

# IL LIFE CYCLE THINKING COME STRUMENTO DI SUPPORTO VERSO LA BIOECONOMIA CIRCOLARE: UN CASO STUDIO NELL'INDUSTRIA COSMETICA

Francesca Rosa<sup>1</sup>, Serena Errante<sup>2</sup>, Federica Carlomagno<sup>2</sup>, Giacomo Magatti<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Centro di Ricerca Polaris, Dip. di Scienze dell'Ambiente e della Terra, Università degli Studi di Milano-Bicocca, Milano.

<sup>2</sup> Roelmi HPC s.r.l., Origgio (VA).

**Sommario** – La bioeconomia è un comparto in grande crescita (solo in Italia rappresenta il 10,1 % del Pil) i cui componenti fondamentali derivano da risorse biologiche rinnovabili. Il comparto ha l'obiettivo di sviluppare modelli di economia circolare, valorizzando o dando nuova vita a sottoprodotti o rifiuti organici di altre produzioni attraverso la chiusura del ciclo e il recupero di materia. In questo contesto, il Life Cycle Assessment è uno strumento appropriato per verificare soluzioni di circolarità, in quanto presunti ingredienti «eco-compatibili» potrebbero determinare profili ambientali non sostenibili se valutati nell'intero ciclo di vita. È così possibile identificare gli impatti e dove poter agire per ridurli, considerando tutti gli aspetti: linee di produzione, logistica, packaging, distribuzione, ecc. Il caso studio presentato è nell'ambito dell'industria cosmetica, che ha necessità di adottare un approccio Life Cycle Thinking per ridurre gli impatti ambientali dei propri prodotti e rispondere alle aspettative dei consumatori in termini di ingredienti naturali e sostenibili. La valutazione riguarda le Cytofruit® Waters, sottoprodotto del succo di agrumi concentrato, utilizzate in prodotti per la cura della pelle. L'acqua contenuta nella frutta, solitamente scartata nella fase di concentrazione del succo, è recuperata, purificata e utilizzata in cosmesi. Lo studio analizza le prestazioni energetico-ambientali del ciclo di vita di questo prodotto: raccolta e purificazione dell'acqua dalla concentrazione del succo; trasporto al sito di confezionamento; repackaging; spedizione ai clienti. I risultati mostrano come gli impatti derivino principalmente da packaging (materiali plastici vergini), logistica (trasporto da produttore del succo al confezionamento e spedizione ai clienti) e consumi di energia presso il produttore del succo. LCA è stata utilizzata per ipotizzare uno scenario migliorativo, tramite l'accorciamento della filiera e l'eliminazione di una quota dei contenitori plastici.

**Parole chiave:** Life Cycle Assessment, economia circolare, sottoprodotto, cosmesi, gestione filiera.

## LIFE CYCLE THINKING AS A SUPPORT TOOL FOR THE CIRCULAR BIOECONOMY: A CASE STUDY IN THE COSMETICS INDUSTRY

**Abstract** – The *bioeconomy* can be defined as an economic model where the fundamental components for

materials, chemicals and energy derive from renewable resources. The goal is a sustainable production and an efficient use of resources. The bioeconomy is a strategic sector for Italy as it is worth 10.1% of GDP, with a great growth potential especially in the southern regions. The bioeconomy becomes *circular economy* when it enhances the by-products of other production or organic waste by giving them a new life. Today the transition from a linear model to a circular model is needed to replace fossil and abiotic materials. However, a sustainable use of biotic resources is not based only on their renewability, but it takes into account the relevant supply chains and defines a model for assessing the environmental impact of the production process in a solid and complete way. The appropriate assessment methodology for this approach is LCA. In the cosmetics industry, improving and promoting eco-innovation solutions requires effective methods to assess the environmental impacts of products and reduces the shift of burdens between life cycle phases and impact categories. Overall, an ingredient deemed “*environmental friendly*” (as a natural by-product) could cause worse environmental impacts if assessed in a cradle to grave or cradle to gate perspective. For this reason, it is necessary to use the Life Cycle Thinking approach to ensure that green chemistry options respond to the need to reduce environmental impact in global terms. Therefore, the LCA methodology is a suitable tool for assessing the real sustainability of a supply chain. LCA can highlight the main impacts and identify where they can be reduced, considering all aspects of the life cycle: production lines, logistics, packaging, distribution, etc. The case study in question concerns the production of a line of functional ingredients, the Cytofruit® Waters, developed by Roelmi HPC s.r.l., a B2B company specialized in health and personal care. This product is obtained from a by-product of concentrated fruit juice production. Cytofruit® Waters are active organic waters enriched with trace elements. They are used in skin and body care products for their property of protecting skin cells from environmental stresses. In particular, the water naturally contained in the fruit, which would be lost during the phase of juice concentration, is collected, purified and made available for cosmetics in place of the drinking water used in the finished products. In this study, the LCA methodology was applied to the energy-environmental performance of the production of this natural water line. In summary, the life cycle provides for the collection of water deriving from the processing chain of concentrated citrus juice; purification by micro- and ultra-filtration; transportation to

\* Per contatti: e-mail [giacomo.magatti@unimib.it](mailto:giacomo.magatti@unimib.it), Piazza della Scienza 1, 20126 Milano.

the packaging site; shipping to customers. The LCA assessment shows various ideas and critical issues along the supply chain. Most relevant impacts come from packaging (use of virgin plastic materials), logistics (transport from the juice production plant to the company headquarters and distribution to customers) and energy consumption for the production of aromatic waters in the juice production plant. Although there is an enhancement of a by-product that replaces the use of drinking water, the production chain still uses a lot of it for different operations. LCA applied in this context shows that it is necessary not only to evaluate the flows and the circularity of the main ingredient (the by-product) but also to analyze in detail all the phases of the life cycle to determine the true environmental sustainability of the supply chain. The LCA study was useful for the company to learn more about its supply chain and to assume its environmental responsibility. LCA is strategic to highlight critical issues and improve the supply chain: in this perspective, this preliminary assessment is the basis with which the company can implement sustainability strategies in the various processes. In fact, the study allowed the company to design a new supply chain model that reduces environmental impacts and at the same time costs, reducing packaging and transport phases. Finally, the Life Cycle Thinking approach can also be used as an incisive communication tool for its stakeholders and customers based on a solid scientific methodology.

**Keywords:** *Life Cycle Assessment, circular economy, by-product, cosmetics, supply chain management.*

*Ricevuto il 16-4-2019. Correzioni richieste il 3-5-2019. Accettazione il 12-6-2019.*

## 1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro si inserisce nell'ambito della bioeconomia circolare, che mira a promuovere produzioni sostenibili a partire da un uso efficiente di risorse derivanti anche da altre filiere (scarti di processo, rifiuti).

In particolare, il caso studio prende in esame un ingrediente utilizzato nell'industria cosmetica proveniente dalla lavorazione di una filiera agroalimentare. Lo strumento metodologico adatto a evidenziare gli impatti ambientali dell'intera filiera è l'analisi del ciclo di vita LCA (Life Cycle Assessment), utile a misurare non solo la circolarità dell'elemento principale considerato ma anche a valutare tutti gli input e tutti gli output della catena del valore del prodotto finito.

### 1.1. Bioeconomia ed economia circolare

La disponibilità e l'accesso sicuro alle risorse naturali del pianeta rappresentano la base indispensabile per la vita umana e per il benessere socio-

economico della nostra società. Tuttavia, in un mondo globalizzato in cui si stima una crescita della popolazione che porterà a raggiungere quota 9 miliardi di persone entro il 2050, la crescita continua di domanda e concorrenza relative a risorse limitate mette a rischio la sicurezza nell'approvvigionamento delle risorse stesse, aumentando la pressione e gli effetti sull'ambiente, generando una crisi per la sostenibilità dei modelli esistenti di produzione e consumo (UNDESA, 2015).

L'umanità, tramite le sue attività, ha oltrepassato tre dei nove confini planetari di sicurezza: per il cambiamento climatico, il tasso di perdita di biodiversità e le modifiche al ciclo globale dell'azoto (Rockström, 2009).

Vi è un'evidenza crescente che le attività umane stiano influenzando il funzionamento del sistema Terra in misura tale da minacciarne la resilienza, intesa come la capacità di persistere di fronte a crescenti pressioni antropiche in uno stato simile all'Olocene (Steffen, 2015), epoca in cui il pianeta è stato in equilibrio per più di 11 mila anni e che si sta chiudendo lasciando spazio all'Antropocene, in cui è l'uomo stesso a mutare la storia geologica del pianeta (Cruetzen, 2002).

In tale contesto, molte economie globali hanno bisogno di rivedere radicalmente l'attuale approccio alla produzione e al consumo, migliorando l'efficienza nell'uso delle risorse sia abiotiche che biotiche, al fine di raggiungere obiettivi sfidanti come i Sustainable Development Goals dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite (UN, 2015). È pertanto necessaria la transizione dal modello economico convenzionale fondato sull'utilizzo di materiali fossili verso la bioeconomia, un'economia in cui le componenti fondamentali (materie prime, sostanze chimiche, energia) derivano da risorse biologiche rinnovabili (McCormick, 2013).

Inoltre, in un'ottica di produzione sostenibile ed uso efficiente delle risorse stesse, è fondamentale integrare alla bioeconomia i principi dell'*economia circolare* (D'Amato, 2017).

La bioeconomia diviene circolare quando mira a valorizzare i sottoprodotti o i rifiuti organici di altre produzioni dando loro una nuova vita: questo modello economico, che punta a realizzare attività di "chiusura del cerchio" (closing loop) negli ecosistemi industriali, riducendo al minimo gli sprechi, si contrappone al modello lineare del "make, use, dispose" (EU, 2012). Questo nuovo approccio cambia radicalmente la logica economica perché va a sostituire in parte la produzione: riutilizzare

ciò che è possibile, riciclare ciò che non può essere riutilizzato, riparare ciò che è rotto, rigenerare ciò che non può essere riparato (Stahel, 2016).

Il 5° Rapporto dedicato alla bioeconomia in Europa mostra come in Italia il settore occupi 2 milioni di lavoratori con un valore delle produzioni di 328 miliardi di euro, che rappresentano al 2017 il 10,1 del PIL nazionale, con un peso in discreta crescita sul totale delle attività economiche (rappresentava l'8,8% del PIL nel 2008) (Campanini, 2019).

Il rapporto evidenzia inoltre come ci sia un'elevata specializzazione di settore nelle regioni del sud Italia, con un ampio potenziale di sviluppo. Il caso studio qui presentato riguarda proprio un prodotto derivante da una filiera agroalimentare situata in Calabria.

Altro dato interessante sottolineato nel rapporto è il riciclo di rifiuti biocompatibili che in Italia è del 91%, il valore più alto d'Europa (media 77%).

Naturalmente, è necessario misurare la reale circolarità di un sistema e non è sufficiente valutare esclusivamente il flusso dell'*ingrediente* principale, ma si deve ragionare in un'ottica di *Life Cycle Thinking*: in questo senso il Life Cycle Assessment (LCA) è la metodologia appropriata per analizzare tutti i flussi di input e di output dell'intero ciclo di vita potendo così verificarne la circolarità.

La metodologia LCA può garantire che vi sia un uso sostenibile delle risorse biotiche in quanto risponde alla necessità di tenere conto correttamente del loro uso lungo le catene di approvvigionamento, definendo un solido e completo modello di valutazione dell'impatto ambientale (Crenna, 2018).

## 1.2. Bioeconomia nel settore cosmetico

In questo contesto, anche l'industria cosmetica deve migliorare e promuovere soluzioni di eco-innovazione, tramite un processo che richiede solidi metodi per valutare gli impatti ambientali e ridurre lo spostamento degli oneri tra le fasi del ciclo di vita dei prodotti e la tipologia degli impatti stessi. Il settore cosmetico è in crescita in tutto il mondo; solamente in Europa occupa oltre 2 milioni di addetti con vendite nel 2017 pari a 77,6 miliardi di euro (Cosmetics Europe, 2018). I cosmetici sono importanti prodotti di consumo e le aziende del settore hanno bisogno di migliorare costantemente i loro prodotti, per rimanere all'avanguardia in un mercato altamente competitivo, dove i consumatori si aspettano più scelta e sempre maggiore efficacia (Secchi, 2016), ma anche ingredienti natura-

li e biologici che allo stesso tempo che abbiano ridotti impatti ambientali nelle loro fasi di produzione e uso (Sahota, 2014).

Molti prodotti cosmetici hanno impatti importanti sull'acqua in termini di tossicità, l'industria ha pertanto necessità di introdurre strategie di eco-design e di chimica verde (Muñoz, 2008).

Tuttavia, presunte componenti «eco-compatibili», come quelli derivanti ad esempio da sottoprodotti naturali, potrebbe determinare profili ambientali non sostenibili se valutati in un'ottica di Life Cycle Thinking, analizzandone quindi l'intera filiera: l'estrazione delle materie prime, il trattamento delle stesse, i trasporti, la produzione e la fase d'uso. Nella letteratura scientifica di riferimento esistono ancora pochi studi in tale contesto: il presente lavoro si inserisce in questa necessità di adottare la metodologia LCA per garantire che le opzioni di chimica verde rispondano alla necessità di ridurre l'impatto ambientale in tutte le fasi del ciclo di vita (Secchi, 2016).

Un esempio da letteratura è quello di una valutazione LCA "*from cradle to grave*" di una crema cosmetica a base biologica contenente olio di palma raffinato (RPKO) che aveva l'obiettivo di indagare l'importanza della produzione di RPKO nell'impatto ambientale: i risultati mostrano come la fase di produzione agricola dell'olio di palma renda il ciclo insostenibile a causa degli elevatissimi impatti dovuti alla deforestazione (Martinez, 2017).

I produttori di cosmetici pertanto stanno sempre più adottando metodologie per la valutazione dell'impatto ambientale e sociale e per l'approvvigionamento etico delle materie prime (Sahota, 2014). Cosmetics Europe, l'Associazione Europea delle aziende dell'industria cosmetica, nel 2018 ha lanciato una campagna per promuovere nelle aziende buone pratiche di sostenibilità, che comprendono l'utilizzo della metodologia LCA e strategie di eco-design dei prodotti.

## 1.3. Caso studio: la produzione delle Cytofruit® Waters

Il caso studio qui presentato è stato commissionato da Roelmi Hpc, un'azienda B2B specializzata nell'Healt&Personal Care, situata nella provincia di Varese, che produce ingredienti per il mercato della salute e della bellezza.

L'obiettivo è la valutazione LCA del ciclo di produzione di Cytofruit® Waters, acque funzionali derivanti da un sottoprodotto della lavorazione di succo di frutta concentrato.

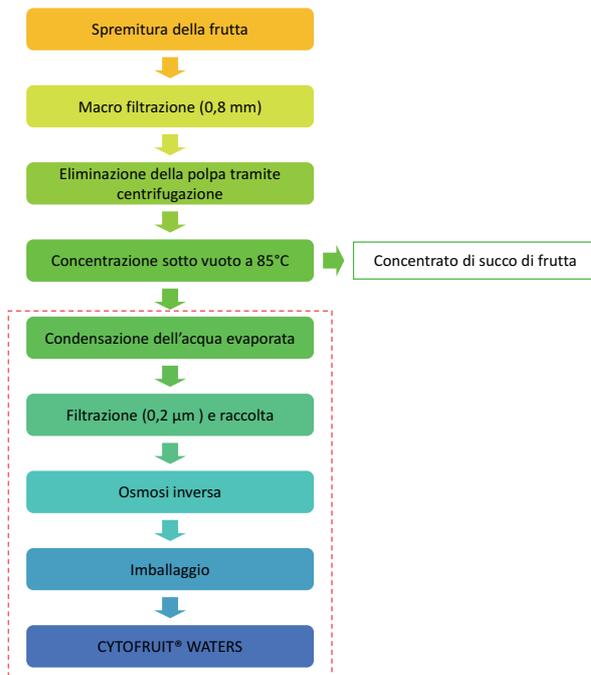


Figura 1 – Diagramma di flusso della produzione delle Cytofruit® Waters, a partire dalla fase di condensazione dell'acqua evaporata durante lo step finale di produzione del concentrato di succo di frutta

L'acqua naturalmente contenuta nella frutta, il cui destino è quello di andare persa mentre il succo viene concentrato ad alte temperature, è raccolta, purificata e resa disponibile per la cosmetica in sostituzione dell'acqua potabile usata nei prodotti finiti. Il ciclo di vita prevede perciò il recupero dell'acqua derivante dalla lavorazione del succo concentrato, la purificazione tramite micro e ultra filtrazione, un primo confezionamento, il trasporto al sito dove avviene il confezionamento finale, la spedizione ai clienti.

### 1.3.1. Descrizione del prodotto: le Cytofruit® Waters

Le Cytofruit® Waters sono una linea di ingredienti funzionali ottenuti da frazioni non edibili della frutta, che vengono utilizzati all'interno di prodotti cosmetici per la loro capacità di proteggere le cellule della pelle dagli stress ambientali. Si tratta di acque aromatiche ricche in oligoelementi ottenute dalla microfiltrazione dell'acqua proveniente dalla produzione di concentrato di succo di frutta, attraverso un processo di produzione completamente fisico, senza utilizzo di solventi e microonde, garantendone così l'integrità dei componenti originali e le loro attività sinergiche.

Questi ingredienti funzionali hanno diverse applicazioni, in quanto vengono utilizzati all'interno di

prodotti per la cura della pelle e del corpo (emulsioni, lozioni e gel), articoli da toeletta, make-up e profumi.

Le Cytofruit® Waters sono prodotte a partire da diverse tipologie di frutta della zona mediterranea, come il bergamotto, il mandarino verde, l'arancia rossa, la clementina, il pompelmo, il kiwi, il limone e l'arancia dolce.

Tale produzione avviene grazie ad una partnership tra l'azienda di cosmesi Roelmi Hpc ed un'azienda sita in Calabria che produce succo di frutta concentrato.

Il processo di produzione, come mostrato dallo schema in Figura 1, avviene a seguito della fase di concentrazione del succo di frutta, dove l'acqua evaporata è condensata e purificata dando così origine alle Cytofruit® Waters.

## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

Il presente studio si è posto l'obiettivo di identificare e valutare gli impatti relativi alla filiera produttiva e logistica delle Cytofruit® Waters, per individuare le possibilità di miglioramento, così da prendere in considerazione, se necessario, eventuali alternative tecnologie o di gestione.

#### 2.1.1. Unità funzionale, confini del sistema e metodo di allocazione

L'analisi ha come oggetto la linea di produzione delle Cytofruit® Waters riferita all'anno 2017 e l'unità funzionale scelta è un litro di prodotto.

In Figura 2 è riportato uno schema che sintetizza le fasi considerate nell'analisi: produzione delle Cytofruit® Waters presso l'azienda produttrice di concentrato di succo di frutta, produzione e trasporto del packaging per questa prima fase, trasporto delle Cytofruit® Waters dal produttore di succo concentrato a Roelmi Hpc con conseguente repackaging ed etichettatura, produzione e trasporto del packaging definitivo, distribuzione ai clienti (la produzione e il trasporto del packaging per entrambe le fasi sono stati aggregati).

I confini del sistema rispecchiano l'approccio *cradle to gate* dello studio – dall'estrazione delle materie prime alla distribuzione ai clienti – e i processi considerati sono rappresentati nella Figura 3, con flussi connessi e definiti in relazione alle attività dell'azienda Roelmi Hpc.

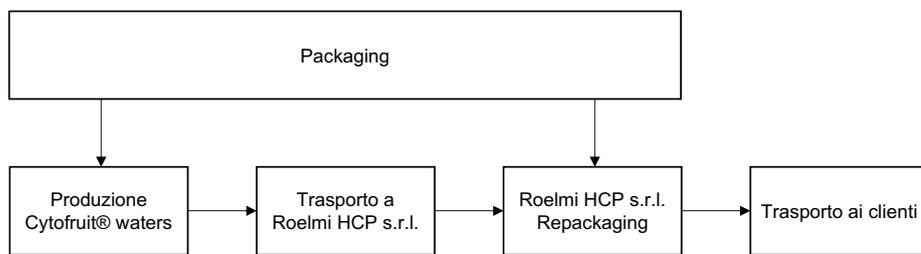


Figura 2 – Fasi principali che compongono la filiera produttiva delle Cytofruit® Waters e che rientrano nella valutazione del presente studio

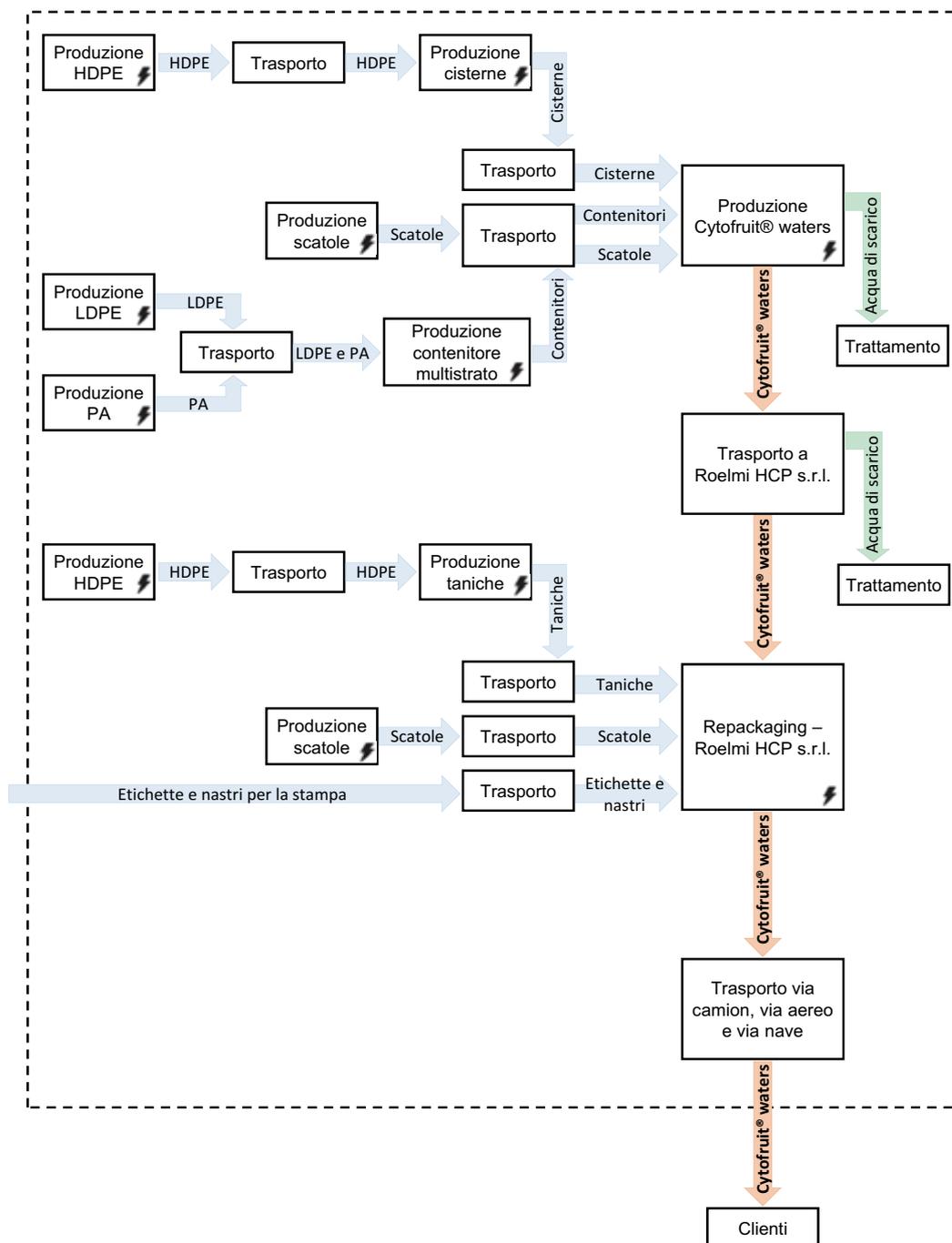


Figura 3 – Confini del sistema analizzato: processi e flussi principali. Il flusso di riferimento sono le Cytofruit® Waters, in arancio. In azzurro i flussi relativi al packaging; in verde quelli del destino delle acque di scarico. Le icone nere evidenziano l'utilizzo di energia elettrica

In particolare, i diversi passaggi della produzione riguardano i punti seguenti.

- Produzione Cytofruit® Waters. Nell'impianto di produzione di succhi, è stato considerato il processo a partire dallo step di formazione della materia prima per le Cytofruit® Waters che corrisponde all'acqua di condensa della produzione del succo concentrato, ottenuta a seguito della concentrazione del succo stesso. Tale attività viene svolta con conseguente consumo di energia elettrica e acqua per la filtrazione, l'osmosi inversa e il lavaggio degli strumenti utilizzati. Dall'impianto l'acqua aromatizzata esce in due diverse confezioni: una parte in cisterne da 1000 litri (IBC – Intermediate Bulk Container) di polietilene ad alta densità (high density polyethylene, HDPE) e una seconda parte in contenitori multistrato da 5 litri, una confezione morbida composta da polietilene lineare a bassa densità (linear low density polyethylene, LLDPE) e poliammide orientato (oriented polyamide, OPA) imballati in scatole di cartone, mentre l'acqua di scarico è inviata a un depuratore municipale.
- Trasporto delle Cytofruit® Waters dal produttore di succhi, in Calabria, all'impianto di Roelmi Hpc, situato ad Origgio (VA).
- Roelmi Hpc. Nell'impianto di Roelmi Hpc avviene il repackaging dell'acqua aromatizzata: quella precedentemente stoccata nelle cisterne IBC è trasferita in taniche di HDPE di minore volumetria (due tagli rispettivamente da 5 e 25 litri) imballate in scatole di cartone, mentre le Cytofruit® Waters confezionate nei contenitori multistrato sono inviate tal quali ai clienti. Ciascun contenitore viene infine etichettato. Questi processi richiedono il consumo di energia elettrica e di acqua per il lavaggio delle cisterne svuotate. L'acqua di scarico, analogamente all'impianto di produzione di succhi, è inviata al depuratore municipale.
- Distribuzione delle Cytofruit® Waters da Roelmi Hpc ai clienti. Il trasporto per questa fase avviene, a seconda del luogo di destinazione, via terra tramite camion, via aereo e via nave.
- Produzione del packaging. Il packaging è utilizzato per confezionare l'acqua nell'impianto di produzione del succo concentrato e nell'impianto di Roelmi Hpc. In particolare, il sistema include la produzione delle materie prime necessarie (i granulati dei polimeri e le scatole), il trasporto dei materiali agli impianti di produzione degli imballaggi (cisterne, contenitori multistrato, taniche, scatole di cartone, etichette e nastri

per la stampa), la fabbricazione del packaging a partire dalle materie prime e infine il trasporto all'impianto di produzione del succo concentrato o a Roelmi Hpc. La produzione delle etichette e dei nastri per la stampa non è inclusa nei confini del sistema per indisponibilità di dati e per il quantitativo marginale di materiale coinvolto.

Il gate dei confini è posto alla consegna delle Cytofruit® Waters ai clienti: queste acque aromatizzate sono infatti a loro volta utilizzate quali ingredienti nella produzione di cosmetici e non sono quindi un prodotto finito.

I confini sono stati individuati sulla base della filiera di Roelmi Hpc, in modo da includere i processi a valle rispetto ai cancelli aziendali descritti da dati disponibili e attendibili. Un'estensione anche ai processi per i quali non fossero presenti informazioni dirette avrebbe necessitato di ulteriori assunzioni e causato incertezze poco controllabili. Tale impostazione è risultata uno stimolo per l'azienda in termini di raccolta dati e di analisi interna; inoltre, ha permesso di focalizzarsi sulle attività dell'azienda per capire quali possano essere i margini di miglioramento per implementare nuove strategie in un'ottica di economia circolare. Dati il contesto e la complessità della filiera del settore cosmetico, questo può anche risultare un limite poiché in tal modo non si ha una visione completa dell'intera filiera fino al prodotto finito e non si può quindi sapere quale sia il peso relativo di questa parte rispetto al resto della catena.

Non essendo in possesso di informazioni specifiche in merito alla gestione del trasporto dei materiali o dei prodotti per i diversi tipi imballaggio e per l'etichettatura (cisterne, taniche, contenitori multistrato, scatole di cartone, etichette e nastri per la stampa), per i tragitti che interessano questi prodotti si è considerata l'andata a pieno carico e il ritorno a vuoto, in una prospettiva conservativa allo scopo di evitare una sottostima degli impatti. Diversamente, per il trasporto delle Cytofruit® Waters dal produttore di succo concentrato a Roelmi Hpc il fattore di utilizzo incluso nel modello è massimo poiché vi è una gestione da parte di imprese dedicate che si suppone ottimizzino gli spostamenti dei propri mezzi anche in un'ottica di logistica inversa. I trasporti ai clienti sono gestiti dai clienti stessi, numerosi e localizzati in tutto il mondo, non è stato perciò possibile reperire dati primari a riguardo e si è scelto di impostare una capacità di carico e un fattore di utilizzo medi. Inoltre, per tutti gli spostamenti via terra, si è assunto che gli automezzi considerati nei trasporti siano di

*Tabella 1 – Consumi specifici di energia elettrica e di acqua associati alla produzione di un litro di Cytofruit® Waters presso l'impianto di produzione dei succhi di frutta*

Operazione	Potenza [kW]	Ore di utilizzo giornaliero [h d <sup>-1</sup> ]	Consumo energetico giornaliero [kWh d <sup>-1</sup> ]	Consumo energetico per litro di prodotto [kWh l <sup>-1</sup> ]	Consumo di acqua per litro di prodotto [l l <sup>-1</sup> ]
Condensazione	5	16	80	0,013	0
Filtrazione	30	16	480	0,077	1,92
Osmosi inversa	25	16	400	0,064	1,12
Impacchettamento	30	16	480	0,077	0

categoria Euro 4, in linea con il parco veicoli circolante.

Nella parte inerente al packaging, per la produzione dei granulati di LLDPE e del OPA sono stati utilizzati come proxy i processi per la fabbricazione del polietilene a bassa densità e del poliammide riferiti al caso tedesco presenti nel database di GaBi (Thinkstep, 2018). Anche la produzione del granulato di HDPE è stata modellata utilizzando un processo già incluso nel database. Non avendo informazioni riguardanti la manifattura dei contenitori multistrato, il processo di produzione, così come le distanze coperte per il trasporto delle materie prime, sono stati ricostruiti partendo da dati di letteratura riferiti a un caso italiano inserito territorialmente nello stesso contesto del produttore presente nella filiera considerata (Siracusa, 2014). Tali dati sono stati riproporzionati in base alle quantità di materiali inclusi nell'analisi in oggetto. Si è assunto che la scatola per il contenitore multistrato provenga dallo stesso impianto che produce il contenitore stesso. Il chilometraggio relativo al trasporto dell'HDPE agli impianti di fabbricazione delle cisterne e delle taniche è stato calcolato assumendo che il granulato sia prodotto in Europa centrale, nello specifico in Germania, essendo di qualità elevata in quanto utilizzato per imballaggi ad uso alimentare.

I consumi energetici imputabili alla produzione delle Cytofruit® Waters presso il produttore del succo concentrato e a repackaging ed etichettatura presso Roelmi Hpc sono stati quantificati in termini di consumi dei singoli macchinari, poiché entrambi gli impianti non hanno come unico output di prodotto quello oggetto dell'indagine. L'unica eccezione riguarda il muletto per gli spostamenti dei prodotti all'interno di Roelmi Hpc. In tale caso, la quantità di energia consumata riferita all'unità funzionale è stata calcolata considerando i consumi annuali del mezzo allocati poi in base alla proporzione tra la quantità (in termini di massa)

di Cytofruit® Waters vendute nel 2017 e la quantità totale di prodotti venduti da Roelmi Hpc nello stesso anno.

Per i processi principali che prevedono un approvvigionamento di energia elettrica, l'input selezionato è stato quello del mix elettrico italiano, mentre per le produzioni non nazionali ma europee, come nel caso di alcuni processi relativi al packaging, la fornitura considerata è quella del mix europeo; i flussi elementari connessi a entrambi i mix sono quelli presenti nei rispettivi processi disponibili nel database.

I dati di inventario riportati nella prossima sezione (consumi energetici e idrici nei processi, distanze, quantità di materiale utilizzato) sono stati ottenuti come risposta a questionari sottoposti all'azienda o al produttore di succo concentrato che hanno fornito informazioni puntuali; tali dati risultano perciò rappresentativi e consolidati per la situazione riferita all'anno 2017. Le maggiori incertezze si riscontrano negli altri aspetti dello studio, per i quali non sono presenti dati primari e le informazioni discendono da un confronto qualitativo con l'azienda e dalle conseguenti assunzioni, descritte precedentemente: capacità di carico, fattore di utilizzo e categoria euro dei mezzi di trasporto e processi di produzione del packaging. Il modello include comunque tutti gli elementi necessari per la valutazione, con un approccio conservativo nelle situazioni in cui sono presenti dei valori incerti. Come evidenziato dall'analisi di sensitività riportata in seguito, la maggior variazione degli impatti al variare dei parametri discende da processi contenenti dati principalmente diretti. L'unica eccezione è rappresentata dal packaging, per cui i processi di produzione scelti sono quelli di database, che quindi non sono completamente rappresentativi, ma dato il tipo di tecnologia di produzione (diffusa e consolidata) si possono considerare una buona approssimazione della situazione in oggetto.

**Tabella 2 – Mezzi utilizzati per il trasporto delle Cytofruit® Waters dall'impianto di Roelmi Hpc ai clienti e distanze medie percorse con ciascun mezzo**

Mezzi di trasporto	Distanza media percorsa [km]	Carico totale trasportato [kg]
Camion	524	12703
Aereo	6795	368
Nave	157	473

L'analisi LCA è stata effettuata tramite il software GaBi (Thinkstep, 2018) e il modello di caratterizzazione degli impatti scelto per il presente studio è CML 2001. Le categorie di impatto incluse nella valutazione sono: l'impoverimento delle risorse minerali (Abiotic depletion elements), l'impoverimento delle risorse fossili (Abiotic depletion fossil), l'acidificazione (Acidification potential), l'eutrofizzazione (Eutrophication potential), l'eco-tossicità in acqua dolce (Freshwater aquatic ecotoxicity), il riscaldamento globale (Global warming potential), la tossicità per l'uomo (Human toxicity potential), l'eco-tossicità marina (Marine aquatic ecotoxicity potential), la riduzione dello strato di ozono (Ozone layer depletion potential), l'eco-tossicità terrestre (Terrestrial ecotoxicity potential), la creazione di ozono fotochimico (Photochemical Ozone Creation Potential)

## 2.2. Analisi d'inventario

I dati a disposizione per lo studio si riferiscono principalmente a valori cumulativi del 2017 (la produzione annuale di Cytofruit® Waters nell'anno di riferimento ammonta a 12085 l), che sono stati quindi scalati in proporzione all'unità funzionale.

Per tutti i trasporti considerati nel modello, sia il consumo di carburante sia le emissioni associate

derivano dai dati di inventario già presenti nei processi selezionati dal database.

### 2.2.1. Produzione delle Cytofruit® Waters

Le operazioni coinvolte per la produzione delle Cytofruit® Waters presso l'impianto di succo concentrato sono la condensazione dell'acqua evaporata dalla produzione del succo concentrato, la filtrazione, l'osmosi inversa e l'impacchettamento all'interno delle cisterne e dei contenitori multistrato. I valori di consumo energetico e idrico sono riportati in Tabella 1.

I dati disponibili riguardano la potenza dei macchinari, il tempo di utilizzo, i consumi energetici, la quantità di acqua utilizzata.

### 2.2.2. Trasporto delle Cytofruit® Waters dall'impianto di produzione di succo concentrato a Roelmi Hpc

In riferimento al trasporto delle Cytofruit® Waters dall'impianto di produzione a quello di Roelmi Hpc per il 2017, nel calcolo degli impatti è stato considerato un unico viaggio a pieno carico. La distanza di trasporto è stata ricavata calcolando la percorrenza stradale tra i due impianti, che risulta pari a 1218 km. Sulla base delle informazioni fornite dall'azienda, il mezzo di trasporto utilizzato è un camion con capacità di carico di 12 tonnellate.

### 2.2.3. Roelmi Hpc

All'interno dell'impianto di Roelmi Hpc l'attività comprende il repackaging del prodotto contenuto nelle cisterne in contenitori di volumetria inferiore, l'utilizzo del muletto per le movimentazioni interne dei carichi, la stampa a trasferimento termico per l'etichettatura e il lavaggio delle cisterne.

Il calcolo dei consumi energetici è specifico per i singoli mezzi utilizzati e calcolato come segue.

- Il consumo annuale di energia elettrica per la fase di repackaging è stato calcolato partendo dal-

**Tabella 3 – Volumetria e peso dei contenitori utilizzati, sia per contenitore sia in termini cumulativi, per le Cytofruit® Waters e distanze medie percorse per il trasporto delle materie prime e degli imballaggi finiti**

Imballaggio	Volume contenuto [l]	Peso di ciascun contenitore [kg]	Peso totale dei contenitori utilizzati per la produzione dell'anno 2017 [kg]	Distanza media percorsa per il trasporto delle materie prime o semilavorate [km]	Distanza media percorsa per il trasporto dell'imballaggio finito all'impianto di confezionamento [km]
Cisterne	1000	51	494	1500	200
Contenitori multistrato	5	0,043	20,7	1200	1250
Taniche	5 o 25	0,314 o 1,3	507	850	54

Tabella 4 – Categorie di impatto considerate e impatti assoluti

Categorie d'impatto (CML 2001)	Unità	Valore assoluto dell'impatto
Impoverimento delle risorse minerali	[kg Sb eq.]	1,35E-07
Impoverimento delle risorse fossili	[MJ]	1,17E+01
Acidificazione	[kg SO <sub>2</sub> eq.]	1,56E-03
Eutrofizzazione	[kg Phosphate eq.]	3,22E-04
Eco-tossicità in acqua dolce	[kg DCB eq.]	3,80E-03
Riscaldamento globale	[kg CO <sub>2</sub> eq.]	5,76E-01
Tossicità per l'uomo	[kg DCB eq.]	3,52E-02
Eco-tossicità marina	[kg DCB eq.]	2,32E+01
Riduzione dello strato di ozono	[kg R11 eq.]	8,70E-15
Eco-tossicità terrestre	[kg DCB eq.]	7,04E-04
Formazione fotochimica di ozono	[kg Ethene eq.]	-1,14E-04

la potenza del mezzo adibito, 0,15 kW. Il tempo per il repackaging del contenuto di una cisterna da 1000 litri è pari a circa 2 ore, con un conseguente consumo di 0,3 kWh. Pertanto, data la quantità annuale di Cytofruit® Waters trasportata in cisterna nel 2017, pari a 9685 l, il consumo energetico annuale corrisponde a 2,91 kWh, che riscalato sull'unità funzionale diventa 0,00024 kWh l<sup>-1</sup>.

- Il consumo annuale di energia elettrica associato all'utilizzo del muletto elettrico è stato dedotto in modo analogo al punto precedente. La potenza del mezzo è 8 kW, il tempo di ricarica del mezzo 12 ore e la ricarica viene effettuata una volta a settimana, per un totale di 50 settimane/anno. Di conseguenza, si ha un consumo energetico settimanale di 96 kWh, e annuale 4800 kWh. In riferimento all'unità funzionale, considerando la quantità di Cytofruit® Waters vendute in un anno rispetto alle vendite totali come descritto nel paragrafo 2.1.1, si ottiene un valore pari a 0,007 kWh kg<sup>-1</sup>.
- Il calcolo del consumo annuale di energia elettrica associato all'utilizzo della stampante a trasferimento termico nella fase di etichettatura ricalca nuovamente il processo sopra descritto, poiché la stampante ha una potenza di 0,16 kW e il tempo richiesto per la stampa di 500 etichette è di circa 5 ore. Dato che nel 2017 sono state stampate 951 etichette per le Cytofruit® Waters, il consumo annuale è stato pari a 1,6 kWh, con un consumo per unità funzionale di 0,00013 kWh l<sup>-1</sup>.

Il calcolo del consumo idrico si riferisce al lavaggio delle cisterne che avviene dopo il repackaging. Il numero totale di cisterne utilizzate nel 2017 è stato calcolato considerando la quantità to-

tale di Cytofruit® Waters trasportata in questi contenitori, ottenendo una richiesta d'acqua annuale pari 2421 l, con un consumo per unità funzionale di 0,2 l.

#### 2.2.4. Trasporto delle Cytofruit® Waters da Roelmi Hpc ai clienti

In riferimento al trasporto delle Cytofruit® Waters dall'impianto Roelmi Hpc ai clienti, esso avviene via terra, via aerea e via mare. La Tabella 2 riporta le distanze medie percorse e il carico totale trasportato, che include il peso del prodotto e del packaging associato.

Per quanto riguarda le tipologie di mezzi utilizzate, sulla base delle informazioni fornite dall'azienda, è stato scelto un camion da 17,3 t, un aereo cargo con capacità di carico di 65 t e un'imbarcazione con capacità di carico da 1100 t.

#### 2.2.5. Produzione del packaging

Lo stoccaggio e il trasporto delle Cytofruit® Waters prevedono l'utilizzo di diversi tipi di imballaggio – le cisterne e i contenitori multistrato presso l'impianto di produzione del succo concentrato e le taniche e le etichette presso Roelmi Hpc, come spiegato nel paragrafo 2.1.1 – a cui si aggiungono le etichette e i nastri per la stampa. In Tabella 3 sono raggruppati i valori di capacità volumetrica e le distanze coperte nei vari trasporti per i diversi tipi di contenitori delle Cytofruit® Waters.

I processi selezionati per la produzione delle cisterne e delle taniche partendo dai granuli di polimero corrispondono alla tecnica di soffiaggio (*blow moulding*), che rappresenta quella più adatta per la fabbricazione di contenitori cavi. Diversamente, la produzione del contenitore multistrato, è stata modellata includendo come processo quel-

lo dell'estrusione, sia per la creazione degli strati, sia per l'assemblaggio degli stessi (Siracusa, 2015). La capacità di carico per i mezzi considerati varia in base al tragitto e ai dati disponibili da 1 t (trasporto delle etichette e dei nastri) a 27 t per il trasporto dei granulati di HDPE.

### 2.3. Scenario alternativo

A seguito dell'analisi del ciclo di vita è stato possibile proporre la definizione di uno scenario alternativo. Tale scenario deriva dall'ipotesi di mettere in atto il processo di impacchettamento finale direttamente presso l'impianto di produzione del succo concentrato in Calabria ovvero eliminando la fase di trasporto presso la sede di Roelmi Hpc e contestualmente l'uso delle cisterne. Tale implementazione implicherebbe esclusivamente il confezionamento delle Citofruit® Waters in taniche (da 5 o 25 l) o contenitori multistrato da inviare direttamente ai clienti. Si è quindi effettuata una valutazione in cui non fosse presente il processo di produzione, trasporto e poi utilizzo delle cisterne. Tale scenario prevede quindi un azzeramento del quantitativo di cisterne necessario e una riduzione dei consumi di acqua e energia presso Roelmi Hpc. La distanza coperta per il trasporto dalla Calabria è stata lasciata invariata poiché la maggior parte dei clienti finali sono localizzati nell'Europa continentale o in USA e Asia. Questa impostazione logistica impone che i trasporti verso l'Eu-

ropa passino necessariamente per il Nord Italia, dove è ubicata Roelmi Hpc; quando il prodotto è trasportato verso un aeroporto e poi inviato a destinazione, le distanze percorse non variano sensibilmente rispetto allo scenario tradizionale tra inviarlo da Roelmi Hpc a un aeroporto del Nord Italia piuttosto che inviarlo dall'impianto di produzione di succo concentrato a un aeroporto del Sud Italia.

## 3. RISULTATI E DISCUSSIONE

I carichi ambientali risultato dell'analisi LCA sulla produzione di un litro di Citofruit® Water all'interno dell'attuale filiera di Roelmi Hpc sono riportati in Tabella 4.

Per permettere un confronto tra le diverse fasi considerate nel processo di produzione e individuare quelle a cui sono imputabili gli impatti più rilevanti, è stata effettuata una rappresentazione in Figura 4.

Vi sono diverse categorie d'impatto in cui il peso maggiore è ricoperto dalla produzione e dal trasporto del packaging. In particolare, tale contributo rappresenta il 61% per l'*Impoverimento delle risorse fossili*, il 54% per l'*Eco-tossicità in acqua dolce*, il 55% per la *Tossicità per l'uomo* e il 47% per l'*Eco-tossicità marina*.

Il totale dei processi relativi ai prodotti per il confezionamento non rappresenta la principale causa di impatto nelle categorie di *Acidificazione*, *Eutrofizzazione* e *Eco-tossicità terrestre*, sulle quali influisce maggiormente il trasporto ai clienti.

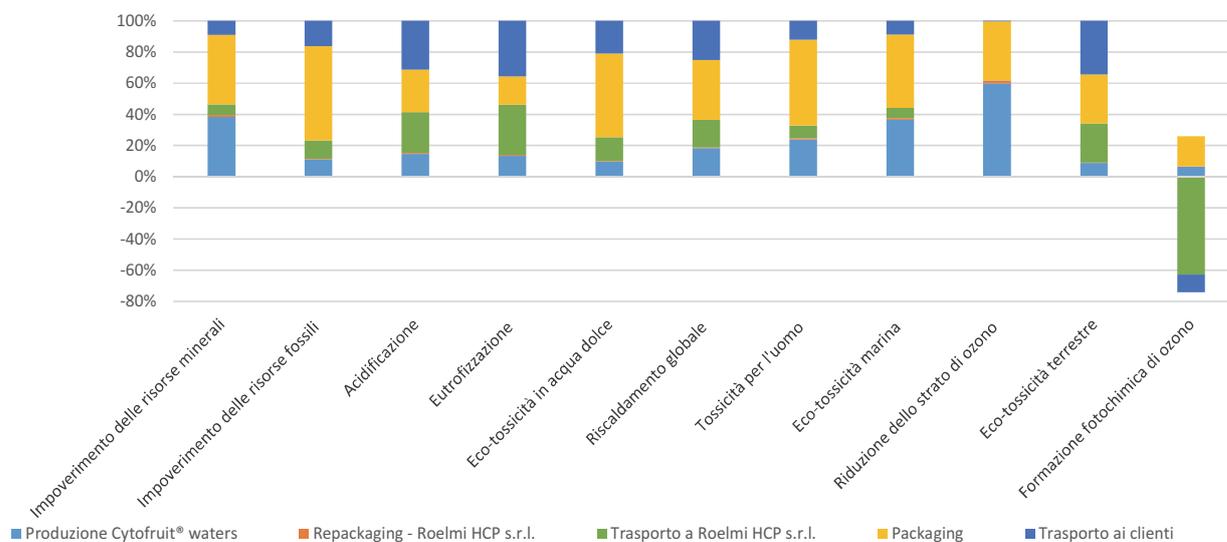


Figura 4 – Analisi degli impatti ambientali associati alla produzione delle Citofruit® Waters suddivisi per fase del processo produttivo

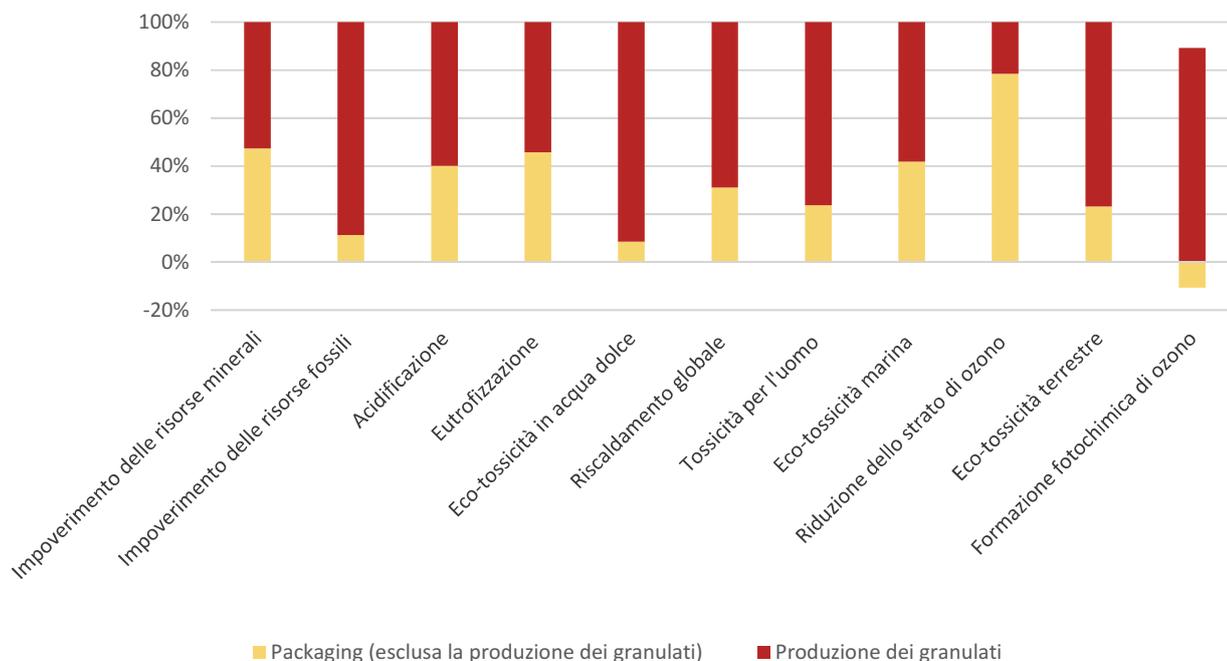


Figura 5 – Impatti relativi alla fabbricazione e al trasporto del packaging con la distinzione tra quelli imputabili alla produzione dei granulati e alle altre fasi della filiera

Il contributo più alto alla riduzione dello strato di ozono proviene invece dalla fase di produzione delle Cytofruit® Waters presso l'impianto per il succo concentrato, attribuibile al consumo di energia elettrica associato.

La figura mostra inoltre che la parte riguardante Roelmi Hpc sostanzialmente risulta trascurabile rispetto al resto, poiché sia i consumi di energia sia quelli di acqua, da cui discendono gli impatti, sono significativamente minori di quelli associati ai processi di produzione delle Cytofruit® Water presso il produttore di succo concentrato.

La categoria che riguarda la *Formazione fotochimica dell'ozono* presenta un valore negativo poiché nel metodo di calcolo CML 2001 la generazione di monossido di azoto, la cui fonte principale nel sistema analizzato sono le emissioni causate dai mezzi di trasporto, implica un beneficio ambientale in termini di riduzione dell'ozono troposferico (Lizasoain-Arteaga, 2019).

Se si entra nel merito delle diverse fasi prese in esame, i risultati ottenuti mostrano come nell'impianto di produzione delle Cytofruit® Waters presso il produttore di succo concentrato e nell'impianto di Roelmi Hpc il consumo di energia elettrica sia responsabile della quasi totalità degli impatti. Le uniche categorie in cui pesa anche il trattamento delle acque di scarico sono *Eutrofizzazione* ed *Eco-tossicità d'acqua dolce*, con un contributo che varia dal 40% al 45% nel caso dell'im-

pianto del succo concentrato e dal 55% al 60% nel caso di Roelmi Hpc.

Gli impatti legati alla distribuzione ai clienti sono imputabili principalmente al trasporto aereo, che pesano tra il 65% e il 75%. L'unica eccezione è rappresentata dalla categoria di *Formazione fotochimica dell'ozono*, nella quale il maggior contributo, che si esprime in termini di riduzione degli impatti, proviene dal trasporto su gomma.

Nel caso del packaging, la Figura 5 mostra come la maggior parte degli impatti legati alla fabbricazione e al trasporto degli imballaggi sia dovuta alla produzione dei granulati vergini dei materiali utilizzati. Nella categoria *Riduzione dello strato di ozono* tale evidenza non è presente perché gli impatti sono imputabili principalmente al consumo di energia nel *blow moulding* per la fabbricazione degli imballaggi.

### 3.1. Analisi di sensitività e scenario alternativo

Per valutare se l'ipotesi descritta nella sezione 2.3 possa essere efficace e apportare dei benefici rilevanti al sistema in termini di riduzione degli impatti, è stata effettuata un'analisi di sensitività per individuare i parametri che, se variati, possono avere più influenza sulle performance ambientali del prodotto. Tale analisi ha dimostrato che le variabili più significative sono risultate il consumo di energia elettrica presso il

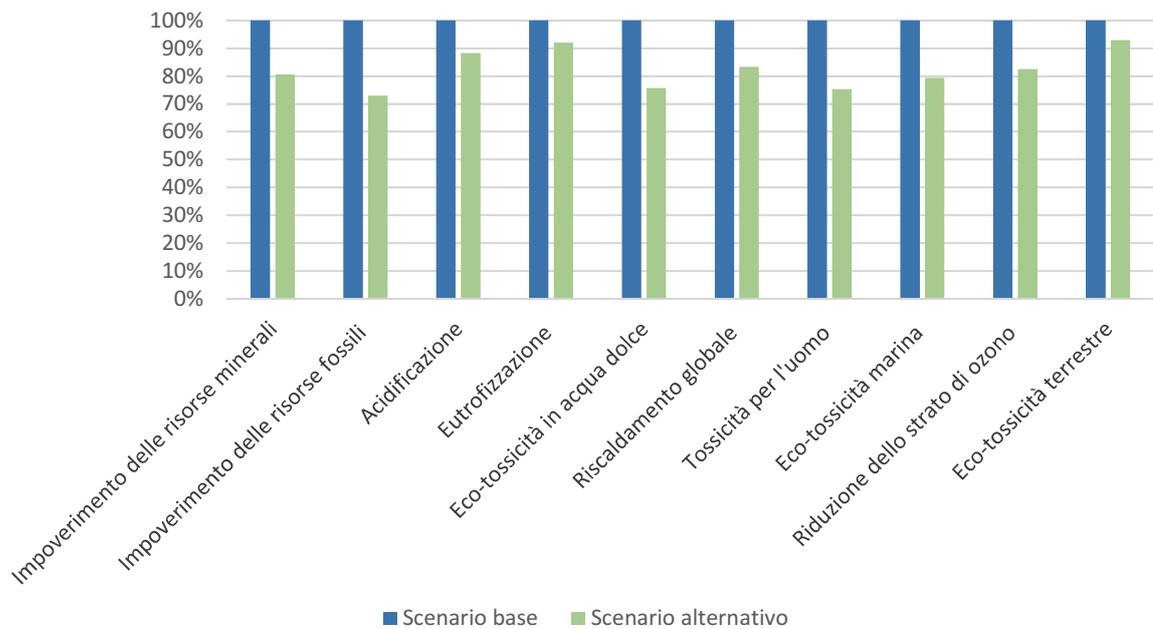


Figura 6 – Comparazione tra la situazione base di partenza e quella prevista dallo scenario alternativo

produttore di succo concentrato per la produzione delle Cytofruit® Waters, la produzione delle cisterne, la produzione delle taniche, il trasporto via camion dal produttore di succo a Roelmi Hpc e il trasporto via aereo ai clienti. Da ciò discende che il contributo dato dalla produzione delle cisterne rappresenta effettivamente un aspetto consistente e che la soluzione prospettata in merito allo spostamento del confezionamento finale direttamente presso il produttore di succo concentrato possa garantire un miglioramento delle performance ambientali. In Figura 6 è presente la comparazione tra la situazione base di partenza e quella prevista dallo scenario alternativo.

La potenziale riduzione degli impatti varia dal 7% nel caso della categoria *Eco-tossicità terrestre* al 27% per l'*Impoverimento delle risorse fossili*, escludendo la categoria *Formazione fotochimica dell'ozono* (non riportata in figura) in quanto vi è un aumento dell'impatto causato dall'assenza dei trasporti relativi alla produzione delle cisterne, in linea con quanto sottolineato nel paragrafo precedente. Le categorie in cui si ha un miglioramento più significativo sono: *Impoverimento delle risorse fossili*, *Eco-tossicità in acqua dolce* e *Tossicità per l'uomo*. Tali categorie sono anche quelle in cui gli impatti maggiori causati dalla fabbricazione delle cisterne sono relativi alla produzione del granulato di HDPE, che, come visto in precedenza, ha un peso rilevante nel contributo agli impatti.

#### 4. CONCLUSIONI

Il comparto della bioeconomia circolare è in fase di forte espansione per merito dei suoi obiettivi di produzione sostenibile ed uso efficiente delle risorse. Anche l'industria cosmetica sta cercando di promuovere un'eco-innovazione che permetta l'uso di sottoprodotti o scarti di processi appartenenti a diversi settori. Il presunto beneficio ambientale che deriva da questo tipo di approccio deve però essere verificato: l'approccio del Life Cycle Assessment assicura la possibilità di misurare la reale sostenibilità di una filiera basata su un sottoprodotto o uno scarto tramite un'analisi volta a quantificare le performance ambientali e le potenzialità di miglioramento in termini di riduzione degli impatti.

Nel caso studio presentato la metodologia LCA ha permesso quindi di valutare la filiera di produzione delle Cytofruit® Waters, acque aromatizzate sviluppate dall'azienda Roelmi Hpc e utilizzate in cosmesi che derivano dalla lavorazione del succo di agrumi concentrato. L'analisi ha quindi coinvolto le diverse fasi della filiera connessa al prodotto oggetto dell'indagine, dalla produzione delle Cytofruit® Waters alla distribuzione ai clienti.

Il Life Cycle Assessment si è dimostrato un valido strumento metodologico per valutare gli impatti ambientali nell'intera filiera del prodotto e dare all'azienda consapevolezza dei vari passaggi in un'ottica di responsabilità ambientale. In particolare, lo studio ha evidenziato gli impatti principali legati al packaging a causa dell'utilizzo di mate-

riali polimerici vergini, al sistema di trasporti e ai consumi energetici.

Allo stesso tempo, l'utilizzo di tale metodologia ha consentito di ipotizzare uno scenario di filiera alternativo che preveda una riduzione dell'impiego degli imballaggi finalizzato a fornire all'azienda la base per attivare un progetto di miglioramento della sostenibilità, che possa portare un aumento nell'efficienza del sistema, riducendo gli sprechi in termini di materie ed energia ed al contempo anche un potenziale vantaggio economico.

L'azienda ha comunicato che i risultati ottenuti e lo scenario alternativo proposto saranno presi in considerazione per una riprogettazione della filiera nonché in attività di comunicazioni e marketing verso tutti gli stakeholders coinvolti a monte e a valle.

In conclusione, si può sottolineare l'utilità dell'approccio del Life Cycle Thinking per analizzare e misurare i benefici del riutilizzo di sottoprodotti e scarti in un'ottica di bioeconomia circolare. Parallelamente, la valutazione suggerisce come l'economia possa essere realmente definita circolare esclusivamente in un'ottica di eco-design dove fin dalla progettazione dell'intera catena del valore del prodotto ci si indirizzi verso una minimizzazione gli impatti ambientali.

## 5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Campanini L., Fumagalli S., Giusti S., Stoppani L., Trenti S. (Direzione Studi e Ricerche di Intesa Sanpaolo), Capasso S., Casolaro A. (SRM). (2019). La Bioeconomia in Europa, 5° Rapporto. Intesa Sanpaolo – Direzione Studi e Ricerche.
- Cosmetics Europe, Risk & Policy Analysts Ltd (RPA). (2018). Socio-Economic Contribution of the European Cosmetics Industry; <https://www.cosmeticseurope.eu/>
- Crenna E., Sozzo S., Sala S. (2018). Natural biotic resources in LCA: Towards an impact assessment model for sustainable supply chain management; *Journal of cleaner production*; 172, 3669-3684.
- Crutzen P. (2002). "Geology of mankind." *Nature* 415, 23.
- D'Amato D., Droste N., Allen B., Kettunen M., Lähtinen K., Korhonen J., Leskinene P., Matthies B.D. & Toppinen A. (2017). Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues; *Journal of Cleaner Production*; 168, 716-734.
- European Commission. (2012). Communication from the Commission – Innovating for Sustainable Growth: a Bioeconomy for Europe.
- Lizasoain-Arteaga E., Indacochea-Vega I., Pascual-Munoz P., Castro-Fresno D. (2019) Environmental impact assessment of induction-heated asphalt mixtures. *Journal of Cleaner Production* vol (208): 1546-1556.
- Martinez S., Bessou C., Hure L., Guilbot J. & Helias A. (2017). The impact of palm oil feedstock within the LCA

of a bio-sourced cosmetic cream; *Journal of cleaner production*; 145, 348-360.

- McCormick K., Kautto N. (2013). The bioeconomy in Europe: An overview; *Sustainability*; 5(6), 2589-2608.
- Muñoz I., Gómez M.J., Molina-Diaz A., Huijbregts M.A.J., Fernandez-Alba A.R., Garcia-Calvo E. (2008). Ranking potential impacts of priority and emerging pollutants in urban wastewater through life cycle impact assessment; *Chemosphere*; 74, 37 e 44.
- Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson Å., Chapin F.S. III, Lambin E., Lenton T.M., Scheffer M., Folke C., Schellnhuber H.J., Nykvist B., de Wit C.A., T. Hughes, van der Leeuw S., Rodhe H., Sörlin S., Snyder P.K., Costanza R., Svedin U., Falkenmark M., Karlberg L., Corell R.W., Fabry V.J., Hansen J., Walker B., Liverman D., Richardson K., Crutzen P., Foley J. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecol. Soc.* 14, 32.
- Sahota A. (2014). Sustainability: how the cosmetics industry is greening up; John Wiley & Sons.
- Secchi M., Castellani V., Collina E., Mirabella N., Sala S. (2016). Assessing eco-innovations in green chemistry: Life Cycle Assessment (LCA) of a cosmetic product with a bio-based ingredient; *Journal of cleaner production*; 129, 269-281.
- Siracusa V., Ingraio C., Lo Giudice A., Mbohwa C., Dalla Rosa M. (2014). Environmental assessment of a multilayer polymer bag for food packaging and preservation: An LCA approach. *Food Research International*, vol 62: 151-161.
- Stahel W.R. (2016). The circular economy; *Nature News*; 531(7595), 435.
- Steffen W., Richardson K., Rockström J., Cornell S.E., Fetzer I., Bennett E.M., Biggs R., Carpenter S.R., de Vries W., de Wit C.A., Folke C., Gerten D., Heinke J., Mace G.M., Persson L.M., Ramanathan V., Reyers B., Sörlin S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347: 736, 1259855.
- Thinkstep A.G., 2018. GaBi Database for Life Cycle Engineering in GaBi software System.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (UNDESA). (2015). World Population Prospects: the 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP.241.
- United Nations General Assembly. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, Resolution adopted by the General Assembly. A/RES/70/1. UN.

## RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro fa parte del percorso di Biocirce – Bioeconomy in the circular economy, master interuniversitario di II livello attivato dal Dipartimento di Biotecnologie e Bioscienze dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca, congiuntamente a Università degli Studi di Napoli "Federico II", Università degli Studi di Torino e Università degli Studi di Bologna. Biocirce ha l'obiettivo di far incontrare aziende attive nella bioeconomia circolare con figure professionali nei settori della economia che si basano su un uso responsabile e sostenibile di risorse biologiche e di processi biotecnologici.



# INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2019 è sostenuta da:



INGEGNERIA  
DELL'AMBIENTE



N. 2/2019

