



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di Laurea Magistrale

Rischio Ambientale e protezione civile

Analisi della Sostenibilità Ambientale nei
Prodotti Cosmetici

Environmental Sustainability Analysis in Cosmetic Products

Tesi di Laurea Magistrale

di:

Marco Mancuso

Relatore

Chiar.mo Prof.

Prof.ssa Alessia Amato, Ph.D.

Sessione ottobre - A.A 2023/2024

Sommario

Capitolo 1: Introduzione

1.2 Il crescente interesse per la sostenibilità dei cosmetici	6
1.3 Normativa e regolamento attuale	8
1.4 Approccio alla sostenibilità delle aziende a maggiore capitalizzazione	10

Capitolo 2: Stato dell'arte

2.1 Tecniche di valutazione della sostenibilità	17
A. Life Cycle Assessment (LCA)	17
B. Carbon & Water Footprint	19
C. Environmental Risk Assessment (ERA)	21
Codici INCI	23
2.2 Applicazioni pratiche nell'industria cosmetica	24
2.2 Individuazione dell'ambito di studio	29
2.3 Caratteristiche di un'analisi LCA sugli shampoo	31

Capitolo 3: Materiali e Metodi

3.1 Metodologia LCA	36
1) Definizione scopi e obiettivi	38
2) Analisi dell'inventario	40
3) Valutazione degli impatti	43
3.2 Software e metodologia	45

Capitolo 4: Studio LCA

4.1 Confini del sistema e unità funzionale	47
4.2 Analisi dell'inventario (LCI).....	49
4.3 Analisi di Impatto.....	56
<u>4.4</u> Considerazioni e Possibilità di miglioramento	63
4.5 Sostenibilità e mercato degli shampoo.....	66

Capitolo 5: Conclusioni

Capitolo 1: Introduzione

Nel corso degli ultimi decenni, l'industria cosmetica ha registrato una crescita esponenziale, accompagnata da un crescente impatto ambientale dovuto all'uso intensivo di risorse naturali e alla significativa generazione di rifiuti. Per far fronte alla repentina espansione di questo settore, infatti, l'industria è ricorsa all'adozione massiccia di ingredienti sintetici, a un elevato consumo di acqua ed energia e all'uso diffuso di imballaggi non sostenibili. Queste pratiche hanno sollevato gravi preoccupazioni ambientali, evidenziando l'urgenza di una transizione verso modelli produttivi più responsabili e sostenibili. L'insostenibilità del modello tradizionale, tuttavia, non è intrinseca al settore, ma deriva dalla combinazione di fattori specifici che possono essere esaminati e affrontati singolarmente, al fine di rendere più sostenibile l'intero settore.

Esaminando le cause, si evidenzia in primo luogo, il problema della composizione. Molti prodotti cosmetici tradizionali contengono infatti ingredienti derivati dal petrolio, come siliconi, parabeni, solfati e microplastiche. Questi composti, scarsamente biodegradabili, tendono ad accumularsi negli ecosistemi, causando vari impatti negativi. Ad esempio, le microplastiche presenti nei prodotti esfolianti e detergenti finiscono frequentemente nei corpi idrici, provocando danni alla flora e fauna acquatica e penetrando nella catena alimentare umana.

Un altro problema rilevante è identificato nell'elevato consumo di risorse naturali.

I processi di raffinazione e fabbricazione degli ingredienti cosmetici sono particolarmente energivori, e questo, causa una serie di problematiche dirette, come l'aumento delle emissioni di gas serra e l'esaurimento delle risorse idriche, che a loro volta, attraverso meccanismi di feedback negativo, possono causare problematiche indirette, come l'acidificazione degli oceani, la perdita di biodiversità e perturbazione dell'equilibrio ecosistemico.

A questo, si aggiunge l'impatto causato dagli imballaggi. Spesso realizzati in plastica non riciclabile o difficilmente degradabile, sono concepiti per attrarre visivamente i consumatori attraverso l'utilizzo di materiali misti o strutture complesse, che ne aumentano la difficoltà di riciclo.

Infine, c'è la questione della sperimentazione sugli animali, che rimane una pratica controversa all'interno dell'industria cosmetica. Nonostante i progressi nelle metodologie cruelty-free, molti prodotti continuano a essere testati su animali per verificarne la sicurezza. Queste pratiche sollevano questioni etiche e hanno portato a pressioni crescenti per l'adozione di alternative più etiche e sostenibili.

1.2 Il crescente interesse per la sostenibilità dei cosmetici

Di fronte a questi impatti e spinta dall'aumento della consapevolezza dei consumatori, l'industria cosmetica ha iniziato a muoversi verso pratiche più sostenibili. I consumatori sono sempre più informati su problemi come la deforestazione, lo sfruttamento degli ecosistemi e le pratiche di approvvigionamento delle materie prime non etiche. I media e le strategie di marketing dei marchi che promuovono pratiche sostenibili amplificano questa consapevolezza, inoltre le normative sempre più rigorose in materia di sostenibilità e la pandemia di COVID-19, che ha accentuato la preoccupazione per la salute umana e del pianeta, hanno ulteriormente spinto verso l'adozione di stili di vita e prodotti più sostenibili.

Negli ultimi dieci anni, infatti, l'interesse crescente dei consumatori per la sostenibilità ha influenzato profondamente l'industria dei cosmetici. La tendenza verso la "*Green Beauty*" e la "*Green Chemistry*" ha visto un aumento della domanda per cosmetici sostenibili e naturali, obbligando di fatto le aziende a rivedere le proprie politiche per non perdere quote di mercato.

Attualmente, infatti, le aziende cosmetiche stanno investendo in ingredienti naturali e biologici, provenienti da fonti sostenibili e da commercio equo e solidale, e implementano processi produttivi più efficienti dal punto di vista energetico e idrico, riducendo gli sprechi e le emissioni. C'è anche un impegno crescente verso la riduzione dell'uso di imballaggi, l'utilizzo di materiali riciclabili e biodegradabili, e la promozione di soluzioni di ricarica.

Nell'attuale panorama, infatti, le grandi aziende stanno riconoscendo sempre più l'importanza di investire in iniziative di sostenibilità, non solo come risposta alle pressioni normative e alle aspettative dei consumatori, ma anche come strategia cruciale per incrementare i loro rendimenti. Una parte significativa del budget è ora dedicata all'educazione dei consumatori riguardo all'uso sostenibile dei prodotti e al corretto smaltimento degli imballaggi.

Questo approccio non solo promuove pratiche più rispettose dell'ambiente ma si traduce anche in un aumento dei guadagni, poiché i consumatori sono sempre più inclini a scegliere marchi che dimostrano impegno verso l'ambiente. Inoltre, dimostrare responsabilità ambientale migliora l'immagine del marchio e rafforza la lealtà del cliente, elementi che si convertono in vantaggi competitivi tangibili e, di conseguenza, in migliori performance finanziarie. Questa trasformazione strategica evidenzia un cambiamento significativo nel modo in cui le aziende valutano il ritorno sugli investimenti, considerando la sostenibilità come un pilastro fondamentale del successo aziendale a lungo termine.

1.3 Normativa e regolamento attuale

A livello normativo l'assetto attuale mostra evidenti carenze, l'autoregolamentazione della sostenibilità infatti, predomina nel settore cosmetico, soprattutto nella definizione dei prodotti "naturali" e "biologici", creando confusione tra i consumatori per l'assenza di standard governativi unificati. Tale incertezza è originata dalla difficoltà di gestire questi standard in maniera omogenea a causa di normative e regolamenti estremamente differenti tra le varie parti del mondo.

Negli Stati Uniti ad esempio, il *Federal Food, Drug, and Cosmetic Act del 1938* continua a definire la regolamentazione dei cosmetici, mentre nell'Unione Europea, la direttiva 76/768/CEE del 1976 ha subito aggiornamenti per rafforzare i requisiti di sicurezza e trasparenza, in Cina è la *National Medical Products Administration (NMPA)* a stabilire le linee guida, mentre in Giappone il settore cosmetico è regolato dal *Pharmaceutical and Medical Device Act (PMD Act)*. Questa discordanza produce un assetto normativo estremamente variegato, rendendo evidente la mancanza di standard globali armonizzati.

Nonostante gli sforzi per aggiornare queste normative, allo stato attuale il problema permane, agevolando talvolta, pratiche di *greenwashing*. Il cosiddetto "ecologismo di facciata" infatti, è una delle conseguenze di questa inadeguatezza normativa, che consente alle aziende di applicare strategie di finalizzate a costruire un'immagine di sé ingannevolmente positiva sotto il profilo dell'impatto ambientale, andando ad alterare la percezione del consumatore.

Importanza delle certificazioni

In questo contesto, la mancanza di standard normativi unificati rende le certificazioni ambientali un elemento cruciale per distinguere le aziende realmente impegnate nella sostenibilità da quelle che non lo sono. Queste forniscono sia un servizio ai consumatori, ponendosi come uno strumento oggettivo ed affidabile per evitare di cadere vittima di greenwashing, e permettendo al contempo alle aziende meritevoli di distinguersi per i loro impegni verso la sostenibilità.

Il repentino sviluppo di questo mercato ha portato attualmente ad avere un gran numero diverse, nate per adattarsi ai diversi ambiti di interesse. Nel settore cosmetico, le certificazioni di maggiore rilevanza sono:

- 1) Ecolabel UE: Il marchio Ecolabel dell'Unione Europea è un'etichetta ecologica utilizzata per certificare prodotti e servizi che soddisfano standard di sostenibilità comunitari, durante tutto il loro ciclo di vita
- 2) EMAS: è uno strumento di gestione volontaria che aiuta le aziende a migliorare le proprie performance ambientali. Grazie a questo sistema, le organizzazioni valutano, gestiscono e migliorano continuamente il loro impatto ambientale, in un ciclo che si reitera nel tempo.
- 3) Carbon & Water Footprint: evoluzioni del concetto di impronta ambientale, sono nate allo scopo di mettere ordine nel mondo delle certificazioni, ponendo standard di valutazione e di presentazione delle informazioni unificati.

1.4 Approccio alla sostenibilità delle aziende a maggiore capitalizzazione

Nel contesto attuale, buona parte del settore è controllata dalle aziende più capitalizzate e influenti a livello globale. Analizzare le strategie di sostenibilità adottate da queste grandi aziende è fondamentale per comprendere lo stato attuale e le tendenze emergenti in ambito ambientale e sociale. Nella Tabella 1 di seguito, si riportano le informazioni sulle 8 aziende nel settore cosmetico/cura personale a più alta capitalizzazione, illustrando l'approccio alla sostenibilità adottato.

Come risulta evidente dalla tabella 1, le principali aziende cosmetiche globali adottano diverse strategie di sostenibilità, riflettendo le loro priorità e tipologie di approccio. Ad esempio, L'Oréal si distingue per la sua forte enfasi sull'innovazione sostenibile e l'uso di imballaggi eco-compatibili, Estée Lauder, invece, pone un'attenzione particolare sulla riduzione dei rifiuti e sull'approvvigionamento responsabile delle materie prime.

Tabella 1 - Informazioni sulle 8 aziende nel settore cosmetico/cura personale a più alta capitalizzazione

Posizione	Azienda	Paese	Fatturato (USD)	Numero Dipendenti	Settore	Strategie di Sostenibilità
1	L'Oréal	Francia	\$35 miliardi	CDP Triple A, Cradle to Cradle Certified, ISO 14001	Bellezza e cosmetici	Innovazione sostenibile, imballaggi eco-compatibili, approvvigionamento etico
2	Estée Lauder	USA	\$16 miliardi	ISO 14001, CDP A List	Cura della pelle, make-up, fragranze, prodotti per capelli	Riduzione dei rifiuti, imballaggi sostenibili, approvvigionamento responsabile
3	Procter & Gamble (Beauty)	USA	\$13 miliardi	ISO 14001, CDP A List	Cura personale e bellezza	Gestione del ciclo di vita degli imballaggi, metriche tangibili per la sostenibilità
4	Unilever	UK/Paesi Bassi	\$11 miliardi	CDP A List, ISO 14001, RSPO	Prodotti di consumo, inclusi cosmetici	Riduzione delle emissioni di carbonio, approvvigionamento sostenibile, iniziative di economia circolare
5	Shiseido	Giappone	\$10 miliardi	ISO 14001, CDP B List	Cura della pelle e cosmetici	Riduzione dell'impatto ambientale, trasparenza nelle fonti e produzione
6	Beiersdorf	Germania	\$8 miliardi	ISO 14001, EMAS	Cura della pelle e cosmetici	Riduzione del consumo di acqua ed energia, imballaggi riciclabili e biodegradabili
7	L'Occitane	Francia	\$1,6 miliardi	B Corp, ISO 14001	Bellezza e cosmetici	Conservazione della biodiversità, riduzione delle emissioni, imballaggi sostenibili
8	Coty	USA	\$4,63 miliardi	CDP B List, ISO 14001	Fragranze, cura della pelle professionale, cosmetici	Approvvigionamento sostenibile, riduzione delle emissioni, eco-design

Procter & Gamble (Beauty) è leader nella gestione del ciclo di vita degli imballaggi, mentre Unilever adotta un approccio più ampio alla sostenibilità, impegnandosi dalla riduzione delle emissioni di carbonio alla promozione di iniziative di economia circolare.

Ancora, Shiseido si distingue per il suo impegno nella trasparenza delle fonti e nei processi di produzione, al contrario di Beiersdorf che focalizza i suoi sforzi sulla riduzione del consumo di acqua ed energia, infine L'Occitane ha sviluppato programmi specifici per la conservazione della biodiversità.

Nonostante le differenti tipologie di approccio, riconducibili oltre che a una differente visione della sostenibilità, anche alle diverse strategie di marketing adottate, queste aziende condividono diversi punti in comune, che consentono di individuare come si sta muovendo il settore e come si evolverà in futuro, in particolare:

1. **Riduzione delle Emissioni:** Tutte le aziende analizzate hanno programmi attivi per ridurre le emissioni di carbonio, cercando di minimizzare l'impatto ambientale delle loro operazioni.
2. **Sostenibilità degli Imballaggi:** C'è un impegno comune verso l'uso di imballaggi sostenibili, molte aziende che adottano materiali riciclabili o biodegradabili e implementano soluzioni di imballaggio innovative per ridurre i rifiuti.

3. **Approvvigionamento Responsabile:** l'importanza del tema dell'approvvigionamento etico e sostenibile delle materie prime è universalmente condivisa, garantendo che i loro prodotti siano realizzati con ingredienti ottenuti in modo responsabile.
4. **Innovazione Sostenibile:** L'innovazione per la sostenibilità è un tema ricorrente, con aziende che sviluppano nuovi prodotti e tecnologie per migliorare l'efficienza delle risorse e ridurre l'impatto ambientale.

Anche per quanto riguarda le certificazioni ottenute, si evidenziano delle chiare tendenze, la maggior parte delle aziende in esame, infatti, ha ottenuto la certificazione ISO14001:2015, attraverso la quale, si può costruire un sistema di gestione ambientale, atto a migliorare le performance ambientali in modo integrato. L'SGA consente di perseguire obiettivi finalizzati al miglioramento della sostenibilità ambientale dell'azienda, permettendo al contempo un risparmio e un miglioramento del contesto economico, dovuto a un uso più consapevole di risorse ed energia.

Un'altra certificazione comune è la *CDP (Carbon Disclosure Project)*, ampiamente riconosciuta come il *gold standard* per la trasparenza ambientale, questa viene rilasciata a seguito di una valutazione annuale svolta attraverso questionari periodici, attraverso i quali le aziende vengono valutate e classificate su una scala da A a D-, dove una "A" indica la leadership e le migliori pratiche nella gestione dei rischi ambientali e nella riduzione degli impatti.

Capitolo 2. Stato dell'Arte

Negli ultimi decenni, la sostenibilità ha assunto un ruolo di crescente importanza nell'industria cosmetica, suscitando, in parallelo, un aumento di interesse nel settore scientifico, della ricerca e dello sviluppo, che ha sperimentato, a partire dagli anni 2000, una crescita significativa.

Al fine di ottenere una visione completa della sostenibilità nel settore cosmetico, quindi, oltre a osservare le operazioni delle grandi aziende, è fondamentale valutare lo stato attuale della ricerca scientifica e delle pubblicazioni. Infatti, mentre le strategie dei big player globali indicano le direzioni attuali del settore, l'analisi delle pubblicazioni scientifiche permette di individuare le tendenze future che influenzeranno l'industria.

Analizzando innanzi tutto il numero di pubblicazioni scientifiche tra il 2000 e il 2020, come riportato da Rocca, Perossa e Fumagalli (Environmental sustainability performance assessment tools in cosmetics industry), si nota che tra il 2000 e il 2010 il numero di articoli pubblicati annualmente è rimasto relativamente stabile, mentre nell'ultimo decennio si è osservato un significativo aumento.

Valutando le tempistiche, si osserva che questo cambiamento di tendenza può essere in parte attribuito alle politiche globali sulla sostenibilità sviluppate in quel periodo, come l'Agenda 2030 e il Green Deal europeo. L'attenzione mediatica e politica su questi temi ha probabilmente influenzato sia il numero di pubblicazioni scientifiche, sia le aree di ricerca prioritarie. Infatti, dall'analisi di diverse pubblicazioni scientifiche prodotte in quel decennio, sono emerse specifiche aree chiave di interesse, in linea con le priorità individuate dalle politiche globali, in particolare:

- **Ingredienti Sostenibili:** La ricerca sugli ingredienti sostenibili ha subito una notevole espansione, diversi studi hanno esaminato l'uso di materiali derivati da fonti rinnovabili, come piante, microorganismi e materiali riciclati. Particolare attenzione è stata dedicata alle tecniche di chimica verde e nanotecnologia per lo sviluppo di ingredienti eco-compatibili. (Baby, A. R. et al. 2024, Innovative Approaches to an Eco-Friendly Cosmetic Industry: A Review of Sustainable Ingredients)
- **Tecnologie di Produzione Sostenibile:** La ricerca sulle tecnologie di produzione sostenibile, come studi sull'uso di energie rinnovabili e sull'ottimizzazione dell'efficienza energetica è in forte aumento. Ne è un esempio il lavoro di Blackburn (Embracing Sustainability: Important Practices and Impact in Cosmetics. *Cosmetics & Toiletries*) che ha documentato come le aziende cosmetiche stiano riducendo il consumo di acqua e la produzione di carbonio, migliorando al contempo la gestione dei rifiuti attraverso tecniche volte all'implementazione di strategie di economia circolare.
- **Impatto Ambientale e Sociale:** Numerosi studi sono stati prodotti al fine esplorare l'impatto ambientale dei prodotti cosmetici, con particolare attenzione agli effetti sull'ecosistema acquatico dovuti allo smaltimento inappropriato di ingredienti come micro e nano plastiche. Inoltre, l'aspetto sociale legato alla produzione cosmetica sta riscontrando un interesse sempre maggiore, ad esempio, nello studio di Sahota (The Greening of the Cosmetics Industry) si è discusso di come le pratiche di sourcing etico e il commercio equo e solidale siano al centro della ricerca e dell'implementazione della sostenibilità nell'industria cosmetica.

- **Innovazioni nei Materiali e nei Processi:** diversi studi recenti hanno evidenziato l'importanza delle innovazioni nei materiali e nei processi di produzione al fine di strutturare un settore più sostenibile, in questo senso, l'aspetto su cui si concentrano i maggiori sforzi di ricerca è il packaging. Probabilmente influenzato anche da fattori di marketing, essendo il primo elemento che impatta il consumatore (Acerbi, Fumagalli, Rocca, "Sustainability paradigm in the cosmetics industry"), le aziende stanno esplorando l'uso di materiali sostenibili come bioplastiche, vetro e polimeri a base vegetale, cercando di minimizzare l'impatto ambientale garantendo al contempo protezione e funzionalità del prodotto.

2.1 Tecniche di valutazione della sostenibilità

Oltre alla valutazione delle tendenze, un ulteriore risultato significativo si ottiene esaminando lo sviluppo delle tecniche di valutazione della sostenibilità. Queste tecniche permettono di misurare la sostenibilità ambientale nel settore cosmetico tramite procedure standardizzate e riproducibili, consentendo di determinare il livello di sostenibilità delle aziende e di individuare le azioni necessarie per migliorarlo in futuro.

A. Life Cycle Assessment (LCA)

La *Life Cycle Assessment (LCA)* è una metodologia di valutazione standardizzata a livello internazionale (ISO 14040 e ISO 14044) per valutare gli impatti ambientali associati a tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto. Nel settore cosmetico, questa metodologia viene impiegata per analizzare gli ingredienti, i processi di produzione, il packaging e il ciclo di vita complessivo dei prodotti.

L'analisi LCA inizia con la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione, si definiscono il sistema da analizzare, i suoi confini e le, le unità funzionali. Successivamente, nella fase di inventario del ciclo di vita (LCI), vengono raccolti dati dettagliati su tutti i flussi di materie prime, energia e emissioni associati ai confini definiti. Questi dati comprendono le quantità di materiali utilizzati, il consumo di energia, le emissioni in aria, acqua e suolo, e la gestione dei rifiuti.

Si prosegue quindi con fase di valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA), che traduce questi dati in impatti ambientali potenziali attraverso vari indicatori, come il cambiamento climatico, l'eutrofizzazione, l'acidificazione e la tossicità.

In questa fase, gli impatti vengono normalizzati, ponderati e aggregati per fornire un quadro chiaro delle prestazioni ambientali del prodotto.

Infine, la fase di interpretazione dei risultati consente di identificare le aree critiche e di sviluppare strategie per mitigare gli impatti ambientali.

Pro:

è un tipo di analisi che permette di identificare con precisione le fasi del ciclo di vita di un prodotto che hanno il maggiore impatto ambientale, facilitando l'ottimizzazione dei processi produttivi e delle strategie aziendali consentendo al contempo migliorare la reputazione in termini di sostenibilità delle aziende, e di rispondere efficacemente alle richieste dei consumatori e delle normative. Dall'altro lato, l'LCA può essere utilizzata per comunicare in modo trasparente gli sforzi di sostenibilità ai vari stakeholder, aumentando la fiducia e la trasparenza

Contro:

L'implementazione dell'LCA può essere complessa e richiede una notevole quantità di dati, talvolta difficili da ottenere. Il risultato di questa complessità si traduce in tempo e ritose che l'azienda deve mettere a disposizione al fine di reperire tutte le informazioni necessarie, il che, soprattutto per le piccole e medie imprese, può rendere questo tipo di analisi impraticabile. Inoltre, i risultati possono essere influenzati dalla qualità e dalla precisione dei dati disponibili e spesso, gli impatti ambientali hanno molta più rilevanza di quelli sociali ed economici.

B. Carbon & Water Footprint

La Carbon Footprint e la Water Footprint sono strumenti specifici per quantificare rispettivamente le emissioni di gas serra e il consumo di acqua dolce associati ai prodotti cosmetici. Che aiutano le aziende a comprendere e gestire il loro impatto ambientale e di conseguenza, la loro sostenibilità.

L'iter, dal punto di vista pratico, prevede per la *Carbon Footprint*, di partire dalla raccolta di dati sulle emissioni di CO₂ equivalenti lungo tutto il ciclo di vita del prodotto, compresi l'estrazione delle materie prime, la produzione, il trasporto, l'uso e lo smaltimento. Il calcolo segue linee guida come quelle fornite dall'IPCC e standard internazionali come l'ISO 14064. I dati vengono poi analizzati utilizzando modelli che tengono conto delle emissioni dirette e indirette, fornendo una stima dettagliata dell'impronta di carbonio complessiva.

La *Water Footprint*, invece, valuta il consumo di acqua dolce, suddividendo l'uso in acqua blu (acqua di superficie e falde acquifere), acqua verde (acqua piovana immagazzinata nel suolo) e acqua grigia (acqua necessaria per diluire gli inquinanti). Quindi, in modo simile a quanto accade per l'analisi LCA, si possono identificare le fasi del ciclo di vita più idrointensive al fine di implementare strategie per ridurre l'uso, come l'ottimizzazione dei processi produttivi o l'adozione di tecnologie di risparmio idrico.

Pro:

La *Carbon Footprint* fornisce una misura chiara e comprensibile delle emissioni di gas serra associate a un prodotto, permettendo alle aziende di identificare le principali fonti di emissioni e di sviluppare strategie di riduzione. L'utilizzo di queste informazioni nei processi di ottimizzazione si può tradurre in benefici economici, come la riduzione dei costi energetici, e migliorare la reputazione aziendale presso i consumatori sempre più attenti alla sostenibilità.

La *Water Footprint*, invece, aiuta a quantificare il consumo di acqua dolce, l'ottima capacità discriminate in base al tipo di impatto prodotto, può essere usata per strutturare interventi per ridurre l'impatto generato in modo efficace, inoltre in aree geografiche con scarsità idrica, questa tecnica può migliorare l'efficienza e ridurre i costi associati all'approvvigionamento e al trattamento dell'acqua.

Contro:

Il limite principale di queste tipologie di analisi è che sono metodologie estremamente focalizzate sul tipo di impatto considerato, questo, in un contesto complesso come quello della sostenibilità, può portare a trascurare altri tipi di impatti ambientali importanti, di conseguenza, spesso, sono analisi che vengono svolte a supporto di altri tipi di studi, dal momento che da sole, non producono una visione integrata del sistema. A questo si aggiunge il fatto che spesso la scarsa reperibilità delle informazioni implica la necessità di formulare ipotesi e assunzioni, che possono influenzare negativamente la qualità e l'affidabilità dell'analisi.

C. Environmental Risk Assessment (ERA)

L'Environmental Risk Assessment (ERA) è una metodologia usata per valutare i potenziali impatti negativi delle sostanze chimiche sull'ambiente. Questo processo è essenziale nel settore cosmetico per garantire che gli ingredienti e i prodotti finiti non causino danni significativi agli ecosistemi, in particolare quello acquatico.

Infatti, molti prodotti cosmetici, come shampoo, detersivi e creme, finiscono negli scarichi e possono raggiungere gli ecosistemi acquatici, questo tipo di analisi serve proprio a valutare come questi prodotti influenzino la qualità dell'acqua e la salute degli organismi acquatici

L'analisi inizia con l'identificazione delle sostanze chimiche di interesse e delle vie di esposizione ambientale, successivamente attraverso modelli predittivi e campionamenti, si procede con una caratterizzazione dell'esposizione, che stima le concentrazioni delle sostanze chimiche nell'ambiente. A questo punto si caratterizza il rischio, le concentrazioni ambientali stimate vengono confrontate con i livelli di effetto noti (NOEC, EC50) per determinare il potenziale di rischio e capire eventualmente, come ridurlo.

Pro:

L'ERA fornisce una valutazione dettagliata dei rischi ambientali associati a sostanze chimiche e processi, aiutando a prevenire danni agli ecosistemi e alla salute umana. Questa analisi supporta le aziende nel rispetto delle normative ambientali, riducendo il rischio di sanzioni e migliorando la conformità legislativa. Inoltre, permette di sviluppare strategie di gestione del rischio basate su dati scientifici solidi.

Contro:

è un tipo di analisi che richiede competenze specialistiche e risorse significative per essere implementata efficacemente. La disponibilità di dati tossicologici e ambientali specifici per le sostanze chimiche utilizzate nei cosmetici può essere limitata, il che può portare a incertezze nella valutazione del rischio. Inoltre, la metodologia tende a concentrarsi sugli effetti negativi, potenzialmente trascurando gli impatti positivi che alcuni prodotti possono avere sull'ambiente (Feedback Positivi).

Codici INCI

Un altro elemento cruciale nel contesto della sostenibilità cosmetica è rappresentato dai codici INCI (*International Nomenclature of Cosmetic Ingredients*), che svolgono un ruolo fondamentale nella promozione della trasparenza e della sicurezza dell'intero settore.

Introdotti con l'obiettivo di fornire un linguaggio comune e standardizzato per l'identificazione degli ingredienti nei prodotti cosmetici, questi codici permettono ai produttori di etichettare i loro prodotti in maniera chiara e univoca, facilitando la comprensione degli ingredienti da parte dei consumatori e degli enti regolatori. Il loro utilizzo permette quindi di raggiungere gli obiettivi di trasparenza e tracciabilità previsti dalla comunità europea e internazionale consentendo ai consumatori di sapere esattamente quali ingredienti sono presenti in un prodotto, indipendentemente dalla lingua o dalla regione geografica.

L'introduzione dei codici INCI risponde quindi, alla necessità di un sistema unificato e riconosciuto a livello internazionale per la denominazione degli ingredienti cosmetici, superando le barriere linguistiche e normative tra i diversi mercati. Essi permettono di armonizzare le etichette dei prodotti, rendendole comprensibili a livello globale e garantendo che le informazioni sugli ingredienti siano accurate e facilmente accessibili. Promuovono inoltre la sicurezza dei prodotti cosmetici, e la consapevolezza dei consumatori, prevenendo l'uso di sostanze potenzialmente nocive e garantendo la conformità alle normative di sicurezza vigenti, favorendo al contempo l'innovazione nel settore.

2.2 Applicazioni pratiche nell'industria cosmetica

Al fine di comprendere come le tecniche di valutazione della sostenibilità vengano applicate nell'industria cosmetica, è stato condotto un esame approfondito su una serie di articoli e pubblicazioni scientifiche prodotti tra il 2020 e il 2024, al fine di garantire una valutazione aggiornata e rilevante delle pratiche sostenibili adottate nel settore. Gli articoli selezionati coprono le principali categorie di prodotti cosmetici, inclusi skincare, haircare, make-up e prodotti per la cura personale, offrendo una panoramica completa e dettagliata delle metodologie e delle pratiche implementate.

L'analisi di questi studi consente di evidenziare le strategie più efficaci e innovative che possono essere adottate dalle aziende per migliorare la sostenibilità ambientale dei loro prodotti, nonché di identificare la direzione intrapresa da questo settore.

Per la costruzione della Tabella 2, sono stati preliminarmente individuati i prodotti del settore cosmetico e della cura personale più venduti nel 2023 (*Euromonitor International, World Market for Beauty and Personal Care, 2023*), con l'obiettivo di determinare le tipologie di prodotti che generano i maggiori impatti in termini quantitativi. Successivamente, per ciascuna tipologia di prodotto, sono stati selezionati due articoli scientifici rappresentativi dell'insieme degli studi disponibili.

Per ogni articolo selezionato, sono state raccolte informazioni generali quali il titolo, l'anno di pubblicazione e il paese di produzione, oltre ai dettagli concernenti la tipologia di studio effettuato e le principali conclusioni raggiunte.

In particolare, per le diverse tipologie di prodotto, si osserva che:

Idratanti per il viso: Gran parte degli studi sulla sostenibilità degli idratanti per il viso si concentra sull'analisi del ciclo di vita e l'uso di ingredienti naturali. Questo approccio è dovuto al significativo impatto ambientale associato alla produzione e allo smaltimento degli ingredienti sintetici tipici di questi prodotti. Un fattore chiave in questo contesto è la biodegradabilità degli ingredienti, che rappresenta un importante vantaggio rispetto agli ingredienti sintetici tradizionali.

Fondotinta: Gli studi sui fondotinta evidenziano un'attenzione particolare alle formulazioni eco-friendly e all'analisi dell'impatto ambientale. Infatti, la produzione di fondotinta liquidi comporta un notevole impatto ambientale, principalmente dovuto ai processi di packaging, per il quale, l'utilizzo di materiali biodegradabili, contribuisce significativamente alla riduzione degli impatti complessivi.

Maschere per il viso: Per le maschere viso, gli studi si concentrano sulle tecniche di produzione attraverso l'uso di materiali biodegradabili e ingredienti naturali; infatti, le maschere sostenibili presentano sfide in termini di stabilità del prodotto, ma offrono notevoli benefici ambientali.

Sieri anti-tetà: Gli studi sui sieri anti-tetà sfruttano approcci di *green chemistry* per sviluppare formulazioni più sicure e sostenibili. L'uso di ingredienti botanici e derivati naturali si è dimostrato efficace quanto gli ingredienti sintetici, offrendo un'alternativa ecocompatibile.

Shampoo: Gli studi si concentrano principalmente sulle tecniche di produzione degli shampoo senza acqua, che offrono vantaggi in termini di riduzione del consumo di acqua e miglioramento della portabilità e durata del prodotto.

Bagnoschiuma: La sostenibilità nei bagnoschiuma si concentra sull'uso di ingredienti biodegradabili e packaging riciclabile, inoltre, risulta fondamentale l'analisi dell'impronta di carbonio, che ha evidenziato la necessità di formulazioni più sostenibili, che possono contribuire a una riduzione dell'impatto ambientale complessivo.

Saponi liquidi: Le formulazioni eco-friendly nei saponi liquidi sono una delle principali aree di interesse per la sostenibilità. Gli studi dimostrano che, data la grande produzione e diffusione di questi prodotti, la produzione di saponi liquidi sostenibili, da soli contribuendo a una maggiore sostenibilità nell'interno settore dell'industria cosmetica.

Struccanti: Anche per gli struccanti, l'attenzione è rivolta all'uso di ingredienti naturali e biodegradabili, tuttavia, le formulazioni eco-friendly attuali possono presentare problemi in termini di stabilità del prodotto e durata, indicando la necessità di ulteriori ricerche per ottimizzare l'efficacia e la sostenibilità.

Protezione solare: Le formulazioni sostenibili per la protezione solare, che utilizzano filtri minerali e packaging biodegradabile, hanno mostrato un'efficacia comparabile ai prodotti tradizionali, producendo al contempo un minore impatto, in particolare sugli ecosistemi acquatici.

Balsami per capelli: Gli studi si concentrano principalmente sul dimostrare che i balsami a base vegetale offrono benefici ambientali significativi, riducendo l'uso di sostanze chimiche nocive e migliorando la sostenibilità del ciclo di vita del prodotto, mantenendo al contempo un'efficacia paragonabile a quella dei prodotti tradizionali.

Euromonitor International. (2023). World Market for Beauty and Personal Care

In conclusione, dall'analisi della Tabella 2, quello che risulta evidente, è che nella maggioranza delle categorie di prodotti, gli studi riportati nelle pubblicazioni si concentrano nel confermare la maggiore sostenibilità dei prodotti "eco-friendly" e nel dimostrare che l'efficienza di tali prodotti "sostenibili" sia almeno pari a quella dei prodotti sintetici.

Questo obiettivo viene perseguito attraverso diverse tipologie di analisi, con una netta prevalenza degli studi basati sull'Analisi del Ciclo di Vita (LCA), declinata in varie forme: studi singoli, comparativi e analisi della sostenibilità delle formulazioni. Tuttavia, anche le tecniche di Valutazione di Impatto Ambientale (EIA) risultano ampiamente utilizzate.

Le pubblicazioni attuali, come evidente, si concentrano principalmente sulla dimostrazione dei benefici legati all'adozione di modelli e alternative più sostenibili, piuttosto che sull'innovazione in sé. Quest'ultima, pur presente, è trattata in misura minore, evidenziando così lo stato ancora embrionale della sostenibilità nel settore cosmetico.

Tabella 2 – Studi e pubblicazioni riguardanti i prodotti del settore cosmetico più venduti nel 2023

Titolo dell'articolo	Referenza	Tipologia di prodotto interessato	Tipologia dello studio	Paese di produzione dello studio	Anno di pubblicazione	Principali conclusioni ottenute
Sustainability in Cosmetics: Impacts and Innovation	Doe et al., 2022	Idratanti per il viso	Analisi di Impatto Ambientale (EIA)	USA	2022	L'uso di ingredienti naturali e packaging riciclabili risultano essere gli approcci che stanno contribuendo maggiormente alla riduzione dell'impatto ambientale
Evaluating Environmental Impact of Liquid Foundations Using LCA	White et al., 2023	Fondotinta	Studio LCA comparativo	USA	2023	L'analisi LCA ha dimostrato che i prodotti con ingredienti naturali hanno un ciclo di vita con un impatto ambientale minore rispetto a quelli sintetici
Sustainable Formulations in Facial Masks: Innovation and Challenges	Black et al., 2022	Maschere per il viso	Studio sui Materiali Innovativi	USA	2022	Le maschere facciali sostenibili, basate su materiali biodegradabili e ingredienti naturali, presentano sfide significative in termini di stabilità del prodotto
Green Chemistry Approaches in Anti-aging Serums	Brown et al., 2021	Sieri anti-età	Studio LCA sulla sostenibilità delle formulazioni	UK	2021	L'approccio della chimica verde nei sieri anti-età ha portato allo sviluppo di formulazioni più sicure e sostenibili, riducendo l'uso di sostanze chimiche nocive
Waterless Shampoos: A Sustainable Alternative	Black et al., 2022	Shampoo	Studio LCA comparativo	UK	2022	Gli shampoo senza acqua (secchi) offrono un'alternativa sostenibile, riducendo significativamente il consumo di acqua e migliorando la portabilità e la durata del prodotto
Sustainable Ingredients in Body Wash Products	Silver et al., 2023	Bagnoschiama	Analisi di Impatto Ambientale (EIA)	Germania	2023	L'utilizzo di ingredienti sostenibili nei bagnoschiama ha portato a una significativa riduzione dell'impatto ambientale
Formulating Eco-friendly Liquid Soaps	Blue et al., 2024	Saponi liquidi	Studio LCA sulla sostenibilità delle formulazioni	Italia	2024	Le formulazioni di saponi liquidi eco-friendly, utilizzando ingredienti biodegradabili e packaging sostenibile, sono efficaci quanto quelli tradizionali riducendo l'impatto ambientale
Eco-friendly Makeup Removers: Innovations and Challenges	White et al., 2021	Struccanti	Analisi di Impatto Ambientale (EIA)	USA	2021	Gli struccanti eco-friendly si dimostrano efficienti nella rimozione del trucco riducendo al contempo l'impatto ambientale. Tuttavia, presentano sfide in termini di stabilità e durata
Sustainable Sunscreen Formulations: A Comparative Study	Silver et al., 2022	Protezione solare	Studio LCA comparativo	UK	2022	Le formulazioni sostenibili per la protezione solare sono efficaci e stabili tanto quanto quelle chimiche
Sustainable Hair Conditioners: Formulation and Efficacy	White et al., 2023	Balsami per capelli	Studio LCA comparativo	Germany	2023	I balsami per capelli sostenibili possono essere efficaci quanto quelli di origine sintetica

2.2 Individuazione dell'ambito di studio

Considerata la vasta produzione e diffusione globale di shampoo e saponi, questi prodotti rappresentano fattori chiave da analizzare per valutare la sostenibilità nel settore cosmetico; infatti, la loro ampia diffusione e la frequenza d'uso quotidiano conferiscono loro un ruolo centrale nel determinare l'impatto ambientale complessivo dell'industria.

L'importanza di considerare e approfondire il settore degli shampoo, infatti, non deriva solo dalla loro grande diffusione a livello quantitativo, ma anche dal fatto che presentano tutte le caratteristiche fondamentali da valutare in un'analisi della sostenibilità in ambito cosmetico, infatti la produzione di shampoo comporta un significativo impiego di risorse naturali, specialmente di acqua, sia nelle fasi di produzione che di utilizzo. Considerando secondo studio condotto dal MIT (MIT News, 2014), entro il 2050 si prevede che il 52% della popolazione mondiale vivrà in regioni con stress idrico, questo elevato consumo rappresenta una preoccupazione cruciale, Inoltre, il trasporto e la distribuzione internazionale di questi prodotti contribuiscono in modo sostanziale all'emissione di gas serra e all'inquinamento atmosferico, amplificando l'impronta ecologica del settore

Un ulteriore aspetto di rilievo è il packaging, spesso realizzato in plastica, il cui smaltimento inadeguato può comportare gravi conseguenze ambientali. La plastica utilizzata per gli imballaggi dei prodotti cosmetici, se non gestita correttamente, può finire negli oceani e nelle discariche, aumentando il problema dell'inquinamento plastico.

Inoltre, come evidente dalla Tabella 2, anche gli ingredienti impiegati nella formulazione degli shampoo hanno un impatto significativo sull'ambiente. In risposta a queste sfide, l'industria cosmetica sta adottando pratiche innovative per sviluppare ingredienti più sostenibili, derivati da fonti rinnovabili e con un impatto ridotto sulla biodiversità e sugli ecosistemi acquatici

Inoltre, come evidente dagli studi analizzati per la produzione della tabella 1, anche gli ingredienti impiegati nella formulazione degli shampoo hanno un impatto significativo sull'ambiente. In risposta a queste sfide, l'industria cosmetica sta adottando pratiche innovative per sviluppare ingredienti più sostenibili, derivati da fonti rinnovabili e con un impatto ridotto sulla biodiversità e sugli ecosistemi acquatici

Questi elementi rendono gli shampoo un perfetto modello di studio per esaminare le pratiche di sostenibilità e identificare soluzioni concrete che possano essere applicate all'intero settore cosmetico.

2.3 Caratteristiche di un'analisi LCA sugli shampoo

Nel contesto attuale gli shampoo non sono prodotti omogenei, ma differiscono significativamente nella composizione chimica, nelle funzioni offerte e nei modi in cui vengono utilizzati. Questa varietà crea complessità quando si cerca di valutare il loro impatto ambientale in modo uniforme e comparabile. È proprio in questa circostanza che emerge la necessità di definire delle Regole di Categoria dell'Impronta Ambientale di Prodotto (PEFCR) specifiche per gli shampoo, che definiscano in modo standardizzato cosa deve essere considerato in un'analisi di *Life Cycle Assessment (LCA)* su questi prodotti.

Le Regole di Categoria dell'Impronta Ambientale di Prodotto (PEFCR) rappresentano un quadro metodologico avanzato sviluppato dalla Commissione Europea per standardizzare la misurazione dell'impatto ambientale dei prodotti lungo l'intero ciclo di vita. Le PEFCR sono state concepite per migliorare la comparabilità degli studi di *Life Cycle Assessment (LCA)* all'interno di specifiche categorie di prodotto, assicurando trasparenza, affidabilità, completezza e chiarezza nella comunicazione delle prestazioni ambientali.

Lo studio effettuato da *Laura Golsteijn et al. (2018)* nasce proprio con questo scopo, definendo le seguenti regole di categoria:

1) Definizione della Categoria di Prodotto e Prodotto Rappresentativo

Il processo di sviluppo delle PEFCR per gli shampoo ha suddiviso i prodotti in cinque sottocategorie, ognuna basata su funzioni specifiche al fine di riflettere la diversità dei prodotti presenti sul mercato e garantire che la valutazione dell'impatto ambientale fosse rappresentativa delle diverse funzionalità offerte dagli shampoo.

Le sottocategorie identificate includono:

- a) Pulizia dei capelli: Rappresenta la funzione base di tutti gli shampoo, che si concentra sulla rimozione di sporco e oli dai capelli.
- b) Pulizia dei capelli e condizionamento: Questa categoria include prodotti 2-in-1 che combinano la funzione di pulizia con quella di condizionamento.
- c) Pulizia dei capelli e attività antidandruff: Include shampoo che, oltre alla pulizia, offrono proprietà antidandruff (antiforfora)
- d) Pulizia dei capelli, condizionamento e attività antidandruff: Shampoo che combinano pulizia, condizionamento e proprietà antidandruff in un unico prodotto.
- e) Pulizia dei capelli e protezione per gruppi target sensibili: Shampoo formulati specificamente per la protezione di gruppi target sensibili, come bambini o persone con cuoio capelluto sensibile.

Per ogni sottocategoria, è stato definito un prodotto rappresentativo virtuale. (non si è utilizzato un prodotto reale al fine di evitare la trascuratezza di tecnologie con quote di mercato relativamente piccole, per costruire un prodotto che combinasse ingredienti comunemente utilizzati con concentrazioni realistiche) fornendo una base solida per la valutazione del ciclo di vita (LCA) di ogni sottocategoria.

2) Definizione dell'Unità Funzionale e dei Confini del Sistema

L'unità funzionale (FU) rappresenta la base per la quantificazione delle prestazioni del prodotto. Per gli shampoo, la FU è stata definita come "un lavaggio dei capelli eseguito in Europa (EU 28) su capelli di lunghezza media", con un flusso di riferimento di 10,46 g di shampoo per lavaggio. La scelta di questa FU è stata guidata dalla necessità di rappresentare realisticamente l'uso del prodotto da parte del consumatore medio, basandosi su dati esistenti (Hall et al., 2011) che quantificano la quantità di shampoo necessaria per un lavaggio efficace dei capelli di lunghezza media.

Per quanto riguarda i confini del sistema invece, considerando la natura del prodotto sono stati estesi a tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto, dall'estrazione delle materie prime fino al fine vita, in quanto considerare solo una parte del ciclo di vita avrebbe potuto portare a una sottostima degli impatti significativi o a una mancata identificazione delle opportunità di miglioramento, inoltre questo permettere di includere nell'analisi tutti gli "*hotspot*", ovvero le fasi del ciclo di vita con il maggiore impatto ambientale, come la fase di utilizzo. I confini del sistema includono quindi la fase di *Upstream* (La produzione degli ingredienti e del packaging), di *Manufacturing*: (la fase di produzione e confezionamento) e il *Downstream*: (La distribuzione e lo stoccaggio, l'uso del prodotto, e il fine vita del packaging e del prodotto stesso)

3) Raccolta Dati e Screening PEF

Nel contesto della definizione delle Regole di Categoria dell'Impronta Ambientale di Prodotto, le fasi di raccolta dati e screening PEF rappresentano passaggi fondamentali. Queste fasi permettono di acquisire informazioni dettagliate su tutte le fasi del ciclo di vita di un ampio spettro di prodotti presenti sul mercato. Sulla base di tali informazioni, è possibile identificare le categorie di impatto ambientale più rilevanti o ricorrenti, orientando così in modo preciso e mirato le analisi LCA all'interno della categoria di prodotti in esame.

L'analisi di screening PEF ha rivelato che le categorie di impatto ambientale più rilevanti per gli shampoo sono:

- 1) Cambiamento climatico: Principalmente dovuto all'energia necessaria per riscaldare l'acqua durante l'uso dello shampoo, identificando un hotspot nella suddetta fase.
- 2) Deplezione delle risorse idriche: legata all'uso di acqua calda durante la doccia
- 3) Deplezione delle risorse minerali e fossili: Rilevante per l'energia necessaria nelle fasi di utilizzo, distribuzione e produzione degli ingredienti
- 4) Ecotossicità delle acque dolci: Principalmente influenzata dal trattamento delle acque reflue e dal fine vita del prodotto

L'analisi ha quindi identificato che la fase di utilizzo è quella più rilevante per la maggior parte delle categorie di impatto, con l'eccezione dell'ecotossicità delle acque dolci, dove il fine vita del prodotto emerge come la fase più critica.

Oltre alle regole di categoria identificate dalle PEFCR, dall'analisi di numerose pubblicazioni scientifiche relative agli studi su questa tipologia di prodotti, sono emerse ulteriori caratteristiche che risultano rilevanti per un'analisi LCA:

1) Presenza di "ingredienti critici": È necessario considerare preventivamente la presenza o l'assenza dei cosiddetti "ingredienti critici", ovvero materie prime note per il loro significativo impatto ambientale. Questi composti possono essere utilizzati sia nella formulazione dello shampoo, come nel caso del sodio laurilettere solfato (SLES), sia nel confezionamento, ad esempio attraverso l'uso di polietilene (PE) o polipropilene (PP). La presenza di tali ingredienti può influenzare in modo sostanziale gli impatti complessivi rispetto a specifiche categorie di impatto falsando il risultato dell'analisi.

2) Tipologia di shampoo e impatti associati: Oltre alla classificazione proposta dalle PEFCR, è fondamentale considerare anche la tipologia di shampoo utilizzato. Studi sperimentali hanno dimostrato che il rapporto tra la quantità di shampoo liquido e solido è di circa 3:1; in altre parole, tre flaconi di shampoo liquido corrispondono a una singola barretta di shampoo solido in termini di durata. Questa differenza comporta una serie di effetti a catena, in particolare sugli impatti ambientali durante la fase di utilizzo, dove per il risciacquo di uno shampoo liquido sono necessari circa 10-15 litri d'acqua, mentre per uno shampoo solido ne bastano 5-7 litri. Analogamente, nella produzione del packaging, a parità di utilizzi, lo shampoo liquido richiede l'impiego di materiali in quantità tripla rispetto allo shampoo solido.

Capitolo 3. Materiali e Metodi

3.1 Metodologia LCA

Il Life Cycle Assessment (LCA) rappresenta una metodologia oggettiva per valutare i carichi energetici e ambientali associati a un processo o a un'attività produttiva durante l'intero ciclo di vita. Questo metodo considera tutte le fasi del ciclo, dall'estrazione delle materie prime, alla produzione e trasporto fino all'uso, e allo smaltimento finale.

Le prime applicazioni pratiche del LCA risalgono alla fine degli anni Sessanta, quando alcune industrie iniziarono a prestare attenzione ai temi del risparmio delle risorse e della gestione dei rifiuti; tuttavia, la formalizzazione della metodologia avverrà solo negli anni 90 durante il congresso della *Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) a Vermont, in Canada*.

Oggi, l'analisi LCA è ampiamente utilizzata negli studi di impatto ambientale, questa infatti, consente di esaminare tutte le fasi di un processo come elementi interconnessi e interdipendenti al fine individuare le criticità all'interno del ciclo di vita e di determinare le aree in cui è possibile apportare miglioramenti.

Attualmente, la standardizzazione delle procedure di analisi a livello internazionale è garantita da due norme ISO fondamentali:

- UNI EN ISO 14040, che stabilisce i principi generali e la struttura di un LCA;
- UNI EN ISO 14044, che offre linee guida per l'applicazione pratica degli studi LCA.

Proprio la norma ISO 14040 definisce le quattro fasi principali di uno studio LCA, come mostrato in figura 1

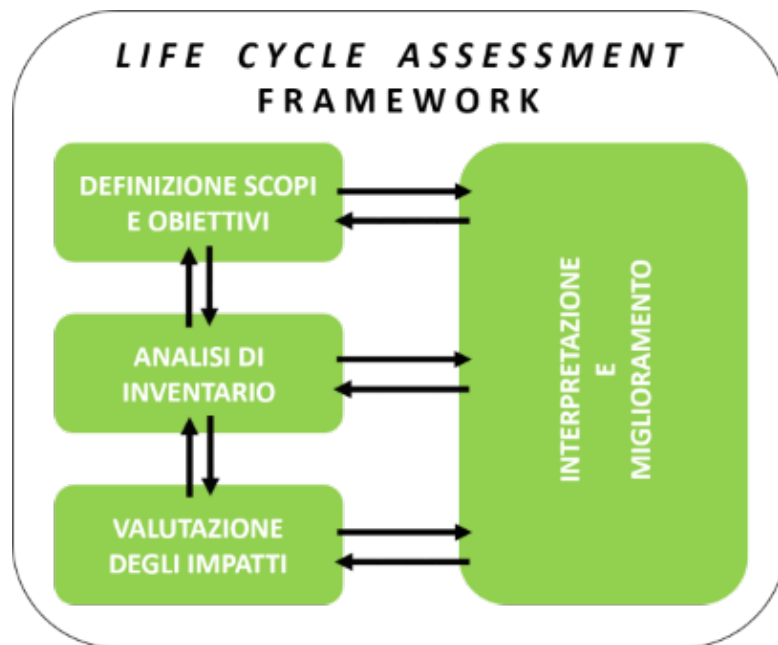


Figura 1 – rappresentazione delle fasi di uno studio LCA

1) Definizione scopi e obiettivi

La prima fase dell'analisi è di carattere preliminare e si concentra sulla definizione dell'obiettivo dello studio, ovvero nella determinazione della tipologia di analisi da condurre, delle motivazioni alla base e dei destinatari a cui essa sarà rivolta.

In questa fase, è necessario specificare gli obiettivi, ovvero definire se lo studio avrà un carattere comparativo tra due prodotti o processi, oppure tra prodotti o processi e uno standard di riferimento, o se invece si tratterà di un'analisi completa di un singolo prodotto o processo finalizzata all'individuazione dei punti deboli su cui intervenire.

E lo scopo, ovvero i fattori da considerare in relazione all'obiettivo prefissato, permettendo così di identificare il campo di applicazione dello studio. Il primo passo consiste nell'identificazione dell'unità funzionale, ovvero il prodotto, il servizio o la funzione su cui si basa l'analisi, che consentirà di normalizzare i dati in ingresso e in uscita, garantendo la comparabilità dei risultati con altre analisi LCA.

Si passa poi alla determinazione dei confini del sistema, ossia l'insieme delle unità di processo incluse nell'analisi e i rispettivi flussi di input e output.

In generale, esistono diversi approcci per definire i confini del sistema:

- *“from cradle to grave”*: include tutte le fasi del processo, dall'approvvigionamento delle materie prime fino allo smaltimento del rifiuto;

- *“from cradle to gate”*: parte dall'approvvigionamento delle materie prime e si arresta alla produzione, escludendo l'uso e lo smaltimento;
- *“from gate to gate”*: include solo le fasi di produzione;
- *“from cradle to cradle”*: analizza un processo in cui lo scarto viene riciclato come nuova materia prima o energia, evitando la produzione effettiva di rifiuti.

Per semplificare la rappresentazione del sistema, si utilizzano diagrammi di flusso che illustrano le singole unità di processo e le loro relazioni (flussi). I confini del sistema vengono quindi rappresentati da un riquadro che racchiude esclusivamente le unità prese in considerazione.

Un altro elemento fondamentale da considerare riguarda le procedure di allocazione. L'allocazione è il processo che permette di suddividere il flusso di ingresso di un processo tra i diversi prodotti in uscita. L'obiettivo dell'LCA è quello di seguire ciascun prodotto attribuendo le rispettive quote di risorse impiegate e inquinanti emessi, evitando sovrapposizioni.

La norma ISO 14044 propone tre modalità per gestire l'allocazione:

1. Evitare l'allocazione, ove possibile, suddividendo l'unità di processo in due o più sub-processi o espandendo i confini del sistema per includere i processi che generano più prodotti.
2. Allocare i flussi d'ingresso e di uscita in base alle proprietà fisiche.
3. Allocare i flussi d'ingresso e di uscita in base al valore economico.

2) Analisi dell'inventario

La seconda fase riguarda la raccolta dei dati relativi ai flussi di ingresso (input) e di uscita (output) del sistema in esame, al fine di ottenere una descrizione quantitativa dettagliata di tutti i flussi di materiali ed energia. I dati raccolti possono essere classificati in tre categorie principali:

- 1) Dati primari, ottenuti direttamente dal produttore o dal gestore del servizio.
- 2) Dati secondari, forniti da banche dati esistenti.
- 3) Dati terziari, reperiti dalla letteratura scientifica.

L'obiettivo di questa fase è produrre una tabella che riporta tutte le emissioni e le risorse utilizzate dall'unità funzionale, considerando anche i contributi energetici, suddivisi in:

- Energia diretta, consumata dal processo in esame.
- Energia indiretta, necessaria per produrre e trasportare l'energia e i materiali utilizzati.
- *Feedstock*, ovvero la quota di energia contenuta nei materiali che possono essere utilizzati come combustibili.

Mentre le emissioni nelle matrici acqua, aria e suolo si suddividono in:

- Emissioni dirette, generate direttamente dal processo considerato.
- Emissioni indirette, risultanti da attività esterne al processo ma a esso correlate.

L'inventario che si otterrà alla fine di questa fase sarà quindi composto di cinque parti principali:

- 1) Confini del sistema: Identificano i flussi di materiali ed energia in ingresso e in uscita.
- 2) Diagramma di flusso: rappresenta le componenti del sistema, suddivise in processi (riquadri) e flussi di materiali (freccie), con lo scopo di individuare i processi e le interazioni con l'ambiente.
- 3) Raccolta dati: Raccolta di dati relativi ai flussi d'ingresso (input) e di uscita (output). I dati di input riguardano materiali, trasporti ed energia, mentre quelli di output si riferiscono a prodotti, emissioni gassose e inquinanti rilasciati in acqua e suolo.
- 4) Allocazione degli impatti: Nei processi industriali, è comune che più prodotti intermedi o di scarto vengano riciclati e utilizzati come materie prime. Nell'ambito dell'LCA, i processi devono essere identificati e trattati con procedure specifiche, garantendo che la somma dei flussi in ingresso sia uguale a quella dei flussi in uscita per ogni unità di processo. Per risolvere i problemi di allocazione, è possibile eliminare l'allocazione suddividendo l'unità di processo in due sottoprocessi o espandendo il sistema per includere funzioni aggiuntive ai co-prodotti. Se l'allocazione non può essere evitata, devono essere utilizzate funzioni fisiche ben definite; in assenza di relazioni fisiche chiare, si può ricorrere ad altre relazioni, come il valore economico dei sottoprodotti.

5) Elaborazione dei dati: In questa fase, i dati raccolti vengono elaborati attraverso software dedicati e trasformati in una tabella degli impatti ambientali. Per questa elaborazione sono necessari due tipi di dati: quelli relativi a ogni processo per la realizzazione di un prodotto o attività, e quelli riguardanti l'impatto ambientale prodotto dal processo stesso.

I risultati vengono presentati in tabelle di inventario che riportano tutti i dati di input e output. Il software più comunemente utilizzato per questi studi è GaBi, sviluppato dall'agenzia di consulenza *PE INTERNATIONAL* e dal dipartimento di ingegneria IKP dell'Università di Stoccarda, che consente di realizzare piani, processi e flussi in conformità con gli standard ISO 14040.

3) Valutazione degli impatti

La terza fase dell'analisi LCA è dedicata alla valutazione degli impatti ambientali e umani che possono derivare dal processo o dall'attività in esame all'interno dei confini del sistema stabiliti. Questo processo di analisi si articola in quattro sottofasi:

a) Classificazione degli impatti

La classificazione degli impatti comporta la scelta delle categorie ambientali in cui raggruppare i potenziali impatti del sistema. Nello specifico, è necessario identificare:

- **Categorie di impatto:** Conformemente alla norma ISO 14040, le categorie di impatto rappresentano specifiche problematiche ambientali, come i cambiamenti climatici, l'eutrofizzazione delle acque e lo smog fotochimico
- **Indicatori di categoria:** Questi indicatori forniscono una quantificazione delle categorie di impatto, secondo quanto prescritto dalla norma ISO 14040. Un esempio potrebbe essere la misurazione dell'impatto in chilogrammi di CO₂ equivalente per la categoria "cambiamenti climatici".

b) Caratterizzazione

Nella fase di caratterizzazione, gli impatti vengono quantificati utilizzando formule standardizzate per ciascuna categoria di impatto. Questo processo implica l'individuazione di una sostanza rappresentativa per una determinata categoria, il cui impatto sarà moltiplicato per i dati raccolti nell'inventario, ottenendo così un fattore di caratterizzazione. Ad esempio, per la categoria "cambiamento climatico", la CO₂ viene utilizzata come riferimento per confrontare tutti gli altri gas serra, producendo come risultato finale un valore espresso in chilogrammi di CO₂ equivalente per ogni fattore considerato.

Il prodotto finale della caratterizzazione è il **profilo ambientale**, che consiste in una serie di punteggi relativi all'impatto ambientale, ottenuti sommando tutti i contributi individuali calcolati per ciascuna categoria di impatto.

c) Normalizzazione e Pesatura

La fase di normalizzazione prevede il confronto dei risultati ottenuti con valori di riferimento derivati da sistemi analoghi. Questi riferimenti sono generalmente basati su dati medi a livello regionale, europeo o mondiale, relativi a un determinato periodo temporale. Tale confronto consente di interpretare meglio i risultati di categorizzazione ottenuti.

Infine, la fase di pesatura consiste nell'attribuire un peso relativo ai diversi impatti, i quali vengono poi sommati per ottenere un valore complessivo. Questo valore fornisce un giudizio sintetico dell'intera valutazione degli impatti, offrendo una visione globale degli effetti ambientali del sistema analizzato.

d) Analisi dei risultati

L'ultima fase prevede l'analisi e l'interpretazione dei risultati ottenuti dall'analisi degli impatti, tale processo, una volta valutata la consistenza delle metodologie e dei risultati, consente di identificare le componenti più fragili del sistema e fare conclusioni, suggerimenti o raccomandazioni

3.2 Software e metodologia

Nel presente studio è stata condotta un'analisi comparativa del ciclo di vita (LCA) tra uno shampoo solido e uno shampoo liquido (entrambi con una composizione media rappresentativa di due prodotti tipo), con particolare attenzione alla Carbon Footprint, misurata attraverso la categoria di impatto Cambiamento climatico e relativo indicatore di categoria (kg CO₂-eq.). L'analisi è stata eseguita considerando un confine "dalla culla alla tomba", includendo le fasi di produzione, utilizzo e fine vita di entrambi i prodotti.

Per la raccolta dei dati e il calcolo degli impatti ambientali, sono stati utilizzati i software GaBi, SimaPro e Sphera, supportati da database come *Ecoinvent* e *GaBi database*. La metodologia segue le linee guida ISO 14040 e ISO 14044 per le analisi LCA, con l'implementazione dello standard ISO 14067 per la quantificazione della Carbon Footprint.

Capitolo 4. Studio LCA

Lo studio di *Life Cycle Assessment (LCA)* presentato in questa tesi si focalizza sul confronto dell'impatto ambientale tra due tipologie di shampoo: solido e liquido. L'analisi è strutturata in diverse fasi, a partire da una fase preliminare in cui viene definito l'obiettivo specifico della valutazione.

L'obiettivo è condurre una valutazione completa del ciclo di vita dei prodotti in esame, includendo tutte le fasi, dalla produzione delle materie prime fino allo smaltimento a fine vita. L'analisi è stata progettata in modo comparativo, con l'intento di confrontare uno shampoo solido con uno shampoo liquido, al fine di valutare l'effettiva efficacia delle alternative sostenibili. In particolare, lo scopo è determinare se lo shampoo solido rappresenta una soluzione ambientalmente più vantaggiosa rispetto allo shampoo liquido o se il suo presunto beneficio ecologico è parte di una pratica di *greenwashing*, ossia una promozione ingannevole delle sue credenziali ecologiche.

Dal punto di vista geografico, lo studio è stato condotto in riferimento al contesto italiano, considerando che il prodotto viene fabbricato, distribuito, utilizzato e smaltito all'interno del territorio nazionale. Temporalmente, l'analisi è stata svolta nel 2024 utilizzando i dati più aggiornati e pertinenti disponibili per garantire un'accurata rappresentazione dei processi produttivi e del loro impatto ambientale.

4.1 Confini del sistema e unità funzionale

Seguendo le disposizioni dello standard ISO14040 e tenendo conto della domanda di risorse e delle emissioni prodotte mediamente dai prodotti della categoria, è stato applicato un approccio “*Cradle-to-grave*”, includendo nei confini del sistema, l'intero ciclo di vita, dalla produzione degli ingredienti al fine vita, suddiviso in 3 fasi:

- 1) **Upstream** -> Produzione degli ingredienti (per prodotto e packaging)
- 2) **Manufacturing** -> Produzione, distribuzione e uso dello shampoo
- 3) **Downstream** -> Fine vita (per prodotto e packaging)

Tali confini del sistema possono essere rappresentati graficamente in figura 2, riportata di seguito:

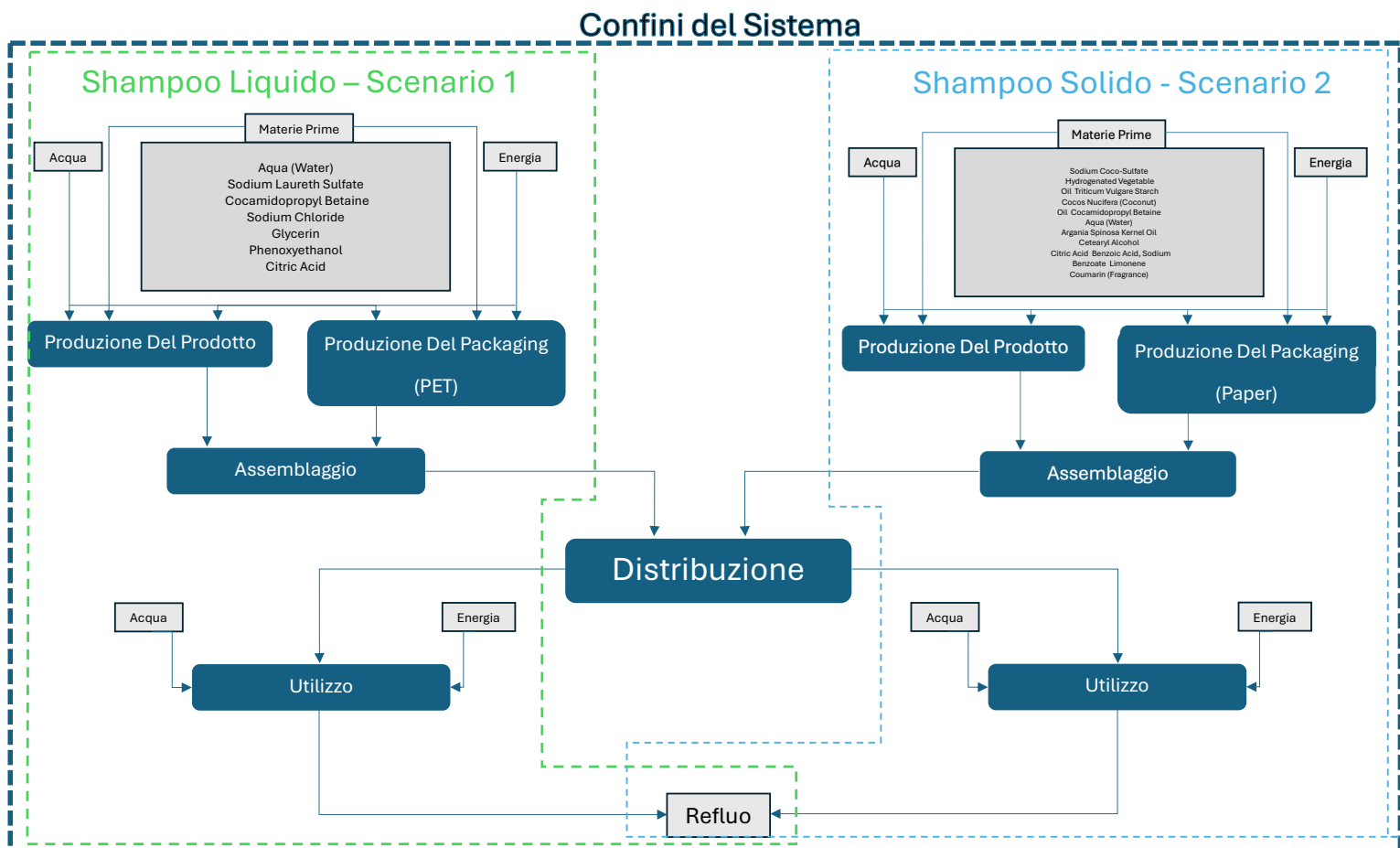


Figura 2 – Confini Del Sistema

L'unità funzionale è stata invece individuata seguendo le Regole di Categoria dell'Impronta Ambientale di Prodotto (PEFCR) che hanno identificato l'unità funzionale come "un lavaggio dei capelli eseguito in Europa (EU 28) su capelli di lunghezza media", con un flusso di riferimento per lo shampoo liquido di 10,46 g di prodotto per lavaggio, mentre per lo shampoo solido di 2,01g di prodotto per lavaggio

Inoltre, al fine di condurre l'analisi sono state fatte alcune assunzioni:

- 1) Non si sono considerate le emissioni legate al processo di produzione, in quanto i processi di trasformazione effettuati per la produzione di shampoo risultano essere prevalentemente miscele effettuate a temperatura ambiente, con un impatto sulle emissioni trascurabile ai fini dell'analisi
- 2) Non è stata inclusa la fase di trasporto in quanto si assume che entrambi gli shampoo siano stati prodotti nello stesso stabilimento e venduti nello stesso negozio, consentendo di escludere la fase di trasporto senza inficiare la veridicità dell'analisi
- 3) Per la valutazione dell'impatto energetico è stato considerato un mix energetico italiano, composto prevalentemente da gas naturale, idroelettrico, solare e carbone
- 4) È stata considerata per entrambe le tipologie una composizione rappresentativa ottenuta selezionando ingredienti comuni a vari marchi di shampoo in commercio

4.2 Analisi dell'inventario (LCI)

L'analisi dell'inventario (LCI) rappresenta una fase fondamentale di un'analisi LCA, questa consente infatti di mappare in modo sistematico e dettagliato tutti i flussi di materia, energia e risorse associati alle diverse fasi di vita di un prodotto. In particolare, questa fase quantifica i flussi di input e output in ciascuna fase del ciclo di vita, all'interno del sistema identificato.

L'analisi si concentra su quattro macrocategorie di dati: consumo di risorse materiali, impiego di energia, utilizzo di acqua e generazione di emissioni/rifiuti.

Questi dati provengono generalmente da diverse fonti; i dati primari sono raccolti direttamente dai processi industriali specifici relativi al processo di produzione, come ad esempio la quantità di energia consumata durante la miscelazione delle sostanze attive o il consumo di acqua nei processi di produzione.

Questi dati sono i più rilevanti poiché riflettono le condizioni specifiche del processo industriale. Tuttavia, spesso non è possibile ottenere dati per ogni fase della filiera produttiva e, per coprire queste lacune, si ricorre a dati secondari, raccolti da banche dati LCA, come Ecoinvent o GaBi, che forniscono informazioni su processi industriali standardizzati. In alcuni casi, è necessario fare riferimento anche a dati terziari, ovvero quelli derivanti stimati a partire da calcoli stechiometrici, studi di letteratura o altre fonti di informazione scientifica, al fine di ottenere informazioni su aspetti difficili da misurare direttamente.

Nella raccolta di queste informazioni, un aspetto cruciale da considerare, riguarda la garanzia della qualità delle informazioni. I dati raccolti devono infatti soddisfare criteri di accuratezza, rappresentatività e coerenza.

- L'accuratezza si riferisce alla capacità di ottenere dati che siano il più possibile precisi e aderenti alla realtà dei processi analizzati.
- La rappresentatività implica che i dati siano riferiti a condizioni e contesti che rispecchiano la situazione specifica oggetto di studio (ad esempio, la produzione di shampoo in una determinata regione o in un certo arco temporale).
- La coerenza riguarda la necessità che i dati siano compatibili tra loro, sia in termini di formato che di assunzioni metodologiche, per evitare incongruenze che potrebbero compromettere l'interpretazione dei risultati.

L'importanza di questa fase deriva proprio dal fatto che una scorretta definizione dei flussi di input-output o una scarsa accuratezza dei dati raccolti, influisce direttamente sulla solidità delle successive fasi dell'analisi LCA, come la valutazione dell'impatto ambientale e l'interpretazione dei risultati, con la possibilità di incorrere in fenomeni di sovrastima o sottostima di determinati impatti, compromettendo così la validità dell'intera analisi.

Operativamente, nel contesto di questa analisi, il primo passo nella fase LCI, sarà quello di stabilire una struttura di flussi in ingresso e in uscita rappresentativa del sistema identificato, al fine di creare una struttura base standard, al quale riferire i dati rappresentativi delle alternative di processo da confrontare.

Per identificare in maniera rappresentativa una struttura generale delle fasi e dei flussi in ingresso caratteristici del ciclo di vita di uno shampoo, andranno considerate le diverse fasi che lo compongono, riportate nella tabella 3 di seguito:

Tabella 3 – Struttura generale delle fasi e dei flussi di ingresso del ciclo di vita di uno shampoo

Fase	Flussi in Ingresso
Produzione degli Ingredienti	- Materie prime - Acqua (Processi di produzione)
Produzione del Packaging	- Materie prime - Energia
Produzione dello Shampoo	- Ingredienti - Acqua
Fase d'Uso	- Acqua per l'uso del prodotto - Energia per il riscaldamento dell'acqua
Fine Vita del Prodotto e del Packaging	- Energia

Per la prima fase, sarà fondamentale identificare e quantificare le materie prime tipicamente presenti nella quantità di shampoo liquidi consumata ad ogni lavaggio. A tal fine, è stata analizzata la composizione di tre tra i più noti shampoo disponibili sul mercato, con l'obiettivo di ottenere una formulazione media rappresentativa, come visibile di seguito



Figura 3 – composizioni di alcuni tra gli shampoo liquidi più comuni

A questo punto, facendo riferimento alla pubblicazione di Xie et al. (2023), sono state determinate le percentuali relative di ciascun componente all'interno della formulazione, come riportato in tabella 4.

Tabella 4 – percentuali relative a ciascun componente all'interno della formulazione

Ingrediente	Percentuale Media (%)	Min (%)	Max (%)	Deviazione Standard
Aqua (Water)	60-80%	60%	80%	10.0%
Sodium Laureth Sulfate	10-15%	10%	15%	2.5%
Cocamidopropyl Betaine	5-10%	5%	10%	2.5%
Sodium Chloride	2-5%	2%	5%	1.5%
Dimethicone	1-2%	1%	2%	0.5%
Glycerin	0.5-1%	0.5%	1%	0.25%
Phenoxyethanol	0.05-0.5%	0.05%	0.5%	0.225%
Parfum (Fragrance)	<1%	0%	1%	0.5%
Citric Acid	0.1-0.5%	0.1%	0.5%	0.2%
Sodium Benzoate	0.05-0.5%	0.05%	0.5%	0.225%

Quindi, rapportando le percentuali in composizione ottenute all'unità funzionale definita dalle PEFCR (*Product Environmental Footprint Category Rules*), ossia "un lavaggio dei capelli eseguito in Europa (EU 28) su capelli di lunghezza media", che per lo shampoo liquido corrisponde a un flusso di riferimento di 10,46 grammi di prodotto per lavaggio, è possibile determinare i quantitativi specifici di ciascun ingrediente presenti nel flusso di riferimento, come riportato nella tabella n.5

Tabella 5 – quantitativi all'interno del flusso di riferimento

Ingrediente	Peso (g)
Aqua (Water)	7,322 g
Sodium Laureth Sulfate	1,308 g
Cocamidopropyl Betaine	0,785 g
Sodium Chloride	0,366 g
Dimethicone	0,157 g
Glycerin	0,078 g
Phenoxyethanol	0,029 g
Parfum (Fragrance)	0,052 g
Citric Acid	0,031 g
Sodium Benzoate	0,029 g

Lo stesso procedimento è stato applicato anche agli shampoo solidi, utilizzando come riferimento il documento di *European Patent Specification* per ottenere la composizione percentuale. Successivamente, le percentuali in composizione sono state rapportate all'unità funzionale definita dalle PEFCR (*Product Environmental Footprint Category Rules*), ovvero "un lavaggio dei capelli eseguito in Europa (EU 28) su capelli di lunghezza media", che per lo shampoo solido corrisponde a un flusso di riferimento di 2,01 grammi per lavaggio, considerando che il rapporto di efficienza tra shampoo solido e liquido è di circa 1:5, si ottiene che in un'unità funzionale di shampoo solido sono presenti i seguenti quantitativi per ciascun ingrediente, come riportato nella tabella 6

Tabella 6 – quantitativi all'interno del flusso di riferimento per lo shampoo solido

Ingrediente	Peso (g)
Sodium Coco-Sulfate	1,08 g
Hydrogenated Vegetable Oil	0,16 g
Triticum Vulgare Starch	0,16 g
Cocos Nucifera (Coconut) Oil	0,16 g
Cocamidopropyl Betaine	0,16 g
Aqua (Water)	0,11 g
Argania Spinosa Kernel Oil	0,06 g
Cetearyl Alcohol	0,08 g
Citric Acid	0,02 g
Benzoic Acid, Sodium Benzoate	0,02 g
Limonene, Coumarin (Fragrance)	0,01 g

A questo vanno sommati i consumi di risorse generati dalla fase di utilizzo, considerando l'acqua utilizzata per lavaggio, stimata da 15L a 30L per lo shampoo liquido e da 10L a 20L per lo shampoo solido (Kröhnert et al) a causa della maggior produzione di schiuma dello shampoo liquido che implica la necessità di un risciacquo mediamente più lungo, come rappresentato in tabella 7

Tabella 7 – consumo idrico generato dalla fase di utilizzo

Consumo di Acqua durante l'utilizzo	Peso (Kg)
Shampoo Liquido	22,5 kg
Shampoo solido	15 kg

E l'energia media utilizzata per riscaldare l'acqua durante la fase di utilizzo, considerando che l'acqua per una doccia viene riscaldata in media da 15°C a 40°C (Kröhnert et al), per i quantitativi sopra indicati, si ottengono i seguenti consumi energetici medi approssimati, riportati in tabella 8

Tabella 8 – consumo energetico generato dalla fase di utilizzo

Consumo di Energia durante l'utilizzo	Consumo (Kw/h)
Shampoo Liquido	0,65 Kw/h
Shampoo solido	0,44 Kw/h

Infine, è stato considerato l'impatto del packaging. Per farlo, anche in questo caso sono stati analizzati i packaging dei principali produttori di shampoo solido e liquido, con l'obiettivo di ottenere una composizione rappresentativa. Dall'analisi è emerso che, per lo shampoo liquido, il *packaging* è generalmente costituito da PET (polietilene tereftalato), con una percentuale media di polimero riciclato pari al 25%. Per lo shampoo solido, invece, il packaging è prevalentemente composto da carta, con una percentuale media di materiale riciclato pari al 65%. Rapportando i materiali analizzati all'unità funzionale individuata, si ottengono i risultati riportati nella Tabella 9.

Tabella 9 – consumi di acqua generato dalla fase di utilizzo

Pakaging	Peso g
Shampoo Liquido - PET	1,05
Shampoo solido - Carte	0,20

I contributi legati alla fase di trasporto non sono stati inclusi nell'analisi, poiché si assume che entrambi gli shampoo siano prodotti nello stesso stabilimento e commercializzati nello stesso punto vendita. Questa assunzione permette di trascurare gli impatti relativi al trasporto, semplificando l'analisi senza compromettere la validità dei risultati.

4.3 Analisi di Impatto

L'analisi di impatto rappresenta il cuore di un'analisi LCA, in cui i flussi di materia, energia e risorse identificati nella fase di inventario vengono tradotti in potenziali impatti ambientali. Questa traduzione avviene grazie all'uso di fattori di caratterizzazione, che permettono di quantificare il contributo di ciascun flusso a specifiche categorie di impatto.

La categoria presa in considerazione è stata quella del cambiamento climatico con la realizzazione di una *carbon footprint*, ovvero un indicatore ambientale che quantifica la quantità totale di emissioni di gas a effetto serra (GHG) associate a un prodotto, un processo o un'organizzazione, lungo l'intero ciclo di vita. Viene espressa in termini di CO₂ equivalente (CO₂e), una misura che converte le emissioni di gas serra (come metano, protossido di azoto, ecc.) nel loro equivalente in anidride carbonica, sulla base del loro potenziale di riscaldamento globale (*Global Warming Potential* - GWP).

L'analisi della *Carbon Footprint* serve a identificare e valutare le fasi più critiche in termini di impatto climatico all'interno del ciclo di vita di un prodotto, permettendo così di implementare strategie di mitigazione e miglioramento.

La fase di calcolo è quindi partita dall'identificazione degli impatti per kg di materia prima o MJ di energia necessari alla produzione e all'uso dei due prodotti considerati all'interno dei confini del sistema, attraverso il supporto di database LCA come Ecoinvert e GaBi

Questi sono quindi stati moltiplicati per le unità fisiche (kg di materie prime, MJ di energia, litri d'acqua) che forniscono informazioni sui flussi in ingresso e in uscita relativi a ciascuna fase del ciclo di vita del prodotto, al fine di ottenere il potenziale di riscaldamento globale (*Global Warming Potential - GWP*) per ciascun flusso individuato. Il risultato per i due scenari identificati, è riportato in tabella 10 di seguito

Tabella 10 – Potenziali di impatto GWP dei due scenari

SCENARIO 1

SHAMPOO LIQUIDO

SCENARIO 2

SHAMPOO SOLIDO

Produzione	Potenziale di impatto
Aqua (Water)	6,70E-07
Sodium Laureth Sulfate	2,09E-03
Cocamidopropyl Betaine	1,28E-03
Sodium Chloride	7,36E-05
Glycerin	3,85E-04
Phenoxyethanol	6,11E-05
Citric Acid	1,33E-04
Pakaging	Potenziale di impatto
PET (rycycled)	8,40E-02
Utilizzo	Potenziale di impatto
Acqua	2,06E-03
Energia	2,55E-01
Refluo	1,35E-02

Produzione	Potenziale di impatto
Sodium Coco-Sulfate	1,47E-03
Hydrogenated Vegetable Oil	6,19E-04
Triticum Vulgare Starch	1,70E-04
Cocos Nucifera (Coconut) Oil	1,53E-04
Cocamidopropyl Betaine	2,61E-04
Aqua (Water)	1,01E-08
Argania Spinosa Kernel Oil	3,53E-04
Cetearyl Alcohol	9,76E-04
Citric Acid	8,60E-05
Benzoic Acid, Sodium Benzoate	4,08E-05
Limonene, Coumarin (Fragrance)	1,29E-05
Pakaging	Potenziale di impatto
Paper	2,07E-04
Utilizzo	Potenziale di impatto
Acqua	1,37E-06
Energia	1,73E-01
Refluo	9,00E-03

Sfruttando i dati ottenuti, è possibile produrre diversi tipi di grafici al fine di contestualizzare e rappresentare graficamente l'impatto prodotto, in figura 5, è rappresentata la Carbon footprint stimata per i due prodotti nelle 3 fasi del ciclo di vita incluse nell'analisi.

L'analisi evidenzia chiaramente, come l'impronta carbonica associata allo shampoo solido sia inferiore rispetto a quella dello shampoo liquido, di circa il 45%. Tale divario è generato dai contributi delle tre fasi del ciclo di vita, che risultano significativamente inferiori per il prodotto solido. In particolare, la fase di utilizzo emerge come la principale responsabile dell'impatto ambientale di entrambi i prodotti, contribuendo per oltre il 90% all'impatto complessivo sul cambiamento climatico. Un discorso diverso riguarda l'impatto del packaging, rappresentato in blu nel grafico, che, pur avendo un contributo relativamente ridotto rispetto alla carbon footprint complessiva, risulta sensibilmente più elevato per lo shampoo liquido rispetto alla sua controparte solida.

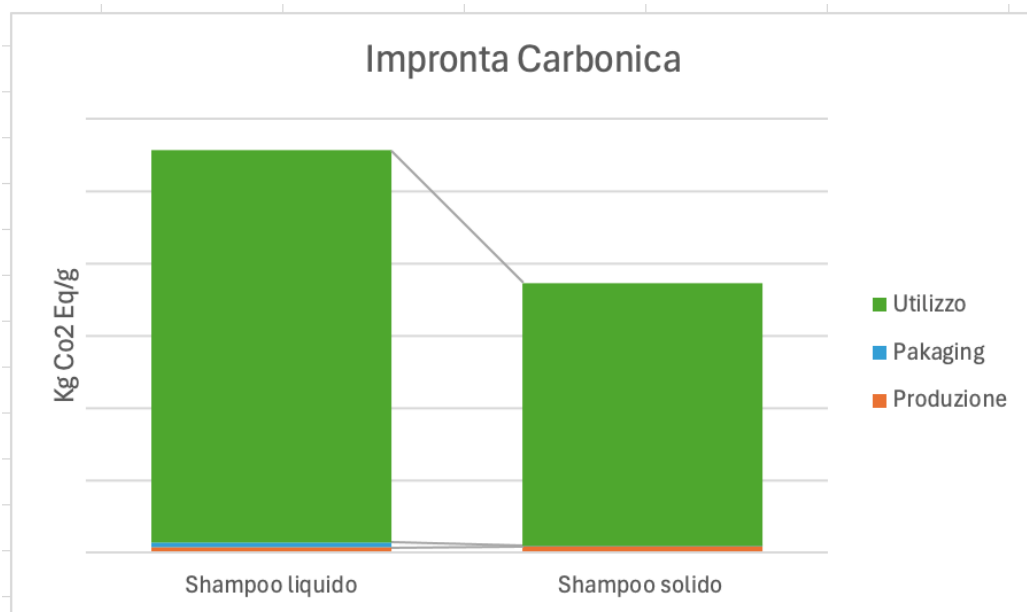


Figura 5 - Impronta carbonica complessiva dei due prodotti

Alla luce di queste considerazioni, le diverse fasi del ciclo di vita sono state esaminate singolarmente per meglio identificare le differenze.

In Figura 6 viene presentato il dettaglio relativo all'impronta carbonica delle fasi di produzione, che include gli impatti associati alle materie prime impiegate. È rilevante sottolineare che, come specificato nelle assunzioni metodologiche, l'analisi non ha considerato i consumi di risorse energetiche e idriche durante la fase produttiva, poiché il processo di produzione, essendo basato su una miscelazione a temperatura ambiente, comporta un consumo d'acqua trascurabile. L'attenzione è stata quindi rivolta ai processi di produzione degli ingredienti utilizzati nella formulazione del prodotto, con l'obiettivo di isolare e valutare il loro contributo specifico all'impronta ambientale complessiva.

Analizzando più nel dettaglio il processo produttivo, sebbene questo nell'impronta carbonica complessiva, non pesasse in maniera significativa sull'impronta carbonica tra le due tipologie di shampoo, emerge una differenza significativa. La fase di produzione dello shampoo solido, infatti, presenta un impatto ambientale superiore di circa il 3 volte rispetto a quello liquido.

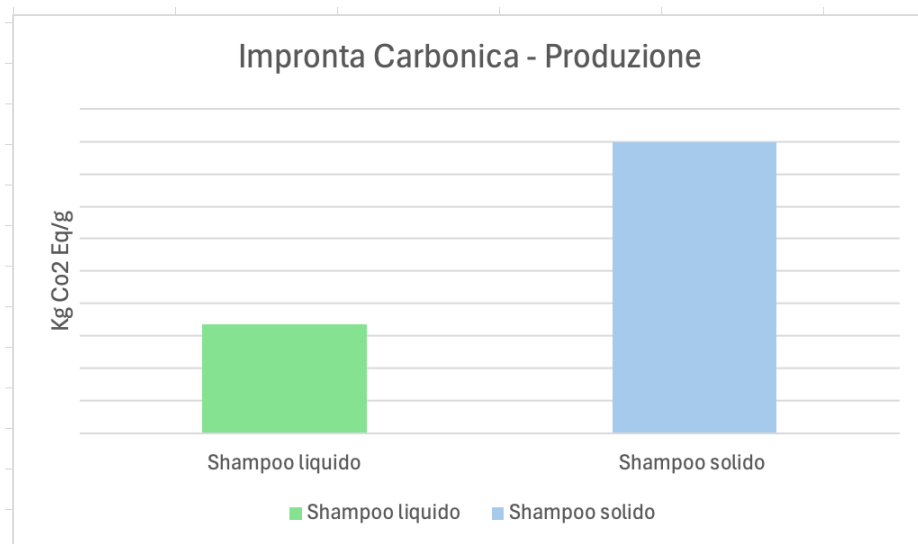


Figura 6 – impronta carbonica generata dalla produzione - *Carbon footprint produzione* (kg CO2 eq. /lavaggio)

Tale risultato è riconducibile alla differente composizione dei prodotti: lo shampoo liquido contiene una quantità significativa di acqua (60%), mentre gli ingredienti del prodotto solido sono più concentrati. Come illustrato nella Figura 6.1, infatti, l'impatto ambientale delle due formulazioni, escludendo il contributo dell'acqua, risulta essere abbastanza confrontabile. In entrambi i casi, le componenti più impattanti, responsabili di oltre il 50% dell'impronta carbonica della fase di produzione, sono i solfati utilizzati come tensioattivi (SLES per lo shampoo liquido e *Sodium Coco-Sulfate* per quello solido). Inoltre, per lo shampoo solido, l'impatto ambientale è leggermente superiore anche a causa della presenza di addensanti necessari per ottenere la struttura solida del prodotto. Tra questi, *l'Hydrogenated Vegetable Oil* e altri oli rappresentano una quota significativa, contribuendo per oltre il 40% al peso totale degli ingredienti, e influenzando ulteriormente l'impatto complessivo sulla carbon footprint della fase produttiva.



Figura 6.1 – impatto sull'impronta carbonica dei singoli ingredienti

In Figura 7 è illustrato il dettaglio relativo alle fasi di utilizzo, in cui vengono presi in considerazione gli impatti derivanti dal consumo di acqua, energia e la produzione di reflui. In questa fase, l'impatto generato dallo shampoo liquido risulta essere maggiore rispetto alla versione solida di circa il 35%.

Questo risultato potrebbe essere attribuito al fatto che lo shampoo liquido, come precedentemente discusso, tende a produrre una quantità maggiore di schiuma, richiedendo quindi un risciacquo più prolungato. Tale circostanza comporta un consumo più elevato di acqua e di energia, quest'ultima necessaria per riscaldare l'acqua impiegata durante l'utilizzo.

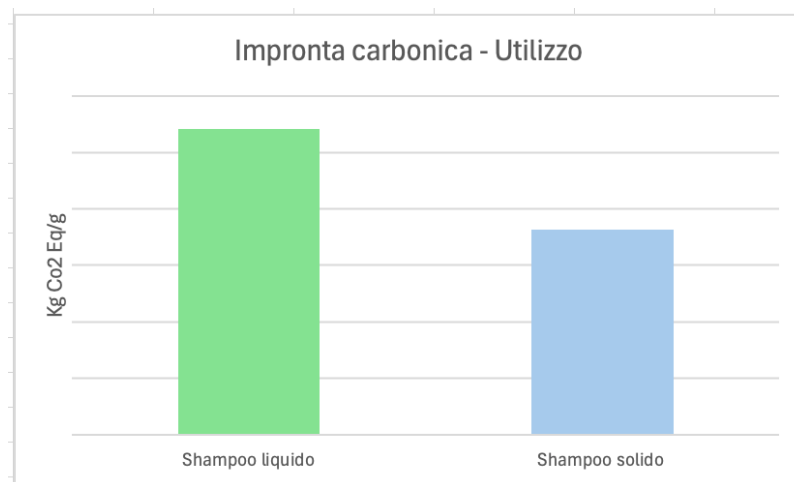


Figura 7 – impronta carbonica generata dall'utilizzo- *Carbon footprint utilizzo* (kg CO2 eq. /lavaggio)

Infatti, analizzando singolarmente i diversi contributi, come illustrato in Figura 7.1, si osserva che l'impatto dell'energia elettrica, utilizzata per riscaldare l'acqua, è responsabile di oltre il 90% dell'impatto complessivo della fase di utilizzo. Il contributo rimanente, pari a circa il 5%, è attribuibile ai reflui generati durante il processo di lavaggio.

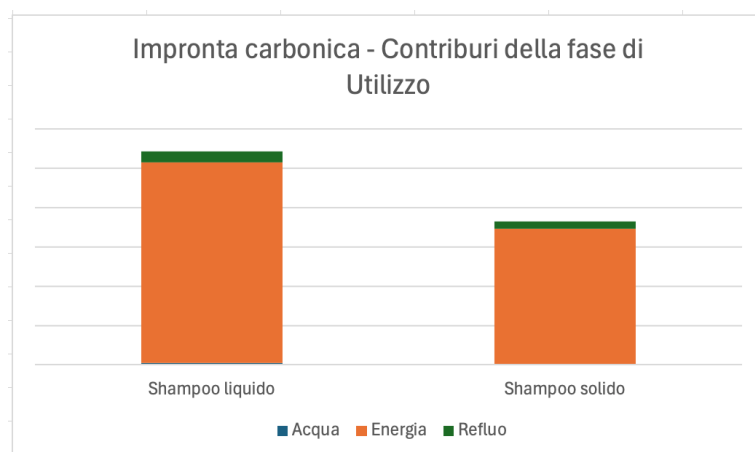


Figura 7.1 – singoli contributi all'impronta carbonica durante la fase di utilizzo (kg CO2 eq. /lavaggio)

Infine, in Figura 8 è illustrato il dettaglio delle fasi di produzione del packaging, in cui sono stati considerati gli impatti ambientali associati alle materie prime impiegate, ovvero PET per lo shampoo liquido e carta riciclata per quello solido.

In questa fase, il contenitore in PET dello shampoo liquido, nonostante contenga una percentuale significativa di polimero riciclato (dal 10 al 60%), genera un potenziale di impatto nettamente superiore rispetto al packaging dello shampoo solido. Il packaging in carta riciclata, infatti, rappresenta solo circa il 15% dell'impatto complessivo rispetto al packaging in PET

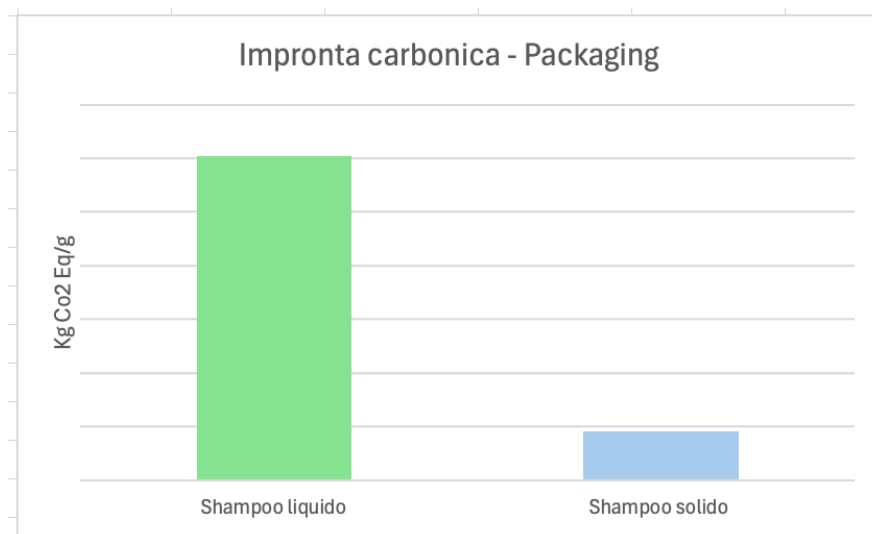


Figura 8 – impronta carbonica generata dal packaging - *Carbon footprint packaging* (kg CO2 eq. /lavaggio)

Oltre all'impronta carbonica derivante dai materiali stessi, è importante sottolineare che questo risultato è influenzato anche dal maggior peso specifico del PET rispetto alla carta. Questo fattore contribuisce a rendere il *packaging* in PET una componente più rilevante dell'impatto complessivo all'interno dell'unità funzionale considerata, aumentando il suo peso relativo rispetto alle alternative di imballaggio più leggere, come la carta.

4.4 Considerazioni e Possibilità di miglioramento

Dai risultati ottenuti, emerge chiaramente che la valutazione della sola fase di produzione non è sufficiente per determinare la sostenibilità ambientale complessiva di un prodotto. Sebbene lo shampoo solido mostri un impatto superiore durante la fase produttiva, la sua performance ambientale risulta complessivamente migliore nel ciclo di vita grazie alla fase di utilizzo. Lo shampoo liquido, infatti, comporta un maggiore consumo di acqua e di energia, dovuto alla maggiore produzione di schiuma, che richiede un risciacquo più prolungato.

Sebbene meno influente sull'impronta complessiva rispetto alla fase di utilizzo, anche l'aspetto del packaging ha mostrato risultati significativi. Il *packaging* dello shampoo solido, realizzato in carta riciclata, risulta molto più sostenibile rispetto al tradizionale flacone in PET dello shampoo liquido. Tuttavia, mantenendo l'opzione dello shampoo liquido, è possibile esplorare e sviluppare diverse strategie di miglioramento per il contenitore del prodotto.

Attualmente, non sono state individuate composizioni alternative al PET che garantiscano prestazioni superiori in termini di sicurezza, igiene e sostenibilità ambientale per i flaconi contenenti shampoo liquido. Tuttavia, un approccio innovativo al packaging potrebbe essere di tipo trasversale, andando oltre il semplice miglioramento del materiale.

Un'opzione sempre più diffusa è rappresentata dalle soluzioni di refill per gli shampoo liquidi, che offrono una riduzione significativa dell'impatto ambientale legato al packaging. Questo approccio riduce la quantità di materiale d'imballaggio per unità funzionale, abbattendo il contributo del packaging all'impatto ambientale complessivo.

Infatti, in un flacone standard di shampoo, il rapporto tra il peso del prodotto e quello della confezione è mediamente pari al 1040%, ossia 260 g di shampoo vengono contenuti in una confezione di 25-30 g.

Adottando un sistema di refill con una confezione da 1 litro, che pesa mediamente 50 g, e considerando il riutilizzo della confezione originale acquistata inizialmente, il rapporto peso prodotto/confezione salirebbe a circa 1600% (il peso del prodotto diventa circa 16 volte quello della confezione). Questo si tradurrebbe in una riduzione dell'impatto del packaging di circa il 40% rispetto al valore attuale.

Come evidenziato nel grafico riportato in Figura 10, l'impatto prodotto dal packaging nell'alternativa con refill è notevolmente ridotto. Tuttavia, questo non comporta una riduzione significativa dell'impronta carbonica complessiva. Di conseguenza, tale miglioramento, sebbene presente, non riesce a raggiungere i vantaggi offerti dalla controparte solida.

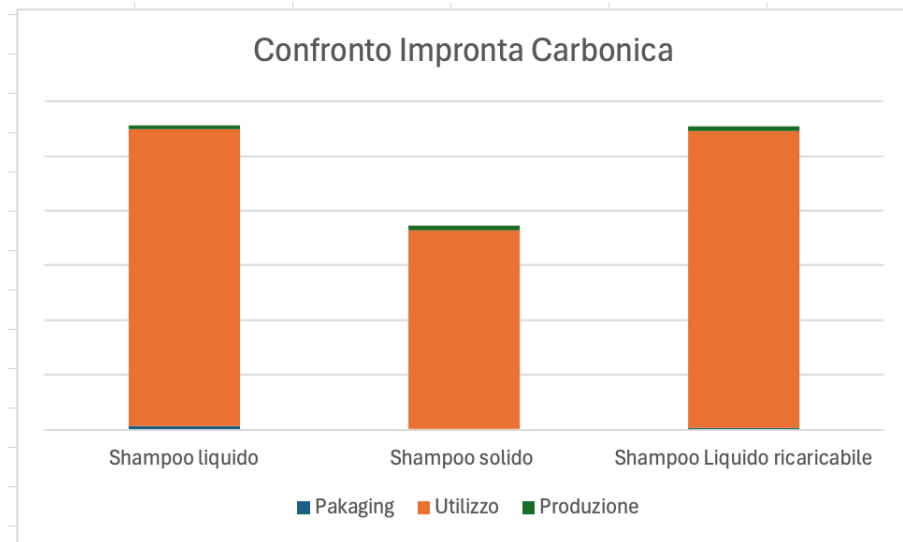


Figura 10 – valutazione dell'impronta carbonica generata dal packaging considerando anche l'opzione di refill *Carbon footprint packaging* (kg CO2 eq./lavaggio)

4.5 Sostenibilità e mercato degli shampoo

Il presente studio ha evidenziato il reale potenziale beneficio derivante dalla sostituzione dei prodotti liquidi con quelli solidi.

Tuttavia, la situazione reale è ancora lontana da un contesto ideale. Analizzando i dati di mercato riferiti al 2023, come riportato in figura 11 e confermato dall'articolo di *Growth Market Reports* (Patel et al., 2024), si osserva un forte squilibrio tra le vendite di shampoo liquidi e solidi. Nel 2023, il mercato globale degli shampoo liquidi ha raggiunto un valore di circa 34-35 miliardi di dollari, con una crescita annuale media del 4%. Al contrario, sebbene gli shampoo solidi stiano registrando un tasso di crescita più elevato, pari al 5,5%, il loro valore di mercato è ancora significativamente inferiore, attestandosi a 17 miliardi di dollari. Questi dati sottolineano come, nonostante i vantaggi ambientali degli shampoo solidi, la loro diffusione e adozione su larga scala sia ancora limitata rispetto alle alternative liquide.

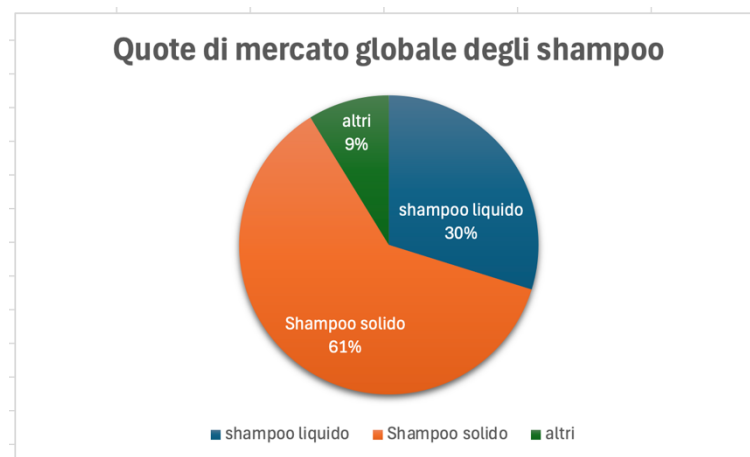


Figura 11 – Quote di mercato globale degli shampoo

Capitolo 5. Conclusioni

La crescente attenzione della Commissione Europea alla problematica del *greenwashing*, come evidenziato dalla recente adozione di una normativa volta a contrastare le pratiche commerciali ingannevoli riguardanti la sostenibilità dei prodotti (comunicato del Parlamento Europeo, 2024), l'uso di strumenti scientifici che garantiscano trasparenza e accuratezza nelle dichiarazioni ambientali risulta fondamentale. In questo contesto, l'analisi del ciclo di vita (LCA) si conferma un metodo essenziale, infatti grazie alla sua oggettività, ripetibilità e capacità di fornire risultati confrontabili, l'LCA permette di valutare con precisione l'impatto ambientale dei prodotti, superando il semplice marketing e fornendo una base scientifica per le dichiarazioni di sostenibilità.

I risultati ottenuti hanno confermato che lo shampoo solido produce un impatto ambientale ridotto rispetto alla controparte liquida di circa il 40%, in particolare per quanto riguarda l'impronta carbonica, grazie alla combinazione di un packaging più sostenibile, un minore consumo di acqua e una ridotta necessità energetica nella fase di utilizzo, inoltre, i dati ottenuti hanno anche contribuito a identificare eventuali possibilità di miglioramento per ridurre l'impatto prodotto anche dallo shampoo liquido.

Quest'analisi ha dimostrato quindi, fornendo evidenze scientifiche, che l'adozione di shampoo solidi non solo rappresenta una scelta ecologica vantaggiosa, ma considerati i volumi del settore, potrebbe rivelarsi un'alternativa in grado di contribuire in modo significativo alla riduzione cambiamento climatico, implicando una significativa riduzione del rilascio di gas serra in atmosfera.

Tuttavia, nonostante l'evidenza scientifica a favore dello shampoo solido, i dati di mercato mostrano come questa innovazione non abbia ancora raggiunto una diffusione su larga scala. Le vendite di shampoo solidi, seppur in crescita, sono ancora notevolmente inferiori rispetto a quelle degli shampoo liquidi, questo squilibrio evidenzia la necessità di un approccio integrato che non si limiti alla sola innovazione di prodotto, ma che includa anche strategie di comunicazione, marketing e sensibilizzazione adeguate

Affinché l'impatto positivo atteso dalla diffusione dello shampoo solido possa concretizzarsi, è fondamentale che i consumatori siano informati e sensibilizzati sui vantaggi ambientali e pratici di questa alternativa, sfruttando il marketing per giocare un ruolo chiave nel superare la resistenza al cambiamento e incentivare l'adozione di queste soluzioni, puntando su strategie di engagement che facciano leva non solo sull'aspetto ecologico, ma anche sull'esperienza d'uso e la qualità del prodotto.

In conclusione, l'innovazione rappresentata dallo shampoo solido offre un'importante opportunità per ridurre l'impatto ambientale del settore cosmetico. Tuttavia, senza un incremento significativo nei volumi di vendita, questa differenza rischia di non tradursi nell'impatto sperato. Solo un'azione congiunta tra innovazione tecnologica, comunicazione efficace e politiche di sensibilizzazione potrà garantire il successo e la diffusione capillare di questa soluzione sostenibile.

Referenze

- Bom, S., Jorge, J., Ribeiro, H.M., Marto, J. - A step forward on sustainability in the cosmetics industry: A review
- Comunicato del parlamento europeo - Il PE adotta una nuova legge contro greenwashing e informazioni ingannevoli
- Euromonitor International. (2023). World Market for Beauty and Personal Care
- Golsteijn, L., Lessard, L., Champion, J.-F., Capelli, A. - Developing Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) for Shampoos: The Basis for Comparable Life Cycle Assessments
- Kröhnert, A., Stucki, M. (2021) - Life Cycle Assessment of a Plant-Based, Regionally Marketed Shampoo and Analysis of Refill Options
- L'Oréal - Product Environmental & Social Impact Labelling Methodologies

- MIT (2014) - Predicting the future of global water stress
- Rocca, R., Acerbi, F., Fumagalli, L., Taisch, M. - Sustainability paradigm in the cosmetics industry: State of the art
- Rocca, R., Acerbi, F., Fumagalli, L. - Development of an LCA-based tool to assess the environmental sustainability level of cosmetics products
- Silva-diaz, M., Cruz, E. - Environmental Risk Assessment of Personal Care Products
- Xie, J. (2023) - A Comprehensive Guide to Shampoo Ingredients: Understanding the Role of Each Component in Formulation
- Young, O. (2022) - The Environmental Impact of Cosmetics Is Tremendous
- European Patent Specification - Solid shampoo composition