorrere a sostanze chimiche.

Di solito, un albero di foresta impiega almeno 60 anni per rigenerarsi dopo essere stato abbattuto, mentre il bamboo naturale si rinnova con un periodo di crescita di 2-3 anni. Per questo motivo, il bamboo può essere considerato con grande stima come uno dei nuovi materiali tessili naturali, ecologici e sostenibili, grazie alle sue caratteristiche uniche, soprattutto quando sottoposto a processi appropriati.

In molti casi, il processo di estrazione del filato di bambù porta allo sviluppo della "viscosa di bambù", una soluzione diluita che ricorre all'utilizzo di sostanze chimiche, come l'idrossido di sodio, diminuendo la sostenibilità del filato ottenuto.



Calzino
Elementi assicurativi per mantenere il calzino in posizione

Materiale: Tessuto in fibra di Bambù
Processo di lavorazione: 3D Knitting

Suola

Materiale: lamNature (PHA)
Processo di lavorazione: Additive Manufacturing (FFF)

5.7 RENDER



Fascia di età e misure considerate per la scarpa

Lunghezza piede in cm	Misura	età
9,6	16	0-3 mesi
10,3	17	3-6 mesi
11	18	6-9 mesi
11,5	19	9-11 mesi
12,3	20	12 mesi
13	21	12-14 mesi
13,7	22	14-18 mesi
14,3	23	18-24 mesi





SCEGLI IL TUO STILE





5.8 SVILUPPI FUTURI

Proiettando lo sguardo verso il futuro, il progetto apre la strada a prospettive promettenti per ulteriori sviluppi. Con l'evolversi costante delle bioplastiche verso soluzioni sempre più flessibili, si delineano opportunità per affinare ulteriormente il design delle calzature destinate ai bambini. In questo contesto, la fibra di bambù, conosciuta per le sue proprietà elastiche, potrebbe essere impiegata in modo innovativo. Sfruttando tali caratteristiche si potrebbe sviluppare un calzino dinamico in grado di adattarsi alle dimensioni mutevoli del piede del bambino per poterlo accompagnare nei successivi anni di crescita, avendo solo esigenza di cambiare la suola stampata in 3D.

Va inoltre sottolineato che, considerate le proprietà di durevolezza e riciclabilità del filato a base di fibra di bambù, questa soluzione progettuale potrebbe essere estesa anche alla progettazione di calzature per tutte le età. Naturalmente, in questo ampliamento, si prenderanno tutte le precauzioni progettuali necessarie per garantire comfort e adattabilità alle esigenze specifiche di ciascun individuo. Con ulteriori ricerche e sviluppi, questa visione potrebbe evolversi in una realtà che offre soluzioni innovative, sostenibili e personalizzate nell'ambito delle calzature per tutte le fasce d'età.

5.9 CONCLUSIONE

Concludendo questa tesi magistrale, l'implementazione di un approccio innovativo e sostenibile nel design delle calzature per bambini rappresenta un notevole passo avanti nella mitigazione dell'impatto ambientale del settore. L'introduzione di una scarpa per bambini, progettata impiegando materiali bio-based e biodegradabili, costituisce un esempio tangibile di come la sfida critica del continuo rinnovo delle calzature durante la fase di crescita rapida possa essere affrontata con soluzioni concrete.

La combinazione di materiali eco-compatibili, oltre a rispettare le esigenze pratiche e di sviluppo dei bambini, si propone di ridurre in modo significativo l'impatto ambientale derivante dalla produzione e dallo smaltimento delle calzature. Questo approccio innovativo, fondendo competenze nel design, nello sviluppo infantile e nella sostenibilità, tenta di soddisfare le esigenze del mercato contribuendo allo stesso tempo a promuovere pratiche più responsabili e consapevoli nell'industria calzaturiera.

L'implementazione di una calzatura completamente biodegradabile non solo rappresenta un modello virtuoso ma sottolinea anche la volontà intraprendente nel perseguire progetti che affrontano la sfida della sostenibilità, evidenziando il potenziale positivo della progettazione consapevole, indicando una direzione promettente per il futuro della produzione sostenibile e responsabile nel mondo della progettazione industriale.

Grazie.

Bibliografia

- Vezzoli, C. (2016). *Design per la sostenibilità ambientale, Progettare il ciclo di vita dei prodotti* (2a edizione). Milano, Italia: Zanichelli.
- Bompan, E., Brambilla, I. (2021). *Che cos'è l'economia circolare*. Edizioni Ambiente.
- Pellizzari, A., Genovesi, E. (2021). *Neomateriali 2.0 nell'economia circolare*. Edizioni Ambiente.
- Dietrich, k., Dumont, M., Del Rio, L., Orsat, V. (2017). *Producing PHAs in the bioeconomy, Towards a sustainable bioplastic, Sustainable production and consumption* (pp 58-70).
- Meereboer, k., Misra, M., Mohanty, A. (2020). *Review of recent advances in the biodegradability of polyhydroxyalkanoate (PHA) bioplastics and their composites*, Green Chemistry.
- Polese, F., Ciasullo, M., Troisi, O., Maione, G. (2019). *Sustainability in footwear industry: a big data analysis*, *Sinergie Italian Journal of Management*.
- Van Rensburg, M., Nkomo, S., Mkhize, N. (2020). *Life cycle and End-of-Life management options in the footwear industry: A review*. *Waste Management & Research*. 38 (6):599-613.
- Staikos T, Rahimifard S (2007) *Post-consumer waste management issues in the footwear industry*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture 221: 363–368.
- Lee MJ, Rahimifard S (2012) *An air-based automated material recycling system for post-consumer footwear products*. *Resources, Conservation and Recycling* 69: 90–99.
- Joseph K, Nithya N (2009) *Material flows in the life cycle of leather*. *Journal of Cleaner Production* 17: 676–682.
- Chrobot P, Faist M, Gustavus L, et al. (2018) *Measuring fashion: Environmental impact of the global apparel and footwear industries study. Full report and methodological considerations*.
- Gottfridsson M, Zhang Y (2015) *Environmental impacts of shoe consumption: Combining product flow analysis with an LCA model for Sweden. Master's Thesis, Chalmers University of Technology, Sweden*.
- Baden S, Barber C (2005) *The impact of the second-hand clothing trade on developing countries*. *Oxfam International Report*.
- Trapp, M., Kreutz, M., Lütjen, Freitag, M. (2022). *Improving Sustainability of Footwear Production through 3D Printing of Shoes*. *Schriftenreihe der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Arbeits- und Betriebsorganisation (WGAB)* e. (pp 1-15).
- Zolfagharian, A., Lakhi, M., Ranjbar, S., & Boddaghi, M. (2021). *Custom Shoe Sole Design and Modeling Toward 3D Printing*. *International Journal of Bioprinting*, 7(4), 396.
- Ozdemir, M., Cascini, G., Verlinden, J. (2020), *A mass personalization framework for knitted footwear*. *University of Antwerp, Department of Product Development, Antwerp, Belgium* 2Politecnico di Milano, Department of Mechanical Engineering, Milano, Italia.
- Cerulo, B., Papile, F., Motta, M., Marinelli, A., Conti, G., Curto, B. (2022). *3D knitting for upholstery: guidelines to design at the interface of sustainable fashion and furniture*. In: Gianni Montagna and Cristina Carvalho (eds) *Human Factors for Apparel and Textile Engineering*. AHFE (2022) International Conference. AHFE Open Access, vol 32. AHFE International, USA.
- Foiasi, T., Pantazi, M. (2010). *Children's footwear- Health, comfort, fashion*. *Revista de Pielarie Incaltaminte*. 2010;10(4):45-60.
- Afrin, Tarannum; Tsuzuki, Takuya; Wang, Xungai (2009). *Bamboo fibres and their unique properties*. Deakin University. Journal contribution.
- Lawinska, K., Serweta, W., Gendaszewska, D. (2018). *Applications of Bamboo Textiles in Individualised Children's Footwear, Fibres and Textiles in Eastern Europe* 26(5):87-92.
- Dreith, B. (2022). *Nike takes steps towards circular design with glueless ISPA Link trainers*, Dezeen <https://www.dezeen.com/2022/04/29/nike-i-spa-link-disassembly/>
- Thukral, C. (2021). *This biodegradable shoe is crafted using waste materials and 3d Knitting*, Yanko Design. <https://www.yankodesign.com/2021/01/11/this-biodegradable-shoe-is-crafted-using-waste-materials-and-3d-knitting/>

Sitografia

<http://www.product-life.org>

<https://www.sisifo.eu/glossario/economia-lineare/#:~:text=L%27economia%20lineare%20si%20basa,produzione%20e%20prezzo%20di%20mercato>

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/introduction-to-circular-design/we-need-to-radically-rethink-how-we-design>

https://www.eea.europa.eu/publications/reaching-2030s-residual-municipal-waste?utm_source=EEASubscriptions&utm_medium=RSSFeeds&utm_campaign=Generic

<https://www.rinnovabili.it/economia-circolare/rifiuti-urbani-residui/>

<https://it.tuvaustria.com/ok-biobased/>

<https://www.european-bioplastics.org>

<https://biorepack.org/riciclo/impianti-di-trattamento.kl#:~:text=formazione%20del%20compost.-,Impianti%20di%20trattamento%20anaerobico,ermeticamente%20e%20tenuto%20in%20depressione>

<https://tecnopolo.bo.cnr.it/bioplastiche-come-smaltirle-differenze-compostabile-e-biodegradabile/>

<https://parley.tv/#fortheoceans>

<https://www.adidas.it/blog/361041-la-creativita-contro-la-plastica>

<https://www.gianeco.com/it/news/53/settore-calzaturiero-i-vantaggi-dellutilizzo-di-materiale-plastico-tpu-e-le-opportunita-correlate-allutilizzo-di-tpu-riciclato#:~:text=Tomae%20elastiche:%20Il%20TPU%20è,un%20adeguata%20protezione%20del%20piede>

<http://cec-footwearindustry.eu/co2-shoe/>

<https://www.uppa.it/quando-imparano-a-camminare-bambini/>

<https://www.matteosilvaosteopata.com/quali-sono-le-migliori-scarpe-primi-passi/>

<https://www.maipsrl.com/greenhope/biopolimeri/la-bioplastica-iamnature>

<https://www.maglificiodiverona.it/blog/72-il-bamboo-il-nuovo-filato-eco-sostenibile-del-maglificio-di-verona.html#:~:text=Bamboo:%20caratteristiche%20e%20proprietà&text=Il%20filato%20di%20bambù%20ha,inverno%20e%20fresco%20d'estate>

