



**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI ECONOMIA “GIORGIO FUÀ”**

Corso di Laurea Magistrale in Management della Sostenibilità ed Economia Circolare

**STRUMENTI SEMPLIFICATI DI LIFE CYCLE
ASSESSMENT NELLE PICCOLE MEDIE IMPRESE: UN
CASO STUDIO NEL SETTORE TESSILE**

**SIMPLIFIED LIFE CYCLE ASSESSMENT TOOLS IN
SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES: A CASE STUDY
IN THE TEXTILE SECTOR**

Relatrice:

Prof.ssa Marta Rossi

Tesi di Laurea di:

Michael Cannito

Anno Accademico 2025 – 2026

INDICE

INTRODUZIONE.....	1
CAPITOLO 1 - LA LIFE CYCLE ASSESSMENT: STORIA, PRINCIPI E APPLICAZIONI.....	5
1.1 - ORIGINI E SVILUPPO DELLA LIFE CYCLE ASSESSMENT	5
1.2 - NORME DI RIFERIMENTO	6
1.3 - LE FASI DELLA LCA.....	9
1.3.1 Definizione dell'obiettivo e campo di applicazione.....	10
1.3.2 Analisi d'inventario	11
1.3.3 Valutazione degli impatti	12
1.3.4 Interpretazione dei risultati.....	13
CAPITOLO 2 – ANALISI DEL CICLO DI VITA: DAI TOOL SEMPLIFICATI AI SOFTWARE OPEN SOURCE	15
2.1 - ECOBALYSE.....	16
2.2 - 2030 CALCULATOR	18
2.3 – CARBONGRPAH	19
2.4 – ECOCHAIN	21
2.5 – OPENLCA	22
CAPITOLO 3 – CASO STUDIO: DESCRIZIONE DEI PRODOTTI ANALIZZATI.....	27
CAPITOLO 4 – CASO STUDIO: METODOLOGIA DI ANALISI LCA E MODELLAZIONE DEI PRODOTTI	35

4.1 - MODELLAZIONE MEDIANTE 2030 CALCULATOR	37
4.1.1 Confini del sistema	37
4.1.2 Modellazione dei materiali, processi e trasporti	38
4.1.4 Assunzioni e limiti del tool	39
4.1.5 Risultati ottenuti	39
4.2 – MODELLAZIONE MEDIANTE ECOBALYSE.....	42
4.2.1 Confini del sistema	42
4.2.2 Modellazione dei materiali, processi e trasporti	43
4.2.3 Assunzioni e limiti del tool	44
4.2.4 Risultati ottenuti	45
4.3 - MODELLAZIONE MEDIANTE CARBONGRAPH.....	48
4.3.1 Confini del sistema	48
4.3.2 Modellazione dei materiali, processi e trasporti	49
4.3.3 Assunzioni e limiti del tool	50
4.3.4 Risultati ottenuti	50
4.4 - MODELLAZIONE MEDIANTE SIMAPRO	53
4.4.1 Unità funzionale	54
4.4.2 Confini del sistema	54
4.4.3 Modellazione dell’inventario	55
4.4.4 Assunzioni metodologiche	56
4.4.5 Risultati ottenuti	57

CAPITOLO 5 – CASO STUDIO: CONFRONTO DEI RISULTATI E CONSIDERAZIONI FINALI.....	62
5.1 - CONFRONTO DEI RISULTATI.....	63
5.2 - ANALISI DELLE DIFFERENZE METODOLOGICHE TRA I TOOL .	67
5.3 - APPLICABILITÀ DEGLI STRUMENTI SEMPLIFICATI NELLE PICCOLE E MEDIE IMPRESE	70
5.4 – LIMITI DELLO STUDIO.....	73
5.5 – CONSIDERAZIONI FINALI.....	74
CONCLUSIONI.....	76
BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI	80

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni la crescente attenzione verso le tematiche ambientali ha portato imprese, istituzioni e consumatori a considerare con sempre maggiore interesse gli impatti associati alla produzione e al consumo di beni e servizi. In questo contesto, la necessità di disporre di strumenti in grado di misurare e valutare tali impatti è diventata un elemento centrale per supportare decisioni orientate alla sostenibilità e individuare possibili strategie di miglioramento.

Tra le metodologie maggiormente utilizzate a questo scopo vi è la Life Cycle Assessment (LCA), un approccio che consente di analizzare gli impatti ambientali associati a un prodotto lungo il suo ciclo di vita, considerando le diverse fasi che vanno dall'approvvigionamento delle materie prime fino alla gestione del fine vita. Grazie alla sua capacità di fornire una visione complessiva del sistema analizzato, la metodologia LCA è oggi riconosciuta come uno degli strumenti di riferimento per la valutazione delle prestazioni ambientali di prodotti e processi.

Nonostante i vantaggi offerti da tale approccio, la realizzazione di uno studio LCA completo richiede generalmente competenze specifiche, una significativa disponibilità di dati e l'utilizzo di software e database specializzati. Tali aspetti possono rappresentare un limite soprattutto per le piccole e medie imprese, che costituiscono una componente essenziale del tessuto produttivo nazionale ed europeo. In molti casi, infatti, queste realtà non dispongono delle risorse

economiche, delle competenze tecniche o del tempo necessario per sviluppare analisi ambientali approfondite mediante software professionali. Proprio per rispondere a queste esigenze, negli ultimi anni si è assistito alla diffusione di numerosi strumenti semplificati per la valutazione ambientale dei prodotti. Tali strumenti si caratterizzano per procedure di modellazione più snelle, un minor numero di dati richiesti e una maggiore facilità di utilizzo rispetto ai software LCA tradizionali. Di conseguenza, essi rappresentano una soluzione potenzialmente interessante per tutte quelle imprese che intendono avvicinarsi alle tematiche della sostenibilità ambientale senza affrontare la complessità di uno studio LCA completo.

Tuttavia, la semplificazione dei processi di modellazione comporta inevitabilmente alcune limitazioni. L'utilizzo di dataset medi, la presenza di scenari standardizzati e la necessità di introdurre assunzioni metodologiche possono influenzare i risultati ottenuti e la capacità dello strumento di rappresentare accuratamente le caratteristiche specifiche del sistema analizzato. Per questo motivo risulta particolarmente interessante comprendere fino a che punto tali strumenti siano effettivamente in grado di supportare le imprese nella valutazione degli impatti ambientali dei propri prodotti.

Alla luce di queste considerazioni, il presente lavoro si propone di analizzare l'applicabilità degli strumenti semplificati di LCA nel contesto delle piccole e medie imprese, valutandone potenzialità e limiti attraverso il confronto con una

modellazione sviluppata mediante un software LCA tradizionale. L'obiettivo dello studio non è quello di effettuare una semplice comparazione dei risultati, ma comprendere come le differenti scelte metodologiche influenzino la quantificazione degli impatti ambientali, la rappresentazione delle diverse fasi del ciclo di vita e la capacità di individuare le principali fonti di impatto associate al prodotto. Parallelamente, il lavoro mira a verificare se tali strumenti possono rappresentare una soluzione concretamente applicabile e affidabile in contesti caratterizzati da disponibilità limitata di dati, competenze e risorse economiche.

L'analisi è stata sviluppata attraverso un caso studio nel settore tessile, prendendo in esame due prodotti caratterizzati da differenti composizioni materiali e configurazioni costruttive. Per ciascun prodotto è stata realizzata una modellazione mediante tre strumenti semplificati (2030 Calculator, Ecobalyse e CarboGraph) e successivamente mediante il software SimaPro, utilizzato come riferimento per il confronto. Durante le attività di modellazione si è reso necessario introdurre alcune assunzioni metodologiche legate alle caratteristiche dei singoli strumenti, alla disponibilità dei dataset e all'assenza, in alcuni casi, di categorie specifiche per i prodotti oggetto di studio. Tali aspetti sono stati esplicitati e discussi nel corso dell'elaborato al fine di garantire la massima trasparenza nell'interpretazione dei risultati.

Il lavoro è articolato in cinque capitoli. Nel primo capitolo vengono introdotti i principali concetti teorici relativi alla sostenibilità ambientale e alla metodologia

LCA, approfondendone caratteristiche, finalità e principali fasi operative. Il secondo capitolo è dedicato all'analisi degli strumenti semplificati e open source e alle loro caratteristiche rispetto ai software LCA tradizionali.

Nel terzo capitolo viene presentato il caso studio e vengono descritti i prodotti analizzati, le informazioni raccolte e le scelte metodologiche adottate per la costruzione dell'inventario. Il quarto capitolo è invece dedicato alla modellazione sviluppata nei diversi strumenti, illustrando per ciascun tool i confini del sistema, le assunzioni introdotte, i dati utilizzati e i risultati ottenuti.

Infine, nel quinto capitolo viene sviluppato il confronto tra i risultati restituiti dai diversi strumenti, analizzando le differenze e le possibili cause alla luce delle rispettive caratteristiche metodologiche. Tale confronto costituisce la base per le considerazioni finali sull'effettiva applicabilità dei tool semplificati nei contesti produttivi di piccola e media dimensione e sul loro potenziale contributo nell'ambito delle attività di valutazione ambientale e supporto alle decisioni aziendali.

CAPITOLO 1 - LA LIFE CYCLE ASSESSMENT: STORIA, PRINCIPI E APPLICAZIONI.

1.1 - ORIGINI E SVILUPPO DELLA LIFE CYCLE ASSESSMENT

La Life Cycle assessment (LCA), ovvero la valutazione del ciclo di vita, costituisce lo strumento operativo principale del Life Cycle Thinking (LCT) applicato all'ambito ambientale. Si tratta di una metodologia che consente di quantificare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o servizio, analizzando tutte le fasi di vita: dall'estrazione delle materie prime fino alla gestione del fine vita. Il Life Cycle Thinking è uno strumento decisionale che supporta scelte informate e sostenibili grazie ad una visione chiara dell'intero ciclo di vita. Questo approccio permette inoltre di evitare il cosiddetto “shifting”, ovvero la trasposizione degli impatti ambientali da una fase all'altra del ciclo di vita o da una categoria di impatto all'altra.

La valutazione del ciclo di vita affonda le proprie radici negli anni '60 in un contesto dove si cercano risposte all'accesso limitato alle risorse e al loro consumo. Uno dei primi studi finalizzati a quantificare il consumo di risorse, le emissioni e la produzione dei rifiuti derivanti da diversi tipi di imballaggi per bevande (plastica, vetro o alluminio) fu realizzato nel 1969 dal Midwest Research Institute (MRI) per conto della Coca-Cola. Sebbene i risultati non siano mai stati pubblicati a causa della natura confidenziale dei dati, lo studio venne utilizzato dall'azienda nei primi anni '70 come base per le proprie decisioni relative al packaging. Uno degli esiti

più significativi dello studio condotto per Coca-Cola fu la dimostrazione che le bottiglie di plastica, generalmente considerata come problematica e svantaggiosa dal punto di vista ambientale, non risultavano essere più impattanti delle bottiglie di vetro.

A partire dagli anni Novanta si è assistito a una significativa crescita delle attività legate alla LCA sia negli Stati Uniti sia in Europa. Questo crescente interesse è evidente nel numero sempre maggiore di workshop e forum promossi principalmente dalla *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC). Attraverso le proprie sedi europee e statunitensi, la SETAC ha svolto un ruolo determinante nel favorire il confronto tra professionisti, utilizzatori e ricercatori, contribuendo allo sviluppo e al miglioramento continuo della metodologia LCA. (FERREIRA J.V., ESTEVES B., CRUZ-LOPES L., DOMINGOS I., 2020)

1.2 - NORME DI RIFERIMENTO

Ad oggi, le norme ISO (International Organization for Standardization) classe 14000 per la gestione ambientale, pubblicate per la prima volta nel 1996, rappresentano il riferimento internazionale per la conduzione della Life Cycle Assessment (LCA). Le ISO attualmente utilizzate sono aggiornate al 2006:

- ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.

- ISO 14044:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.

La prima definisce i principi e il quadro generale per la conduzione della Life cycle assessment (LCA). Essa individua le principali fasi del processo, tra cui: la definizione dell'obiettivo e dell'ambito di studio, l'analisi dell'inventario del ciclo di vita (LCI), la valutazione degli impatti (LCIA), l'interpretazione dei risultati, la rendicontazione e la revisione critica. La norma ISO 14040:2006 si applica sia agli studi completi di LCA sia agli studi focalizzati sull'inventario del ciclo di vita, tuttavia, essa non fornisce indicazioni dettagliate sulle tecniche specifiche di LCA né metodologie operative per ciascuna fase. (ISO 14040, 2006)

La norma ISO 14044:2006 integra e approfondisce il quadro definito dalla ISO 14040, specificando i requisiti operativi e linee guida per la corretta applicazione della metodologia LCA. Essa fornisce indicazioni dettagliate sulle modalità di svolgimento delle diverse fasi dello studio, sui criteri di qualità dei dati, sui processi di rendicontazione e sulle condizioni per l'esecuzione della revisione critica. La norma chiarisce inoltre i criteri necessari per garantire coerenza e trasparenza nell'impostazione e nell'interpretazione degli studi. (ISO 14044, 2006).

Per rispondere alla carenza di dati e alla necessità di una maggiore standardizzazione metodologica, nel 2005 la Commissione Europea ha istituito, accanto agli standard ISO già esistenti, la European Platform on Life Cycle Assessment (EPLCA). Questa iniziativa ha dato origine a strumenti fondamentali

per la qualità e l'uniformità degli studi LCA, tra cui il Life Cycle Data Network (LCDN), volto a garantire l'accesso a dati affidabili, e l'International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook, che fornisce linee guida per l'esecuzione corretta e coerente delle valutazioni del ciclo di vita. Quest'ultimo, in particolare, è un documento che può fungere da base di riferimento per lo sviluppo di linee guida settoriali o specifiche per prodotti, nonché di criteri metodologici e strumenti semplificati. L'ILCD Handbook si basa sugli standard esistenti per la LCA, in particolare ISO 14040 e ISO 14044, che costituiscono il quadro metodologico fondamentale. Tuttavia, tali standard lasciano al professionista un certo margine di scelta che può influenzare i risultati e le conclusioni dello studio, rendendo necessarie indicazioni aggiuntive per garantire coerenza, affidabilità e qualità nelle valutazioni. A questo scopo, l'ILCD Handbook fornisce raccomandazioni specifiche sui metodi da applicare nella modellazione delle categorie di impatto più comuni, collegando le emissioni e le risorse consumate agli indicatori di impatto. (EUROPEAN UNION, 2011)

Successivamente alla pubblicazione dell'ILCD Handbook nel 2012, la Commissione Europea ha introdotto le linee guida per la Product Environmental Footprint (PEF) e per la Organization Environmental Footprint (OEF). Questi documenti rappresentano una versione sintetica e parzialmente revisionata delle linee guida ILCD, pensata per essere applicata a differenti tipologie di prodotti, servizi e organizzazioni. L'obiettivo è fornire indicazioni operative uniformi alle

imprese e agli enti che rendicontano le proprie prestazioni ambientali favorendo così maggiore coerenza e comparabilità nelle valutazioni.

1.3 - LE FASI DELLA LCA

Per ottenere una valutazione esaustiva degli impatti ambientali associati a prodotti e processi lungo l'intero ciclo di vita, è necessario seguire quattro fasi fondamentali. Queste consentono sia di garantire la comparabilità tra studi differenti, sia di sviluppare una visione complessiva delle potenziali ricadute ambientali. Le fasi previste dalla metodologia LCA comprendono la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione, l'analisi d'inventario del ciclo di vita (LCI), la valutazione degli impatti (LCIA) e, infine, l'interpretazione dei risultati. (Figura 1)

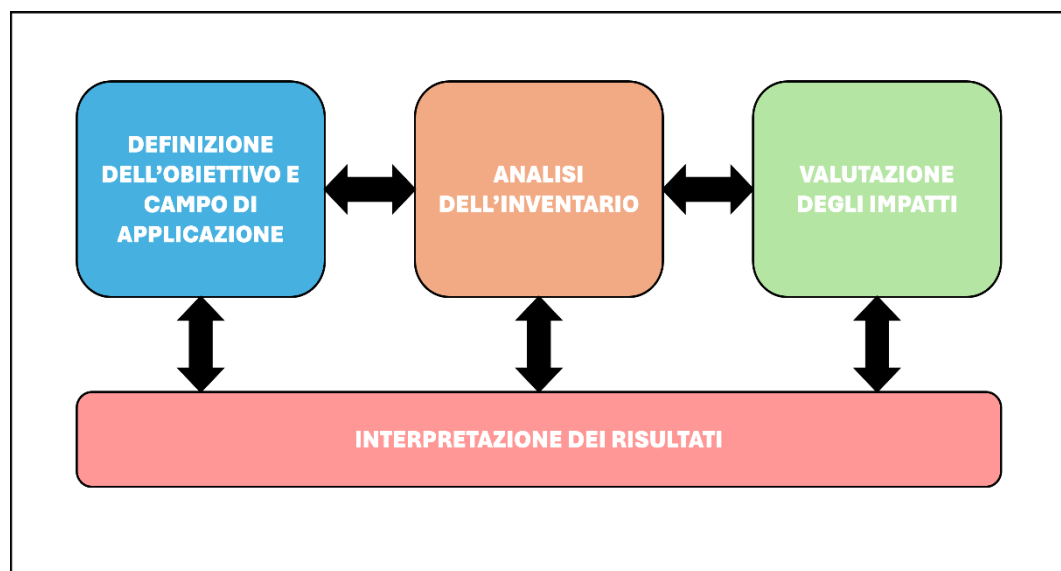


Figura 1 - Fasi metodologia LCA

1.3.1 Definizione dell'obiettivo e campo di applicazione

La fase di definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione, così come delineata dalla norma ISO 14040, rappresenta il momento introduttivo e imprescindibile di una valutazione del ciclo di vita (LCA). Essa ha la funzione di chiarire le finalità dello studio, di descrivere in modo strutturato il sistema oggetto di analisi e di individuare le categorie di dati che saranno raccolte ed elaborate nelle fasi successive.

La definizione del campo di applicazione richiede un'attenta analisi di diversi aspetti chiave, tra cui:

- Le funzioni svolte dal sistema prodotto ;
- L'unità funzionale utilizzata come riferimento ;
- I confini del sistema da analizzare ;
- I requisiti relativi alla qualità e all'affidabilità dei dati

Secondo la suddetta norma, il sistema prodotto può essere inteso come una struttura composta da più unità di processo collegate tra loro attraverso scambi di materia ed energia, che nel loro insieme consentono di svolgere una o più funzioni specifiche. All'interno di tale sistema, ogni unità di processo rappresenta un segmento operativo distinto, comprendendo tutte le attività e le trasformazioni rilevanti associate a una determinata fase del ciclo di vita del prodotto.

L'unità funzionale rappresenta l'elemento di riferimento su cui viene impostata l'intera analisi, poiché descrive in modo quantitativo il prodotto, il servizio o la funzione oggetto di studio. Essa costituisce il parametro rispetto al quale tutti i flussi in ingresso e in uscita vengono rapportati garantendo coerenza all'interno della valutazione.

La definizione dei confini iniziali del sistema-prodotto costituisce un passaggio fondamentale nell'impostazione di un'analisi LCA, poiché consente di individuare con precisione le unità di processo coinvolte e le relazioni tra esse. Si effettua una selezione delle componenti effettivamente rilevanti, escludendo gli elementi che risultano essere marginali ai fini dell'analisi, e includendo, qualora necessario, componenti inizialmente ritenute non significative.

Infine, per valutare la solidità dei risultati ottenuti e garantirne un'interpretazione accurata, è indispensabile fornire una descrizione della qualità dei dati utilizzati come riferimento.

1.3.2 Analisi d'inventario

L'analisi d'inventario include sia la fase di acquisizione dei dati sia le procedure di elaborazione necessarie a quantificare in modo rigoroso i flussi in ingresso e in uscita associati al sistema-prodotto.

Per effettuare una raccolta dati accurata è indispensabile disporre di una conoscenza completa e dettagliata di tutte le unità di processo che compongono il sistema.

Idealmente, le informazioni dovrebbero provenire direttamente dalle aziende che hanno commissionato lo studio, configurandosi così come dati primari. Qualora tali dati non siano disponibili, è possibile ricorrere a dati secondari, ottenuti da database specifici integrati nei software LCA. La norma ISO 14044 stabilisce diversi criteri di qualità che i dati devono soddisfare, includendo aspetti temporali, geografici e tecnologici, oltre a requisiti quali precisione, rappresentatività, coerenza e riproducibilità.

1.3.3 Valutazione degli impatti

La valutazione dell'impatto del ciclo di vita ha l'obiettivo di individuare e misurare gli aspetti ambientali rilevanti, includendo l'impiego di risorse e gli impatti che si manifestano su scala globale, regionale e locale. In questa fase i flussi di materia ed energia ottenuti dall'inventario vengono trasformati in contributi alle varie categorie d'impatto ambientale, così da valutare in che misura le attività produttive influiscano sull'ambiente attraverso emissioni e consumi di risorse. Ogni categoria di impatto può essere collegata a uno o più effetti ambientali; di conseguenza, spetta al responsabile dell'analisi stabilire quali categorie considerare e con quale livello di dettaglio, mantenendo coerenza con gli obiettivi e la struttura dello studio definiti inizialmente. Proprio per l'inevitabile presenza di componenti discrezionali, è essenziale esplicitare in modo trasparente tutte le ipotesi e le scelte metodologiche che guidano l'analisi.

Generalmente si fa riferimento a categorie di impatto predefinite. Per ciascuna categoria è fondamentale individuare gli endpoints, ossia gli attributi dell'ambiente, della salute o delle risorse che consentono di caratterizzare il tipo di impatto ambientale considerato. Parallelamente, occorre definire l'indicatore di categoria, che rappresenta in termini quantitativi la rilevanza della categoria stessa, e il fattore di caratterizzazione, impiegato per convertire i dati dell'inventario del ciclo di vita in unità comuni, permettendo così di stimare l'intensità degli effetti delle sostanze sull'ambiente.

1.3.4 Interpretazione dei risultati

L'interpretazione dei risultati rappresenta la fase conclusiva dell'analisi LCA, durante la quale i dati raccolti e i risultati derivanti dalle fasi di inventario e di valutazione degli impatti vengono sintetizzati e valutati. Lo scopo principale consiste nel trarre conclusioni e formulare raccomandazioni in linea con gli obiettivi e l'ambito di studio. Inoltre, questa fase garantisce che i risultati siano presentati in maniera trasparente e comprensibile, offrendo uno strumento utile sia ai decisori sia a eventuali soggetti esterni interessati alle informazioni prodotte.

La fase di interpretazione si suddivide in tre momenti principali: identificazione dei fattori significativi, valutazione della qualità dei risultati e formulazione di conclusioni e raccomandazioni. Nella prima fase si analizzano le metodologie, le assunzioni e le ipotesi adottate, i risultati delle fasi precedenti e il ruolo delle parti

interessate, valutando la rilevanza rispetto al contesto specifico del sistema-prodotto.

La valutazione mira a garantire l'affidabilità dei risultati attraverso controlli di completezza, sensibilità e coerenza. Il primo verifica la disponibilità di tutti i dati necessari, il secondo ne valuta l'influenza sulle conclusioni, il terzo ne controlla la congruenza con obiettivi e campo di applicazione.

Infine, la fase si conclude con la formulazione di conclusioni e, se opportuno, raccomandazioni, offrendo uno strumento chiaro e trasparente per supportare decisioni informate e coerenti con gli obiettivi dello studio.

CAPITOLO 2 – ANALISI DEL CICLO DI VITA: DAI TOOL SEMPLIFICATI AI SOFTWARE OPEN SOURCE

Negli ultimi anni la valutazione del ciclo di vita (LCA) è diventata uno strumento sempre più rilevante per supportare le decisioni orientate alla sostenibilità. La crescente sensibilità, unita alla necessità di quantificare e comunicare gli impatti di prodotti, servizi e processi, ha portato alla diffusione di una grande varietà di strumenti digitali progettati per facilitare l'applicazione dell'LCA anche al di fuori dei contesti specialistici. Parallelamente ai software professionali (SimaPro, GaBi), sono emersi tool più immediati e facilmente utilizzabili, spesso gratuiti o open access, pensati per rendere l'analisi LCA accessibile a un pubblico più ampio e non necessariamente esperto.

I tool LCA semplificati rispondono alla necessità di integrare considerazioni ambientali fin dalla prime fasi di progettazione. Grazie a interfacce intuitive, librerie di dati preimpostate e procedure guidate, consentono di ottenere indicatori ambientali utili a orientare scelte progettuali, identificare punti critici e confrontare rapidamente scenari alternativi. Pur non sostituendo un'analisi LCA completa, permettono di ragionare in termini di impatti già nelle fasi preliminari, contribuendo a evitare scelte progettuali insostenibili.

I software open access, come OpenLCA, offrono un livello di dettaglio superiore pur mantenendo la caratteristica della gratuità. Oltre alla flessibilità tecnica, questi strumenti presentano un evidente vantaggio economico, poiché permettono di

accedere a funzionalità avanzate senza sostenere i costi delle licenze dei software commerciali. Per molte aziende, soprattutto piccole e medie imprese, la possibilità di utilizzare piattaforme gratuite rappresenta un'opportunità concreta per integrare la LCA nei propri processi decisionali senza un investimento iniziale significativo. È tuttavia importante sottolineare che la scelta tra tool semplificati, software open source o soluzioni professionali deve essere sempre ponderata in base a livello di dettaglio e alla qualità dei risultati che si desidera ottenere. Difatti, l'economicità degli strumenti open source e dei tool semplificati non deve essere interpretata come una soluzione universale, ma come una risorsa da scegliere consapevolmente in funzione degli obiettivi dell'analisi.

Di seguito verranno analizzati alcuni tra i principali strumenti appartenenti alle due categorie, con l'obiettivo di comprenderne le caratteristiche, il livello di complessità, i vantaggi (inclusi quelli economici), e le limitazioni, con particolare attenzione agli strumenti maggiormente idonei per il settore tessile e dell'abbigliamento. L'analisi permetterà di discutere in che modo tali strumenti possono essere applicati in contesti differenti e come possono facilitare l'integrazione di considerazioni ambientali lungo tutto il processo decisionale.

2.1 - ECOBALYSE

Ecobalyse è uno strumento di Life Cycle Assessment semplificato sviluppato in Francia dal Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires,

con il supporto tecnico dell'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), e si inserisce nel più ampio progetto nazionale di *affichage environnemental*. Il tool è attualmente concepito in modo specifico per il settore tessile e dell'abbigliamento e nasce con l'obiettivo di rendere misurabile e comunicabile l'impatto ambientale dei prodotti attraverso un indicatore sintetico e comparabile. In particolare, Ecobalyse mira a fornire un punteggio ambientale ufficiale basato sui principi dell'analisi del ciclo di vita, analogo, alle etichettature energetiche già diffuse in altri ambiti. L'approccio adottato risponde a un duplice obiettivo governativo: informare i consumatori mediante dati chiari e facilmente interpretabili così da orientare le scelte di acquisto verso prodotti a minore impatto ambientale, e incentivare le imprese del settore a migliorare la progettazione dei propri prodotti, intervenendo su materiali, processi e durata, al fine di ridurre gli impatti complessivi.

Dal punto di vista metodologico, la semplificazione di Ecobalyse si fonda sulla standardizzazione di diverse fasi del ciclo di vita, tra cui distribuzione, uso e fine vita, che vengono predefinite sulla base di scenari medi elaborati dall'ADEME per garantire la confrontabilità tra prodotti appartenenti alla stessa categoria. I dati richiesti all'utente sono limitati a pochi parametri essenziali, come massa, composizione dei materiali e luogo di produzione, mentre variabili più tecniche risultano bloccate nella versione standard dello strumento. Questa scelta progettuale riduce significativamente l'onere informativo e il rischio di interpretazioni

soggettive, rendendo il tool accessibile anche a utenti non esperti di LCA; tuttavia, comporta una minore flessibilità e limita la possibilità di rappresentare scenari specifici o soluzioni innovative. Ne consegue che Ecobalyse si configura prevalentemente come uno strumento di screening e di supporto alla comunicazione ambientale, più che un software LCA destinato ad analisi approfondite o a fini di certificazione.

2.2 - 2030 CALCULATOR

Il 2030 Calculator, sviluppato dalla società svedese Doconomy in collaborazione con le Nazioni Unite e altre organizzazioni internazionali, si configura come uno strumento semplificato finalizzato alla stima dell'impronta di carbonio dei prodotti. A differenza di un'analisi del ciclo di vita completa, il tool è specificatamente orientato al calcolo della *Product Carbon Footprint*, espressa in chilogrammi di CO₂ equivalente per unità funzionale, e non considera in modo sistematico l'insieme delle categorie di impatto ambientale tipicamente incluse in una LCA multi-impatto. Il principale obiettivo del 2030 Calculator è rendere il calcolo delle emissioni accessibile, rapido e comparabile, soprattutto per piccole e medie imprese, designer e brand che non dispongono delle risorse tecniche ed economiche necessarie per condurre studi LCA approfonditi.

Il funzionamento dello strumento si basa su modelli preconfigurati per diverse categorie di prodotto e su dati secondari provenienti da database LCA

internazionali. L'utente è chiamato a inserire informazioni relative a materiali, processi produttivi, trasporti, consumi energetici e imballaggi, mentre l'elaborazione dei risultati avviene in modo automatico. Il valore restituito è accompagnato da una scomposizione semplificata delle emissioni per fase del ciclo di vita, che consente di individuare le principali fonti di impatto e orientare eventuali scelte progettuali o strategiche verso le fasi più critiche. Questa impostazione rende il 2030 Calculator particolarmente efficace come strumento di screening e di supporto decisionale preliminare, nonché come ausilio alla comunicazione ambientale e alla rendicontazione ESG. Tuttavia, la focalizzazione esclusiva sulle emissioni di gas serra e l'utilizzo di dati medi comportano inevitabili approssimazioni e limitano la capacità dello strumento di cogliere la complessità degli impatti ambientali associati a un prodotto. Di conseguenza, pur essendo basato su principi riconducibili all'approccio LCA, il 2030 Calculator non può sostituire una valutazione completa conforme agli standard internazionali, ma si colloca piuttosto come strumento complementare, utile nelle fasi iniziali di analisi o nei contesti in cui è richiesto un indicatore sintetico e immediatamente interpretabile delle emissioni di carbonio.

2.3 – CARBONGRPAH

CarbonGraph è una piattaforma software orientata alla modellazione e all'analisi dell'impatto ambientale dei prodotti e delle filiere produttive, che si colloca in una

posizione intermedia tra i tool di screening semplificati e i software LCA tradizionali. Lo strumento consente di modellare il ciclo di vita completo del prodotto, includendo approvvigionamento delle materie prime, produzione, distribuzione, uso e fine vita, supportando non solo la quantificazione delle emissioni di gas serra, ma anche l'analisi di ulteriori categorie di impatto ambientale, in linea con i principali riferimenti metodologici dell'LCA, quali gli standard ISO 14040 e ISO 14044. Una delle caratteristiche distintive di CarbonGraph è l'adozione di un approccio a grafo, in cui processi, componenti e flussi di materia ed energia sono rappresentati come nodi e connessioni, permettendo una visualizzazione immediata delle relazioni tra le diverse fasi del ciclo di vita e delle relative responsabilità in termini di impatto. La piattaforma prevede una duplice modalità di accesso: una versione più aperta e semplificata, pensata per analisi preliminari e attività di screening, che consente di ottenere rapidamente una stima dell'impatto ambientale a partire da informazioni di base, e una versione professionale a pagamento, che offre funzionalità avanzate di modellazione, integrazione dei dati, analisi multi-impatto e simulazioni di scenari alternativi. Questa distinzione rende CarbonGraph utilizzabile sia nelle fasi iniziali di progettazione, quando è necessario individuare rapidamente gli hot-spot ambientali, sia in contesti decisionali più maturi, in cui sono richieste analisi più approfondite e supporto strutturato alle strategie di miglioramento. L'impostazione

grafica facilita inoltre la comunicazione dei risultati anche a stakeholder non tecnici, favorendo il dialogo tra funzioni aziendali diverse.

L'efficacia dello strumento dipende in larga misura dalla qualità e dalla disponibilità dei dati di input, la cui raccolta può risultare complessa, soprattutto in presenza di filiere articolate. Inoltre, nonostante l'approccio più agile rispetto ai software LCA tradizionali, l'utilizzo delle funzionalità avanzata richiede competenze metodologiche adeguate alla definizione corretta dei confini di sistema, delle assunzioni e delle modalità di interpretazione dei risultati.

2.4 – ECOCHAIN

Ecochain è una piattaforma professionale per la Life Cycle Assessment e la gestione dell'impronta ambientale dei prodotti, sviluppata dalla società olandese Ecochain Technologies, che si colloca nella categoria dei tool LCA semplificati pur essendo basata su un modello di accesso a pagamento. Lo strumento è progettato per supportare le aziende nella misurazione, nel miglioramento e nella comunicazione degli impatti ambientali, offrendo un compromesso tra rigore metodologico e facilità d'uso. Rispetto ai calcolatori più semplici orientati allo screening preliminare, Ecochain mette a disposizione funzionalità più strutturate e una copertura più ampia delle categorie di impatto ambientale, consentendo analisi approfondite e maggiormente integrate nei processi decisionali aziendali. Simultaneamente, rispetto ai software LCA tradizionali ad alta flessibilità, come

SimaPro, Ecochain adotta un'impostazione guidata e standardizzata, che riduce la complessità della modellazione e limita la libertà metodologica dell'utente, rendendo l'analisi accessibile anche a soggetti non specialisti. La piattaforma offre diverse soluzioni per l'analisi a livello di singolo prodotto e per la valutazione di ampi portafogli, risultando particolarmente adatta a imprese con cataloghi articolati che necessitano di una visione sistematica dell'impronta ambientale. I risultati includono diverse categorie di impatto, come emissioni di gas serra, consumo di risorse ed energia, oltre a indicatori aggregati che permettono una lettura sintetica degli effetti ambientali complessivi e possono essere utilizzati sia per il miglioramento interno sia per finalità di comunicazione e conformità normativa.

L'accesso alla funzionalità avanzata richiede un investimento economico e un livello di competenze metodologiche superiore rispetto ai tool semplificati precedentemente analizzati, collocando Ecochain in una posizione intermedia, più articolata e completa rispetto agli strumenti di screening, ma comunque semplificata rispetto ai software LCA completi utilizzati in ambito accademico e di ricerca.

2.5 – OPENLCA

OpenLCA è un software open-source per la valutazione del ciclo di vita sviluppato da GreenDelta GmbH, che consente di realizzare studi LCA completi in conformità agli standard internazionali di riferimento. Il software è liberamente scaricabile e

utilizzabile, caratteristica che ne aumenta l'accessibilità rispetto a soluzioni commerciali come SimaPro, pur considerando che non tutti i database di inventario del ciclo di vita siano disponibili gratuitamente. Dal punto di vista operativo, OpenLCA permette di rappresentare in modo dettagliato il ciclo di vita di un prodotto o servizio, articolando il sistema in processi collegati tra loro attraverso flussi di materia ed energia. L'impostazione modulare consente di descrivere con precisione le diverse fasi del ciclo di vita, dalla produzione delle materie prime fino al fine vita, lasciando ampia libertà nella definizione dei confini del sistema, delle assunzioni metodologiche e degli scenari di analisi. Un elemento distintivo del software è la possibilità di integrare differenti database di inventario tramite la piattaforma OpenLCA Nexus, che mette a disposizione sia banche dati gratuite sia database commerciali di elevata qualità, consentendo di adattare il livello di dettaglio dell'analisi alle risorse disponibili. Questo elevato grado di flessibilità garantisce controllo sul modello, ma richiede al contempo una solida conoscenza della metodologia LCA per un utilizzo consapevole dello strumento. Per tali ragioni, OpenLCA non può essere considerato un tool semplificato, ma piuttosto un'alternativa open-source ai software LCA commerciali, caratterizzata da costi di accesso ridotti e maggiore responsabilità dell'utente nella costruzione e nell'interpretazione dei modelli.

In questo capitolo sono stati presentati e discussi alcuni strumenti semplificati e open-source di Life Cycle Assessment, mettendo in evidenza caratteristiche, finalità

e differenze in termini di complessità e ambito di applicazione. L'analisi ha permesso di distinguere tra tool LCA semplificati, pensati per attività di screening e supporto decisionale preliminare, e software LCA più completi, utilizzati come riferimento per valutazioni più approfondite.

A chiusura del capitolo, una tabella riassuntiva (Tabella 2.1) sintetizza i tool analizzati, fornendo un quadro di riferimento utile per una rapida e intuitiva lettura.

TABELLA 2.1 – RIEPILOGO TOOL SEMPLIFICATI E OPEN SOURCE

Tool	Risultato	Accesso	Costo	Utilizzo	Settore di applicazione	Livello utente
Ecobalyse	Score ambientale sintetico	Online	Gratuito (free access)	Molto semplice	Settore tessile e alimentare	Base - principianti
2030 Calculator	Carbon footprint di un prodotto	Online	Gratuito (free access)	Molto intuitivo	Prodotti di consumo	Base
CarbonGraph	Modellazione LCA completa	Online	Versione gratuita + versione pro a pagamento	Interfaccia user-friendly	Industria e beni di consumo	Intermedio
Ecochain	Piattaforma di automazione LCA	Online	A pagamento	Interfaccia intuitiva ma richiede conoscenze di base	Manifattura e produzione industriale	Intermedio - avanzato
OpenLca	Software completo	Software desktop	Gratuito con database a pagamento	Interfaccia tecnica	Ricerca, consulenza, industria avanzata	Avanzato - esperto

La tabella riepilogativa evidenzia come i diversi strumenti si differenziano in modo significativo per finalità, livello di dettaglio e grado di complessità di utilizzo. Dall'analisi emerge che i tool non sono alternativi tra loro in senso assoluto, ma rispondono a esigenze diverse a seconda del contesto applicativo e delle competenze dell'utente.

Strumenti come Ecobalyse e 2030 Calculator si caratterizzano per un approccio molto semplificato, basato su indicatori sintetici e su un'interazione intuitiva. Questi strumenti risultano particolarmente adatti a una prima valutazione degli impatti ambientali di prodotti di consumo e trovano applicazione soprattutto in ambito divulgativo e nelle fasi preliminari di progettazione, dove l'obiettivo principale è ottenere una stima rapida e facilmente interpretabile.

CarbonGraph rappresenta invece una soluzione intermedia, in grado di offrire una modellazione LCA più strutturata mantenendo un'interfaccia user-friendly. Questo tipo di piattaforma si colloca tra i tool semplificati e i software specialistici, risultando adatta a contesti industriali e aziendali in cui è richiesto un maggiore livello di dettaglio, ma senza la complessità tipiche dei software professionali.

Strumenti come Ecochain e OpenLCA si rivolgono infine a un'utenza più esperta e a contesti produttivi o di ricerca avanzata. In particolare, OpenLCA si configura come un software completo, capace di supportare analisi approfondite e metodologicamente rigorose, ma che richiede competenze tecniche specifiche e un maggiore investimento in termini di tempo e conoscenza.

Nel complesso, la tabella consente di inquadrare in modo chiaro i punti di forza e i limiti di ciascun tool, mettendo in evidenza le differenze in termini di approccio, livello di dettaglio e tipologia di risultati. Tale confronto permette di comprendere come strumenti diversi possano fornire letture complementari degli impatti ambientali, a seconda del grado di semplificazione adottato.

Nel capitolo successivo, queste considerazioni verranno applicate concretamente all'analisi dei casi studio, attraverso l'utilizzo dei diversi tool al fine di confrontarne i risultati e valutarne le potenzialità e i limiti applicativi.

CAPITOLO 3 – CASO STUDIO: DESCRIZIONE DEI PRODOTTI ANALIZZATI

Il presente capitolo introduce il contesto all'interno del quale si colloca l'analisi svolta in questo lavoro. Lo studio prende in esame una piccola impresa marchigiana operante nel settore tessile, specializzata nella produzione di accessori di abbigliamento, in particolare cappelli e copricapi destinati a differenti stagionalità e utilizzi.

Il settore tessile rappresenta uno degli ambiti manifatturieri a maggiore impatto ambientale, sia per l'elevato consumo di risorse materiali ed energetiche, sia per la complessità delle filiere di approvvigionamento. In questo contesto, anche le PMI si trovano sempre più spesso a dover affrontare tematiche legate alla sostenibilità ambientale, alla trasparenza delle informazioni di prodotto e alla comunicazione delle performance ambientali.

L'analisi sviluppata in questo capitolo si inserisce quindi in un quadro di crescente attenzione verso la misurazione dell'impronta ambientale dei prodotti, con l'obiettivo di valutare in che modo strumenti di Life Cycle Assessment, anche in versione semplificata, possono supportare le imprese di dimensioni ridotte nei processi decisionali e strategici.

L'analisi ambientale è stata condotta su due prodotti rappresentativi della produzione aziendale:

- Caschetto estivo, destinato a un utilizzo leggero e stagionale, caratterizzato da materiali tessili più sottili;
- Baseball invernale, progettato per un utilizzo in condizioni climatiche più rigide con componenti strutturali più robusti.

I due prodotti svolgono una funzione simile, la protezione e il comfort del capo rispettivamente durante la stagione estiva e invernale, ma si differenziano per composizione dei materiali, massa complessiva e origine geografica di alcuni componenti. Per motivi di riservatezza non si mostrano immagini reali dei prodotti.

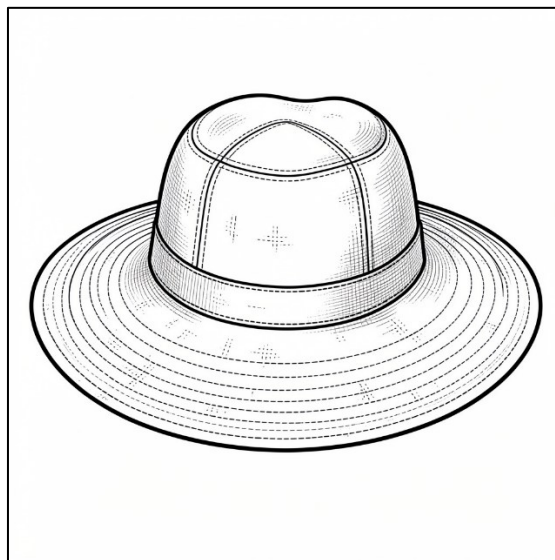


Figura 2 - Rappresentazione schematica caschetto estivo

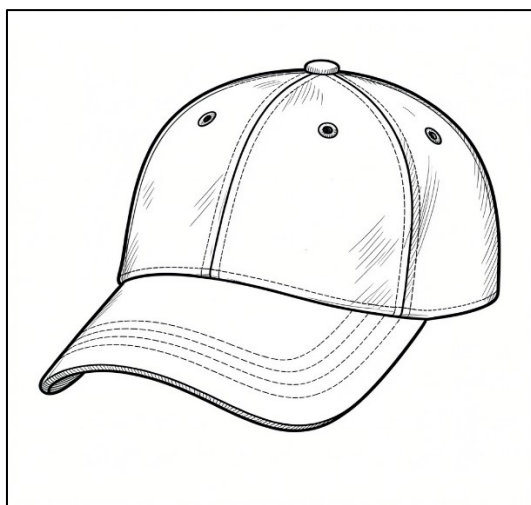


Figura 3 - Rappresentazione schematica baseball invernale

I due prodotti svolgono una funzione simile, la protezione e il comfort del capo rispettivamente durante la stagione estiva e invernale, ma si differenziano per composizione dei materiali, massa complessiva e origine geografica di alcuni componenti.

Le masse dei componenti dei due prodotti sono state determinate a partire dai dati forniti direttamente dall'azienda e da successive elaborazioni tecniche, con l'obiettivo di ricostruire in modo coerente la distinta base necessaria alla modellazione LCA. Per i materiali principali la massa è stata calcolata attraverso la relazione tra lunghezza del materiale utilizzato e densità lineare, secondo la formula:

$$m = L \times \mu$$

Dove:

- L rappresenta la lunghezza espressa in metri (m)
- μ rappresenta la densità lineare del materiale espressa in grammo su metro (g/m)

Nei casi in cui le densità lineari non fossero disponibili nei dati aziendali, esse sono state ricavate attraverso il consulto di schede tecniche di materiali analoghi e la selezione di parametri coerenti con la funzione del materiale all'interno del prodotto. Per motivi di riservatezza industriale, le masse assolute dei singoli componenti non vengono riportate; pertanto, i dati sono espressi come incidenza percentuale sul peso complessivo del prodotto.

TABELLA 3.1 - CASCHETTO ESTIVO – DISTINTA BASE E MASSE

Componente	Materiale	% su peso totale
Esterno + Ala	Lino (Italia)	34,6%
Fodera interna	Cotone (Italia)	15%
Tessuto applicato (interno + esterno)	TNT PP (Italia)	45,9%
Tergisudore	Elastan (Italia)	4,4%
Filo	Cotone (Italia)	0,1%

TABELLA 3.2 - BASEBALL INVERNALE – DISTINTA BASE E MASSE

Componente	Materiale	% su peso totale
Esterno	Lana di vigogna (Italia)	34,6%
Fodera interna	Panno (Italia)	21,4%
Tessuto applicato (interno + esterno)	TNT PP (Italia)	26%
Tergisudore	Elastan (Italia)	3%
Filo	Cotone (Italia)	0,1%
Elastico	Elastan (Italia)	0,01%
Visiera	Plastica PP (Cina)	14,3%
Bottone	Alluminio (Italia)	0,7%

**La somma delle percentuali può presentare lievi scostamenti dal 100% a causa degli arrotondamenti.*

Le masse ottenute costituiscono la base quantitativa per la modellazione dei due prodotti e garantiscono la trasparenza metodologica dell'analisi, permettendo una corretta interpretazione dei risultati LCA nelle fasi successive dello studio.

Ai fini della modellazione ambientale, è stato considerato anche il contributo del packaging primario associato ai prodotti analizzati, sulla base delle informazioni fornite direttamente dall'azienda. In particolare, è stato indicato che entrambi i

prodotti utilizzano lo stesso sistema di imballaggio, consentendo quindi di adottare un approccio uniforme alla modellazione. L'inclusione del packaging consente di considerare anche il contributo di materiali accessori che, seppur secondari rispetto al prodotto principale, possono incidere sull'impatto ambientale complessivo.

TABELLA 3.3 - PACKAGING

Componente	Materiale	% su peso totale
Carta interna alla forma	Carta (Italia)	81%
Sacchetto	Polietilene (Cina)	19%

Per quanto riguarda i trasporti, la modellazione è stata effettuata sulla base delle informazioni fornite dall'azienda, che ha indicato la provenienza geografica dei principali materiali e i relativi mezzi di trasporto utilizzati.

In particolare, l'azienda ha specificato che la maggior parte delle materie prime è approvvigionata dall'Italia, con trasporto effettuato tramite camion. Tale configurazione è stata quindi adottata come riferimento per tutti i materiali di origine nazionale, ipotizzando un trasporto su gomma su distanze medie.

Fanno eccezione alcuni componenti specifici, per i quali è stata indicata una provenienza extra-europea, in particolare dalla Cina. Per tali elementi è stato modellato un trasporto via nave dalla Cina fino all'Italia, in quanto rappresentativo delle modalità logistiche tipiche per questo tipo di forniture su lunga distanza. L'adozione di questa distinzione tra materiali locali e importati consente di rappresentare in modo più realistico la struttura della supply chain aziendale, evidenziando come il contributo dei trasporti sia influenzato sia dalla distanza geografica sia dal mezzo utilizzato.

TABELLA 3.4 - TRASPORTI

Materiale	Paese/Città del fornitore	Mezzo di trasporto usato
Tutte le materie prime (ad eccezione di PP e Polietilene)	Italia	Camion
Plastica PP	Cina	Nave
Polietilene	Cina	Nave

Il consumo di energia elettrica associato alla fase produttiva è stato modellato a partire dai dati annuali forniti dall'azienda, relativi al fabbisogno complessivo dello stabilimento. Per motivi di riservatezza industriale, il valore reale non viene riportato nel presente elaborato; tuttavia, i consumi annui risultano compresi in un

intervallo indicativo tra 10 000 e 17 000 kWh. Ai fini della modellazione LCA è stato comunque utilizzato il dato esatto fornito dall'azienda. Tale consumo è stato successivamente ripartito sul numero di unità prodotte annualmente, ottenendo un consumo medio di energia per singolo prodotto , utilizzato come input nei modelli LCA.

Infine, l'energia elettrica è stata attribuita alla fase di assemblaggio, comprendente le principali operazioni di cucitura, incollatura e stiratura. L'approccio adottato consente di rappresentare in maniera coerente il contributo energetico della produzione, mantenendo un livello di dettaglio compatibile con la disponibilità dei dati e con l'obiettivo comparativo dell'analisi.

TABELLA 3.5 - PROCESSI INTERNI ALL'AZIENDA

Tipo di risorsa	Quantità di risorsa	Descrizione
Energia elettrica (kWh)	10 000 – 17 000	Consumi riferiti alla produzione annuale

CAPITOLO 4 – CASO STUDIO: METODOLOGIA DI ANALISI LCA E MODELLAZIONE DEI PRODOTTI

Nel presente capitolo viene descritta la metodologia adottata per la valutazione degli impatti ambientali dei prodotti analizzati. L'obiettivo è definire in modo chiaro e trasparente le scelte metodologiche, i criteri di modellazione e gli strumenti utilizzati, al fine di garantire la coerenza e la confrontabilità dei risultati.

L'analisi è stata condotta attraverso l'utilizzo combinato di un software LCA tradizionale, e di diversi tool semplificati. Tale approccio consente di confrontare i risultati ottenuti mediante strumenti caratterizzati da diversi livelli di complessità, evidenziandone potenzialità e limiti nel contesto applicativo delle piccole e medie imprese.

Al fine di garantire una rappresentazione completa e comparabile dei prodotti analizzati, la modellazione è stata sviluppata separatamente per ciascuno degli strumenti considerati. In tutti i modelli sviluppati, l'unità funzionale adottata è rappresentata da un singolo cappello finito, comprensivo di packaging e pronto per la spedizione, definita in modo coerente con l'obiettivo dello studio e con i confini del sistema considerati.

In una prima fase, sono stati utilizzati i tool semplificati – 2030 Calculator, EcoBalyse e CarbonGraph – con l'obiettivo di valutare le modalità con cui tali strumenti consentono di rappresentare il ciclo di vita del prodotto attraverso un numero limitato di input e con un livello di dettaglio ridotto. Per ciascun tool, la

modellazione è stata adattata alle specifiche caratteristiche della piattaforma, introducendo le opportune assunzioni metodologiche necessarie a superare i limiti legati alla disponibilità dei dataset, alla struttura dei modelli e alle funzionalità offerte. In particolare, per ogni strumento sono stati analizzati:

- i confini del sistema adottati;
- il livello di dettaglio richiesto nella definizione dei materiali e dei processi;
- le modalità di rappresentazione delle fasi di produzione, trasporto e packaging;
- le principali semplificazioni introdotte e il loro potenziale impatto sui risultati.

Successivamente, è stata sviluppata la modellazione mediante il software SimaPro, che consente un approccio LCA più completo e dettagliato, basato su database strutturati e su una rappresentazione esplicita dei processi lungo l'intero ciclo di vita. L'utilizzo di SimaPro permette di costruire un modello di riferimento più accurato, rispetto al quale confrontare i risultati ottenuti con i tool semplificati.

Questa articolazione dell'analisi consente quindi di evidenziare non solo le differenze nei risultati finali, ma anche le diverse logiche di modellazione sottostanti ai vari strumenti, fornendo una base solida per la successiva fase di confronto e interpretazione.

4.1 - MODELLAZIONE MEDIANTE 2030 CALCULATOR

Il 2030 Calculator rappresenta uno degli strumenti semplificati utilizzati per la valutazione degli impatti ambientali per prodotti analizzati. Il tool è principalmente orientato al calcolo della Product Carbon Footprint, espressa in kg di CO₂eq per unità funzionale, e non considera in modo sistematico l'insieme delle categorie di impatto ambientale tipicamente incluse in una LCA multi-impatto.

La modellazione dei prodotti è stata sviluppata a partire dalla distinta base presentata nel capitolo precedente, adattando i dati disponibili alle categorie e alle opzioni di materiale più rappresentativa disponibile, operando una semplificazione necessaria dovuta alla struttura del tool, che presenta un numero limitato di dataset e un livello di dettaglio inferiore rispetto ai database LCA più avanzati.

4.1.1 Confini del sistema

Per quanto riguarda i confini del sistema, 2030 Calculator non consente una definizione esplicita e completamente controllabile da parte dell'utente, in quanto i modelli preconfigurati integrano automaticamente diverse fasi del ciclo di vita.

In generale, il modello adottato può essere assimilato a un approccio cradle-to-gate, in quanto considera l'approvvigionamento delle materie prime, la loro trasformazione e le fasi di produzione e trasporto, sebbene siano rappresentate in

forma aggregata. Lo strumento non prevede invece una rappresentazione esplicita delle fasi di utilizzo e fine vita, che risultano pertanto escluse dall'analisi.

4.1.2 Modellazione dei materiali, processi e trasporti

La modellazione dei materiali è stata effettuata associando ciascun componente alla categoria più affine disponibile nel tool, operando una semplificazione necessaria nei casi in cui non fosse presente una corrispondenza diretta. Tale processo ha richiesto alcune scelte interpretative, finalizzate a mantenere la coerenza tra la composizione reale dei prodotti e le opzioni offerte dal software.

La fase produttiva è stata rappresentata attraverso una modellazione aggregata, includendo le principali operazioni di lavorazione, quali cucitura, incollatura e stiratura, in un'unica fase di assemblaggio. Questa scelta è coerente con la struttura del tool e con la disponibilità dei dati aziendali, che non consentono una disaggregazione dettagliata dei consumi energetici. Il consumo di energia elettrica è stato inserito come valore medio per unità di prodotto, ottenuto dalla ripartizione dei consumi annui dello stabilimento sul numero complessivo di capi prodotti.

La modellazione dei trasporti è stata invece sviluppata sulla base delle informazioni aziendali, distinguendo tra materiali approvvigionati a livello nazionale, per i quali è stato considerato un trasporto su gomma, e componenti provenienti da fornitori extra-europei, per i quali è stato ipotizzato un trasporto via nave dalla Cina.

4.1.4 Assunzioni e limiti del tool

L'utilizzo del 2030 Calculator ha richiesto l'adozione di alcune assunzioni metodologiche.

In particolare, il livello di dettaglio limitato nella rappresentazione dei materiali ha reso necessario l'impiego di categorie generiche, mentre la struttura del modello ha imposto l'aggregazione delle fasi produttive. Inoltre, il tool è focalizzato sull'indicatore di cambiamento climatico e non consente una valutazione completa e multidimensionale degli impatti ambientali.

La limitata trasparenza sui dataset utilizzati e sui confini di sistema riduce la possibilità di analizzare nel dettaglio la distribuzione degli impatti tra le diverse fasi del ciclo di vita.

Nonostante tali limitazioni, lo strumento risulta particolarmente efficace per analisi preliminari e per contesti aziendali caratterizzati da una ridotta disponibilità di dati, consentendo di ottenere in tempo rapidi una stima coerente delle emissioni associate ai prodotti.

4.1.5 Risultati ottenuti

A seguito della modellazione descritta, il 2030 Calculator ha restituito risultati relativi all'indicatore di cambiamento climatico, che rappresenta il principale output dello strumento e costituisce la categoria di impatto su cui si basa l'intera analisi del tool. I risultati ottenuti evidenziano una differenza significativa tra i due

prodotti analizzati, con un impatto ambientale più elevato per il baseball invernale rispetto al caschetto estivo.

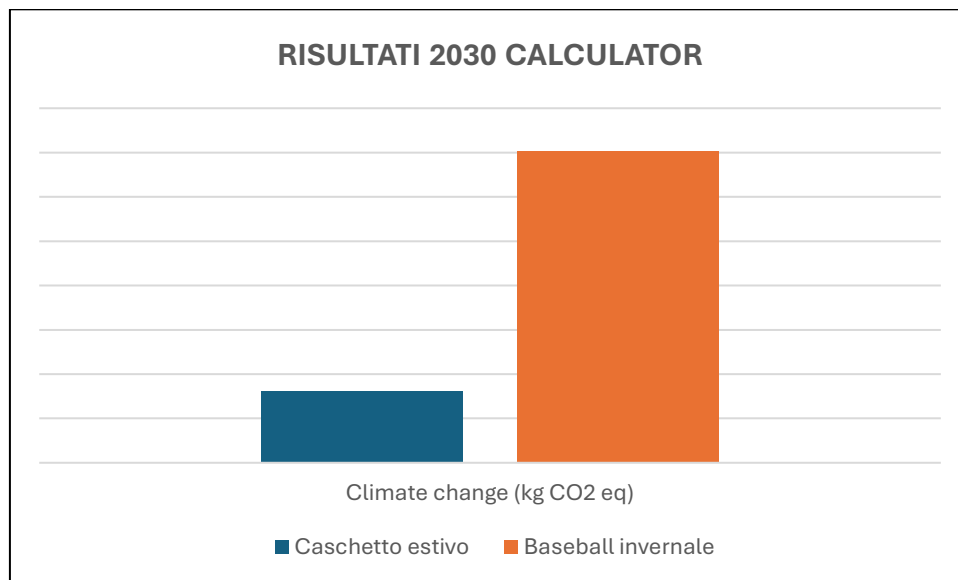


Figura 4 - Risultati ottenuti "2030 Calculator"

Tale differenza è attribuibile principalmente alla diversa composizione materiale dei prodotti e, in particolare, alla maggiore incidenza delle materie prime caratterizzanti il modello invernale. È opportuno precisare che l'obiettivo dell'analisi non è quello di confrontare direttamente i due prodotti, poiché si tratta di articoli differenti per struttura, materiali e configurazione produttiva. L'analisi è invece finalizzata a comprendere il comportamento del tool e la distribuzione degli impatti lungo le diverse fasi del ciclo di vita. A tal proposito, il 2030 Calculator fornisce una rappresentazione grafica dei risultati (Figura 3 e Figura 4) attraverso una scomposizione percentuale delle emissioni per fase del ciclo di vita. Dalla

rappresentazione emerge come la fase di acquisizione delle materie prime contribuisce in misura prevalente all'impatto complessivo, mentre le fasi di produzione, packaging e distribuzione presentano un'incidenza più contenuta. Tale distribuzione risulta coerente sia con la natura dei prodotti analizzati sia con l'impostazione metodologica del tool, che attribuisce particolare rilevanza ai materiali impiegati nella realizzazione del prodotto.

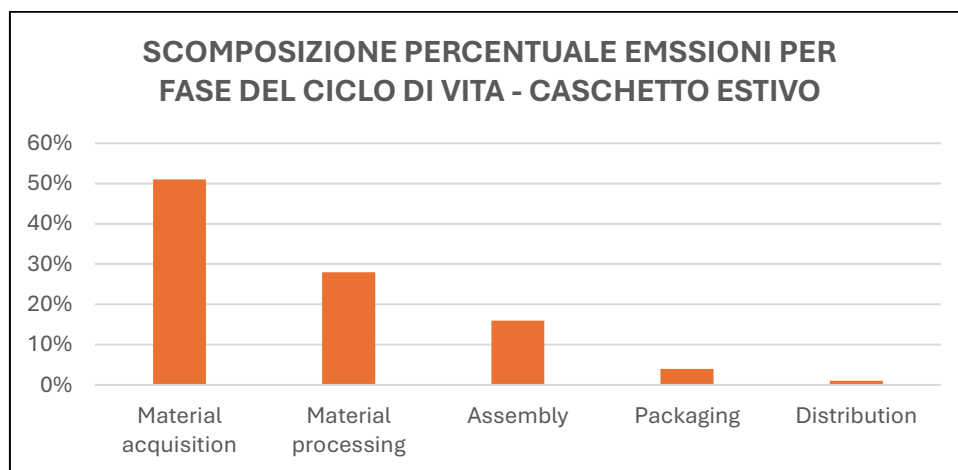


Figura 5 - Contributo percentuale delle fasi del ciclo di vita "Caschetto estivo"

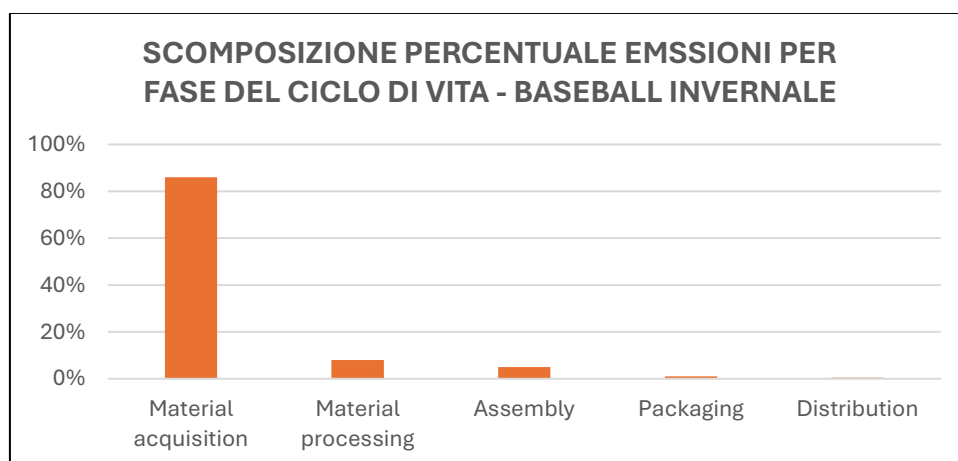


Figura 6 - Contributo percentuale delle fasi del ciclo di vita "Baseball invernale "

I risultati ottenuti devono tuttavia essere interpretati tenendo conto delle semplificazioni introdotte dal modello, in particolare per quanto riguarda la rappresentazione dei materiali e dei processi e la definizione dei confini del sistema

4.2 – MODELLAZIONE MEDIANTE ECOBALYSE

EcoBalyse è uno strumento di Life Cycle Assessment semplificato sviluppato specificatamente per il settore tessile e dell'abbigliamento, con l'obiettivo di rendere misurabile e comunicabile l'impatto ambientale dei prodotti attraverso indicatori sintetici e comparabili. Il funzionamento del tool si basa su modelli standardizzati, all'interno dei quali l'utente inserisce un numero limitato di informazioni relative alle caratteristiche del prodotto, quali massa, composizione dei materiali e luogo di produzione. EcoBalyse utilizza scenari predefiniti per diverse fasi del ciclo di vita, tra cui distribuzione, uso e fine vita, che non sono direttamente modificabili dall'utente. La modellazione dei prodotti analizzati è stata quindi sviluppata adattando la distinta base alle categorie di materiali disponibili nel tool, selezionando per ciascun componente la tipologia più rappresentativa.

4.2.1 Confini del sistema

I confini del sistema in EcoBalyse risultano in gran parte predefiniti dal tool, che integra automaticamente le principali fasi del ciclo di vita del prodotto. In particolare, oltre alla produzione dei materiali e alla fase di trasformazione, sono

inclusi anche gli scenari di distribuzione, utilizzo e fine vita, definiti sulla base di ipotesi medie dall'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie).

Questo approccio consente di adottare una prospettiva estesa lungo l'intero ciclo di vita del prodotto, riconducibile a una logica cradle-to-grave, pur mantenendo un livello di dettaglio limitato e standardizzato. Tuttavia, la ridotta flessibilità della definizione dei confini e degli scenari rappresenta un limite rilevante, in quanto non consente di adattare il modello a specifiche condizioni aziendali.

4.2.2 Modellazione dei materiali, processi e trasporti

La modellazione dei materiali è stata effettuata associando a ciascun componente dei prodotti alle categorie disponibili all'interno del tool, operando le necessarie approssimazioni nei casi in cui non fosse presente una corrispondenza diretta. Tale scelta è coerente con la struttura semplificata dello strumento, che privilegia la standardizzazione rispetto al dettaglio.

Per quanto riguarda la fase produttiva, EcoBalyse non richiede una modellazione esplicita delle singole operazioni di lavorazione, in quanto tali processi risultano implicitamente inclusi nei modelli associati ai materiali e alla fase di trasformazione, permettendo all'utente esclusivamente la modifica di alcuni parametri. Di conseguenza, operazioni come cucitura, incollatura e stiratura risultano integrate nella struttura del tool.

Analogamente, la modellazione dei trasporti e delle fasi successive del ciclo di vita è gestita automaticamente dal software sulla base di scenari standardizzati. L'utente può intervenire su alcune variabili generali, come il luogo di produzione, mentre non è possibile definire nel dettaglio le distanze o le modalità di trasporto.

4.2.3 Assunzioni e limiti del tool

L'utilizzo di EcoBalyse ha comportato l'adozione di alcune assunzioni metodologiche, legate principalmente alla necessità di adattare i dati disponibili alla struttura standardizzata del tool. In particolare, la limitata possibilità di personalizzazione ha reso necessario accettare gli scenari predefiniti relativi a distribuzione, utilizzo e fine vita, anche quando non perfettamente rappresentativi della realtà aziendale analizzata.

Un aspetto particolarmente rilevante riguarda la selezione delle categorie di prodotto all'interno del tool. Poiché EcoBalyse non prevede attualmente una categoria specifica per cappelli o accessori, la modellazione è stata effettuata utilizzando come riferimento una t-shirt standard, considerata la tipologia più affine tra quelle disponibili. Tale scelta rappresenta un'ulteriore semplificazione del modello, in quanto comporta l'adozione di parametri e scenari d'uso non perfettamente coerenti con le caratteristiche funzionali dei prodotti analizzati.

Un ulteriore limite è rappresentato dal numero ridotto di parametri modificabili, che impedisce di modellare in modo dettagliato specifiche fasi del processo produttivo.

Questo approccio riduce l'onere informativo e facilita l'utilizzo dello strumento, ma limita la capacità di rappresentare scenari complessi o soluzioni alternative.

Nonostante tali limitazioni, EcoBalyse garantisce un buon livello di coerenza metodologica e comparabilità tra prodotti appartenenti alla stessa categoria, risultando particolarmente adatto per analisi di screening e per applicazioni legate alla comunicazione ambientale.

4.2.4 Risultati ottenuti

A seguito della modellazione, Ecobalyse ha fornito i risultati relativi a diverse categorie di impatto ambientale, tra cui il cambiamento climatico, il consumo di acqua, l'eutrofizzazione terrestre e l'acidificazione, consentendo una valutazione articolata degli impatti associati ai prodotti. Tuttavia, ai fini del presente studio, l'analisi si concentra principalmente sull'indicatore di cambiamento climatico, in quanto rappresenta la categoria più rilevante e maggiormente comparabile tra i diversi strumenti utilizzati.

I risultati ottenuti evidenziano una differenza significativa tra i due prodotti analizzati, con un impatto ambientale maggiore associato al baseball invernale rispetto al caschetto estivo. Tale differenza è riconducibile principalmente alla diversa composizione materiale dei prodotti e, in particolare, alla presenza di componenti caratterizzati da una maggiore intensità ambientale nel modello invernale.

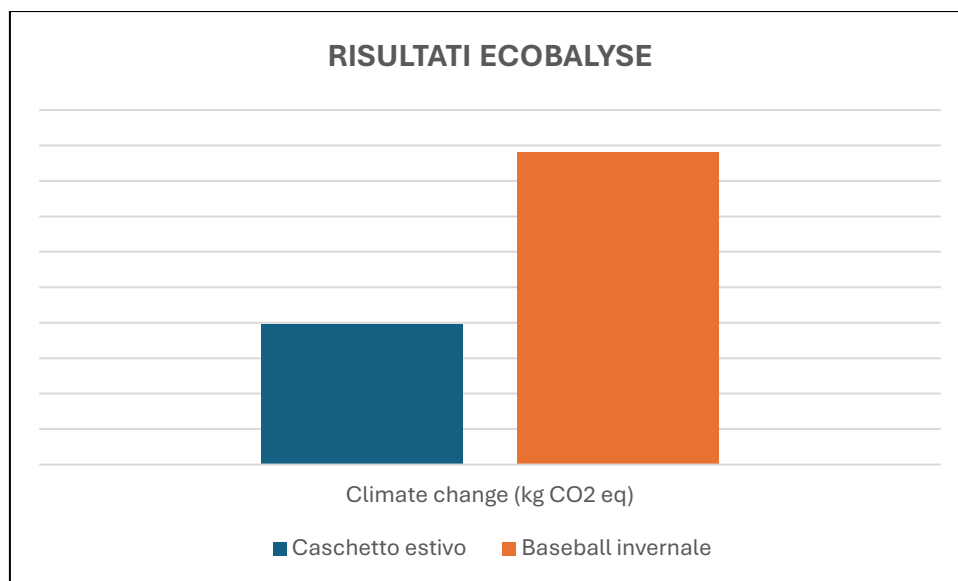


Figura 7 - Risultati ottenuti "Ecobalyse"

L'analisi della distribuzione degli impatti lungo il ciclo di vita (Figura 6 e Figura 7) evidenzia comportamenti differenti tra i due prodotti. Nel caschetto estivo, la fase di trasformazione rappresenta il contributo principale per il cambiamento climatico (53,19%), seguita dalla fase di utilizzo (18,17%) e dalle materie prime (17,96%). Questo risultato è coerente con la composizione del prodotto, caratterizzata da una combinazione di materiali naturali e sintetici, per i quali il contributo delle lavorazioni assume un peso rilevante.

Nel baseball invernale, invece, emerge una maggiore incidenza delle materie prime (48,25%), mentre la trasformazione assume un peso inferiore (33,17%). Tale configurazione è riconducibile alla presenza di materiali con impatti ambientali più elevati, in particolare la componente tessile assimilata alla lana, che contribuisce in modo significativo all'impatto complessivo del prodotto.

Un ulteriore elemento significativo riguarda il contributo della fase di utilizzo, che nel caschetto estivo assume un peso non trascurabile (18,17%). Questo risultato è direttamente legato alla struttura del tool, che include scenari standardizzati di utilizzo indipendenti dalle specifiche condizioni di impiego del prodotto.

Nel complesso i risultati evidenziano una distribuzione degli impatti lungo le diverse fasi del ciclo di vita coerente con la composizione dei prodotti e con la logica di modellazione adottata da EcoBalyse. Tuttavia, tale distribuzione è influenzata dagli scenari predefiniti del tool, che, pur garantendo comparabilità tra prodotti, possono non riflettere pienamente le specificità del sistema analizzato.

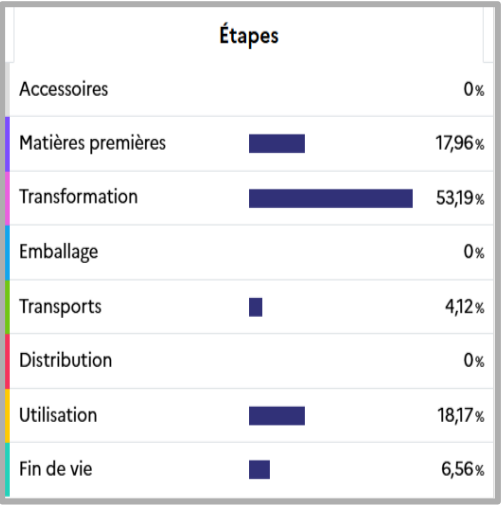


Figura 8 – Contributo percentuale delle fasi del ciclo di vita "Caschetto estivo"

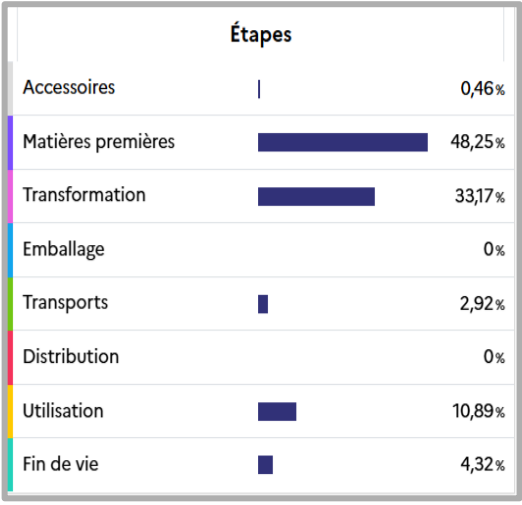


Figura 9 - Contributo percentuale delle fasi del ciclo di vita "Baseball invernale"

4.3 - MODELLAZIONE MEDIANTE CARBONGRAPH

CarbonGraph è uno strumento semplificato per la valutazione degli impatti ambientali dei prodotti, basato su database LCA e progettato per fornire una rappresentazione intuitiva e modulare del sistema analizzato. Il tool consente all'utente di costruire un modello attraverso la combinazione di processi e flussi di materiali, energia e trasporti, organizzati in una struttura a rete che riproduce le principali fasi del ciclo di vita del prodotto.

A differenza di strumenti fortemente standardizzati, CarbonGraph offre un maggiore grado di flessibilità nella definizione del modello, permettendo di inserire in modo esplicito i singoli input e di rappresentare direttamente le relazioni tra le diverse fasi. Nel presente studio, la modellazione è stata sviluppata costruendo un processo di assemblaggio in cui confluiscono tutti i contributi relativi ai materiali, ai trasporti e ai consumi energetici.

4.3.1 Confini del sistema

Nel caso di CarboGraph, i confini del sistema sono stati definiti esplicitamente dall'utente, adottando un approccio riconducibile a un modello cradle-to-gate. In particolare, sono state incluse le fasi di approvvigionamento delle materie prime, pre-processing, produzione e distribuzione, mentre le fasi di utilizzo e fine vita non sono state considerate nella modellazione. Questa scelta è coerente sia con la struttura del tool sia con la disponibilità dei dati aziendali, ma comporta una

rappresentazione parziale del ciclo di vita del prodotto rispetto ad approcci più estesi.

4.3.2 Modellazione dei materiali, processi e trasporti

La modellazione dei materiali è stata effettuata selezionando, per ciascun componente, i dataset più rappresentativi disponibili nel database, con particolare riferimento a polimeri, fibre naturali e sintetiche. I materiali sono stati inseriti come input diretti del processo di assemblaggio, pesati in funzione delle masse definite nella fase di analisi del prodotto.

La fase produttiva è stata rappresentata attraverso un unico processo aggregato di assemblaggio, all'interno del quale sono state incluse le principali operazioni di lavorazione, quali cucitura, incollatura e stiratura. Tale scelta è stata adottata per garantire coerenza con i dati disponibili, che non consentono una disaggregazione puntuale dei consumi energetici per singola operazione.

Il consumo di energia elettrica è stato modellato mediante un dataset relativo al mix europeo, utilizzando un valore medio per unità di prodotto derivato dalla ripartizione dei consumi aziendali.

Per quanto riguarda i trasporti, è stata effettuata una distinzione tra materiali di provenienza europea e componenti importati. In particolare, per i materiali plastici provenienti dalla Cina è stato modellato un trasporto marittimo, mentre per gli altri materiali è stato considerato un trasporto su gomma su distanze medie.

4.3.3 Assunzioni e limiti del tool

L'utilizzo di CarbonGraph ha richiesto l'adozione di alcune assunzioni metodologiche, legate principalmente alla selezione dei dataset e alla definizione dei confini del sistema. In particolare, la scelta dei processi rappresentativi per i materiali ha comportato l'utilizzo di dataset generici, non sempre perfettamente aderenti alle specifiche caratteristiche dei componenti reali.

Un ulteriore elemento rilevante riguarda la modellazione della fase produttiva, che è stata rappresentata in forma aggregata attraverso un unico processo di assemblaggio. Sebbene questa scelta consenta di semplificare il modello, essa limita la possibilità di analizzare nel dettaglio il contributo delle singole operazioni. Inoltre, l'esclusione delle fasi di utilizzo e fine vita comporta una sottostima degli impatti complessivi rispetto a modelli che adottano una prospettiva più estesa. Questo aspetto deve essere tenuto in considerazione nell'interpretazione dei risultati.

4.3.4 Risultati ottenuti

L'analisi dei risultati si concentra sull'indicatore di cambiamento climatico (kg CO₂eq), in linea con l'impostazione adottata nel presente studio e con l'obiettivo di garantire la comparabilità tra i diversi strumenti analizzati.

Anche qui i risultati evidenziano una differenza significativa tra i due prodotti, con un impatto ambientale maggiore associato al baseball invernale rispetto al caschetto estivo.

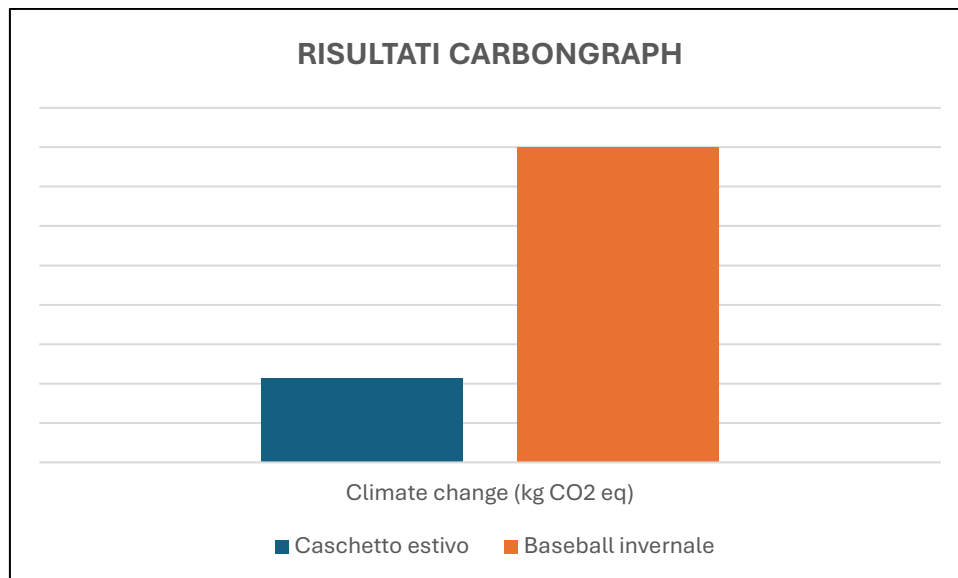


Figura 10 - Risultati ottenuti "Carbongraph"

La distribuzione degli impatti lungo le fasi del ciclo di vita evidenzia una forte concentrazione nella fase di acquisizione delle materie prime e pre-processing, che contribuisce per il 73% nel caschetto estivo e per il 93% nel baseball invernale. La fase di produzione (assemblaggio) presenta invece un'incidenza più contenuta, pari rispettivamente al 22% e al 5%, mentre la fase di distribuzione assume un ruolo marginale.

Questa distribuzione è coerente con la struttura del modello adottato, in cui gli impatti risultano fortemente legati ai dataset dei materiali utilizzati. In particolare, nel caso del baseball invernale, l'elevata incidenza delle materie prime è

riconducibile alla presenza di materiali ad alta intensità ambientale (Lana), che dominano il bilancio complessivo.

È inoltre rilevante osservare come le fasi di utilizzo e fine vita risultino assenti nei risultati, in quanto non incluse nella modellazione. Ciò contribuisce a concentrare ulteriormente gli impatti nelle fasi iniziali del ciclo di vita.

Nel complesso, i risultati evidenziano una distribuzione degli impatti fortemente sbilanciata verso la fase di approvvigionamento delle materie prime, riflettendo sia la composizione dei prodotti sia le scelte metodologiche adottate nella modellazione.

Al fine di facilitare la lettura e l'interpretazione dei risultati, si riportano alcune rappresentazioni grafiche generate dal tool, che consentono di visualizzare la distribuzione degli impatti per fase del ciclo di vita.



Figura 11 - Contributo percentuale delle fasi del ciclo di vita "Caschetto estivo"



Figura 12 - Contributo percentuale delle fasi del ciclo di vita “Baseball invernale”

4.4 - MODELLAZIONE MEDIANTE SIMAPRO

All'interno del presente studio, SimaPro rappresenta lo strumento di riferimento per la modellazione LCA, in quanto consente una rappresentazione dettagliata e metodologicamente robusta del sistema analizzato. Il suo utilizzo permette di ottenere risultati maggiormente affidabili e trasparenti rispetto ai tool semplificati, costituendo la base per il confronto critico tra i diversi strumenti adottati nello studio. In particolare, la possibilità di modellare in modo esplicito le diverse fasi del ciclo di vita e di analizzare il contributo dei singoli materiali consente di individuare con precisione le principali fonti di impatto e di supportare eventuali valutazioni progettuali.

La modellazione mediante SimaPro è stata sviluppata adottando un approccio

conforme alla metodologia Life Cycle Assessment (LCA), in linea con le norme ISO 14040 e ISO 14044. Il software è stato utilizzato nella sua configurazione avanzata, consentendo una rappresentazione dettagliata dei flussi di materia ed energia e delle relazioni tra le diverse fasi del ciclo di vita.

A differenza dei tool semplificati analizzati in precedenza, SimaPro permette una modellazione strutturata del sistema, basata sull'integrazione di dati primari e secondari e sull'utilizzo di database LCA consolidati. Nel presente studio è stato utilizzato il database Environmental Footprint 3.1, selezionato per garantire coerenza metodologica con gli standard europei di valutazione ambientale.

4.4.1 Unità funzionale

L'unità funzionale adottata nel presente studio è rappresentata da un singolo cappello finito, comprensivo di packaging e pronto per la spedizione. Tale scelta consente di rappresentare in maniera coerente il sistema analizzato e di confrontare i risultati ottenuti attraverso i diversi strumenti di valutazione ambientale utilizzati nel corso dello studio.

4.4.2 Confini del sistema

Il sistema è stato modellato secondo un approccio cradle-to-gate, includendo le fasi di approvvigionamento delle materie prime, trasporto e produzione, mentre sono state escluse le fasi di utilizzo e fine vita. Tale scelta risulta coerente con la

disponibilità dei dati e con l'obiettivo dello studio, che si concentra sulle fasi maggiormente controllabili a livello produttivo.

In particolare, la struttura del modello è stata articolata nei moduli A1, A2 e A3, come sintetizzato nella tabella seguente.

TABELLA 4.1 - CONFINI DEL SISTEMA E MODULI CONSIDERATI

Life Cycle Stages	Processes
Manufacturing	Material and components supply (Sub-module A1)
	Transport (Sub-module A2)
	Manufacturing and assembly operations (Sub-module A3)
Distribution	Excluded
Use	Excluded
End of life	Excluded

4.4.3 Modellazione dell'inventario

La costruzione dell'inventario ha previsto l'integrazione di dati primari, relativi alle caratteristiche dei prodotti e ai processi produttivi, con dati secondari derivati dal database EF 3.1.

I materiali sono stati modellati selezionando, per ciascun componente, il dataset più rappresentativo disponibile, in funzione della tipologia di fibra o materiale utilizzato. La selezione dei dataset è stata effettuata privilegiando processi coerenti

per tecnologia e area geografica, al fine di ridurre il livello di approssimazione del modello.

La fase di trasporto è stata modellata distinguendo tra forniture continentali e componenti provenienti da mercati extra-europei, considerando rispettivamente il trasporto su strada e il trasporto marittimo.

Per quanto riguarda i consumi energetici, il contributo della fase produttiva è stato stimato a partire da un consumo specifico pari a 0,6 kWh per unità di prodotto. A tale valore è stato applicato un fattore di emissione di gas serra pari a 236,3 g CO₂eq/kWh relativo al mix elettrico nazionale (ISPRA, 2025). Tale scelta si è resa necessaria in quanto all'interno del database Environmental Footprint 3.1 non è disponibile un dataset specifico rappresentativo del mix elettrico nazionale italiano, pertanto, l'analisi è stata integrata con dati provenienti da fonti ufficiali esterne.

Il contributo complessivo della fase produttiva è stato quindi determinato mediante la moltiplicazione tra consumo energetico specifico e fattore di emissione. Questa impostazione consente di rappresentare in modo più realistico l'impatto dell'energia elettrica effettivamente utilizzata, garantendo una maggiore aderenza dei risultati al contesto nazionale di riferimento.

4.4.4 Assunzioni metodologiche

La modellazione ha richiesto l'adozione di alcune assunzioni metodologiche, principalmente legate alla selezione dei dataset e alla rappresentazione di

componenti per i quali non erano disponibili dati specifici. In particolare, per alcuni materiali sono stati utilizzati dataset proxy ritenuti rappresentativi delle caratteristiche fisiche e funzionali dei componenti reali.

La fase produttiva è stata modellata in forma aggregata, non essendo disponibili informazioni sufficienti per una disaggregazione puntuale dei consumi energetici per singola operazione.

Tali assunzioni, pur introducendo un certo grado di approssimazione, risultano coerenti con le pratiche consolidate negli studi LCA e consentono di garantire una rappresentazione complessiva del sistema sufficientemente affidabile.

4.4.5 Risultati ottenuti

L'analisi dei risultati è stata condotta con riferimento all'indicatore di cambiamento climatico (kg CO₂eq), coerentemente con l'impostazione adottata nel presente studio e con l'obiettivo di garantire la comparabilità con gli altri strumenti analizzati.

I risultati ottenuti evidenziano una differenza significativa tra i due prodotti analizzati, con un impatto ambientale maggiore associato al baseball invernale rispetto al caschetto estivo. Tale differenza conferma come la configurazione materiale e progettuale dei prodotti incida in maniera determinante sull'impronta ambientale complessiva, evidenziando il ruolo centrale delle materie prime nella definizione degli impatti. Per motivi di riservatezza industriale, i valori assoluti

restituiti dal modello non vengono riportati nel presente elaborato; tuttavia, al fine di garantire la correttezza metodologica dell'analisi, tutte le elaborazioni sono state effettuate utilizzando i dati quantitativi reali ottenuti dalla modellazione.

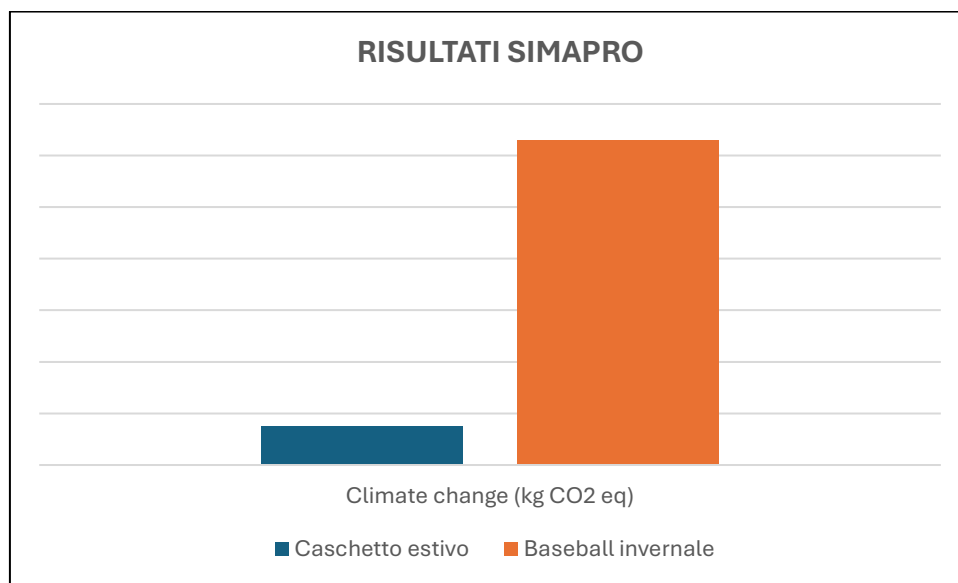


Figura 13 – Risultati ottenuti “SimaPro”

L'analisi della distribuzione degli impatti lungo le diverse fasi del sistema evidenzia comportamenti differenti tra i due prodotti. Nel caso del caschetto estivo, il contributo risulta relativamente distribuito tra le varie componenti: le materie prime rappresentano una quota significativa ma non dominante, mentre la fase produttiva, rappresentata dal consumo di energia elettrica, assume un peso rilevante. Il contributo dei trasporti, invece, risulta marginale.

Nel baseball invernale, al contrario, emerge una configurazione fortemente sbilanciata, in cui la quasi totalità dell'impatto è attribuibile alla fase di approvvigionamento delle materie prime. Le altre componenti del sistema assumono un ruolo decisamente secondario. Questo comportamento è direttamente riconducibile alla presenza di materiali ad elevato impatto ambientale, che dominano il bilancio complessivo del prodotto.

TABELLA 4.2 - DISTRIBUZIONE IMPATTI

Prodotto	Modulo A1 (% su totale)	Modulo A2 (% su totale)	Modulo A3 (% su totale)
Caschetto estivo	59%	2%	39%
Baseball invernale	95%	<1%	5%

Un'analisi di maggiore dettaglio consente di individuare il contributo dei singoli materiali. Nel caschetto estivo (Figura 12), l'impatto risulta distribuito tra più componenti, tra cui le fibre naturali, i materiali sintetici e il packaging, senza che emerga un unico elemento dominante. Ciò evidenzia una struttura relativamente equilibrata del prodotto.

Nel baseball invernale (Figura 13), invece, l'impatto è fortemente concentrato su un singolo materiale, riconducibile alla componente tessile principale (lana di vigogna), il cui contributo risulta nettamente superiore rispetto agli altri. Gli ulteriori materiali presentano un'incidenza marginale, confermando la presenza di un hotspot ambientale dominante.

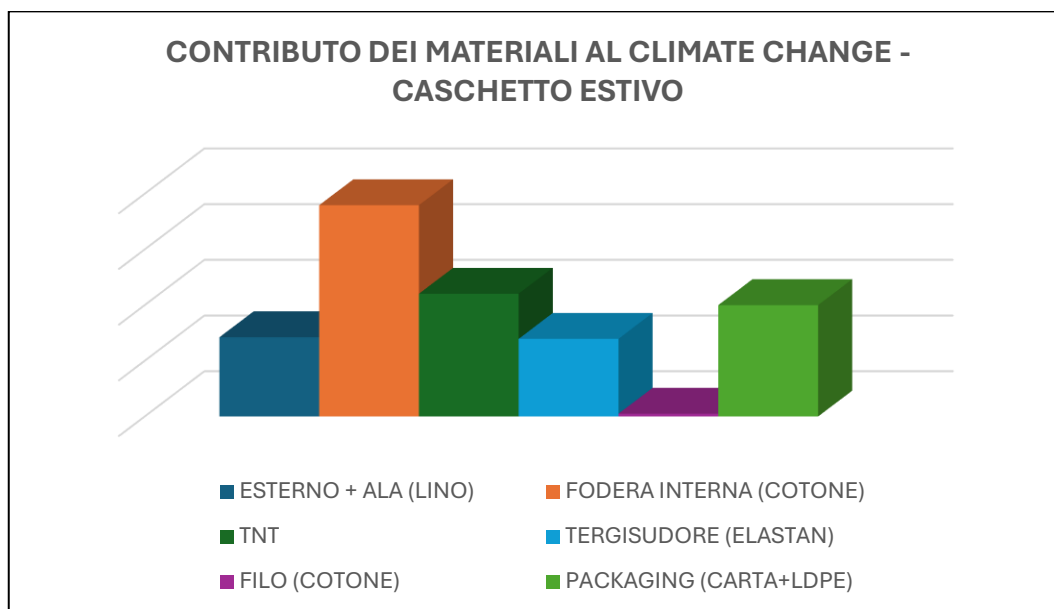


Figura 14 – Contributo dei singoli materiali al climate change “Caschetto estivo”

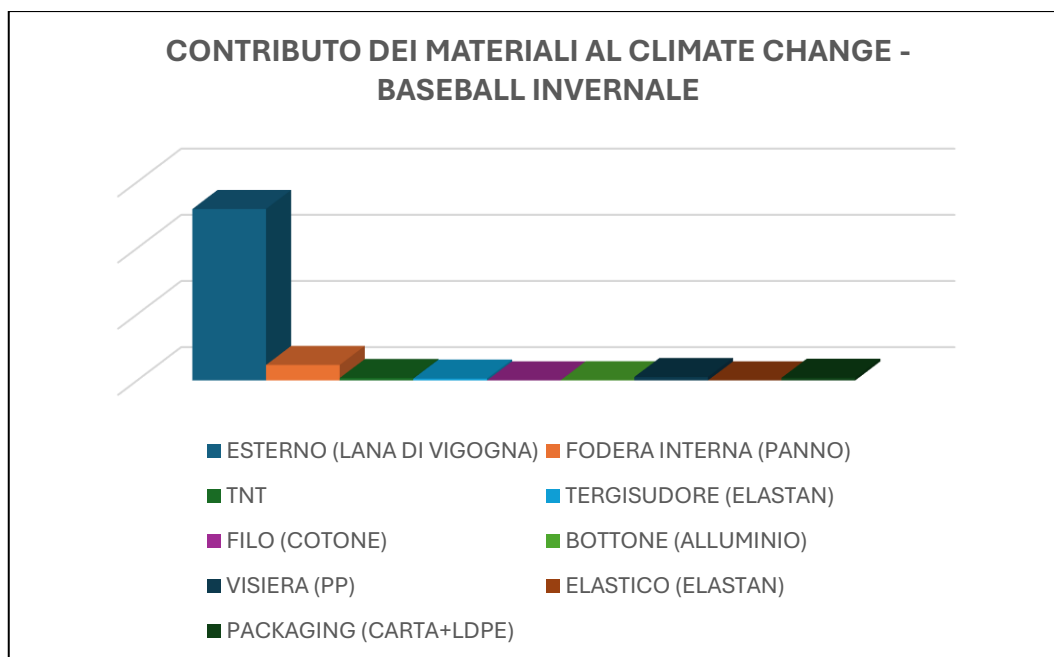


Figura 15 – Contributo dei singoli materiali al climate change “Baseball invernale”

Nel complesso, i risultati evidenziano una distribuzione degli impatti coerente con la struttura del modello e con le caratteristiche dei prodotti analizzati. In particolare, emerge con chiarezza il ruolo predominante della fase di approvvigionamento delle materie prime, soprattutto nei prodotti caratterizzati da materiali ad alto impatto ambientale, mentre le fasi di trasformazione e trasporto assumono un peso secondario. Tale evidenza sottolinea l’importanza della selezione dei materiali nelle strategie di riduzione dell’impatto ambientale.

CAPITOLO 5 – CASO STUDIO: CONFRONTO DEI RISULTATI E CONSIDERAZIONI FINALI

Nel presente capitolo vengono analizzati e confrontati i risultati ottenuti mediante i diversi strumenti utilizzati nel corso dello studio, con particolare riferimento all'indicatore di cambiamento climatico (kg CO₂eq). La scelta di concentrare il confronto su tale categoria di impatto deriva dalla necessità di garantire una base comune di analisi tra strumenti caratterizzati da differenti approcci metodologici, livelli di dettaglio e modalità di modellazione.

Il confronto è stato sviluppato assumendo la modellazione realizzata mediante SimaPro come riferimento metodologico, in quanto basata su un approccio LCA maggiormente strutturato, trasparente e dettagliato rispetto ai tool semplificati considerati. Tuttavia, l'obiettivo dell'analisi non è individuare quale strumento restituisca il valore corretto in senso assoluto, bensì, comprendere in che modo le differenti logiche di modellazione influenzino la distribuzione e la quantificazione degli impatti ambientali.

È inoltre opportuno precisare che il confronto non mira a stabilire quale dei due prodotti analizzati presenti prestazioni ambientali migliori o peggiori, poiché si tratta di articoli differenti per struttura, materiali e configurazione produttiva. L'attenzione è invece rivolta all'osservazione delle variazioni nei risultati restituiti dai diversi strumenti a parità di prodotto analizzato, al fine di evidenziarne coerenza, differenze e principali limiti applicativi.

L'analisi comparativa considera quindi non soltanto i risultati finali ottenuti, ma anche le scelte metodologiche sottostanti ai diversi tool, quali i confini del sistema adottati, il livello di dettaglio richiesto nella modellazione, la gestione dei dataset, la rappresentazione delle fasi produttive e il trattamento dei consumi energetici. Tale approccio consente di valutare criticamente il grado di affidabilità e applicabilità degli strumenti semplificati nel contesto delle piccole e medie imprese del settore tessile e dell'abbigliamento.

5.1 - CONFRONTO DEI RISULTATI

Il confronto tra i risultati ottenuti mediante i diversi strumenti analizzati evidenzia differenze significative nella quantificazione degli impatti ambientali, tuttavia, mostra una generale coerenza nell'individuazione delle principali fasi responsabili dell'impatto complessivo lungo il ciclo di vita. In tutti i casi considerati, l'analisi è stata condotta con riferimento all'indicatore di cambiamento climatico, scelto come parametro comune di confronto in quanto presente in tutti gli strumenti utilizzati e maggiormente rappresentativo al fine del presente studio.

Pur adottando la medesima unità funzionale e una base dati coerente per quanto possibile tra le diverse modellazioni, i risultati ottenuti mostrano variazioni anche rilevanti. Tali differenze risultano strettamente connesse alle differenti logiche di modellazione adottate dai tool, ai confini del sistema considerati, al livello di dettaglio richiesto nella definizione dell'inventario e alle modalità con cui vengono

gestiti materiali, processi produttivi, trasporti ed energia elettrica. Pertanto, nonostante una coerenza generale nella lettura qualitativa dei risultati, i diversi strumenti mostrano livelli differenti di sensibilità nella quantificazione degli impatti. I tool semplificati, in particolare Ecobalyse e 2030 Calculator, tendono infatti a restituire risultati fortemente influenzati da dataset medi e dalle logiche standardizzate incorporate nelle piattaforme, mentre la modellazione sviluppata mediante SimaPro consente una rappresentazione più dettagliata e controllata delle singole fasi del sistema

Al fine di evidenziare le differenze tra i risultati ottenuti dai diversi strumenti, vengono riportate delle rappresentazioni (Figura 14 e Figura 15) degli impatti associati ai due prodotti, assumendo la modellazione sviluppata mediante SimaPro come riferimento metodologico.

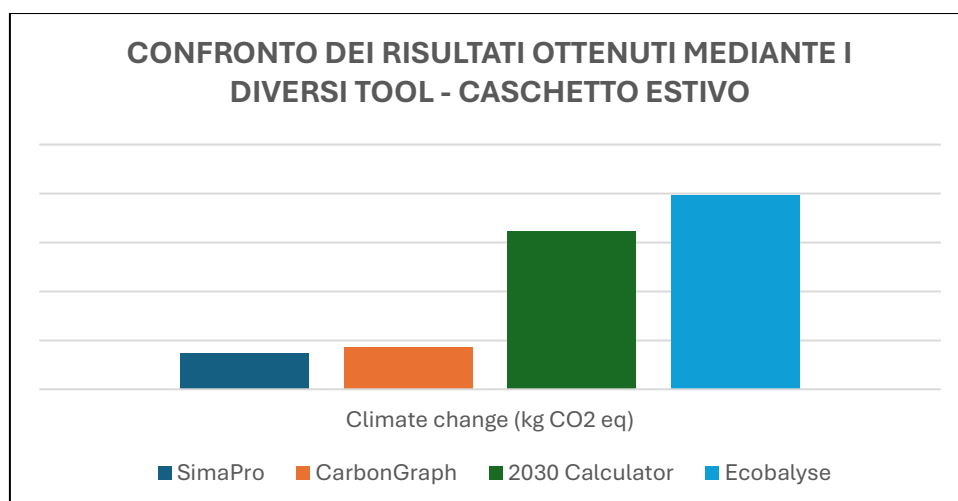


Figura 16 - Confronto qualitativo dei risultati relativi al cambiamento climatico per il caschetto estivo

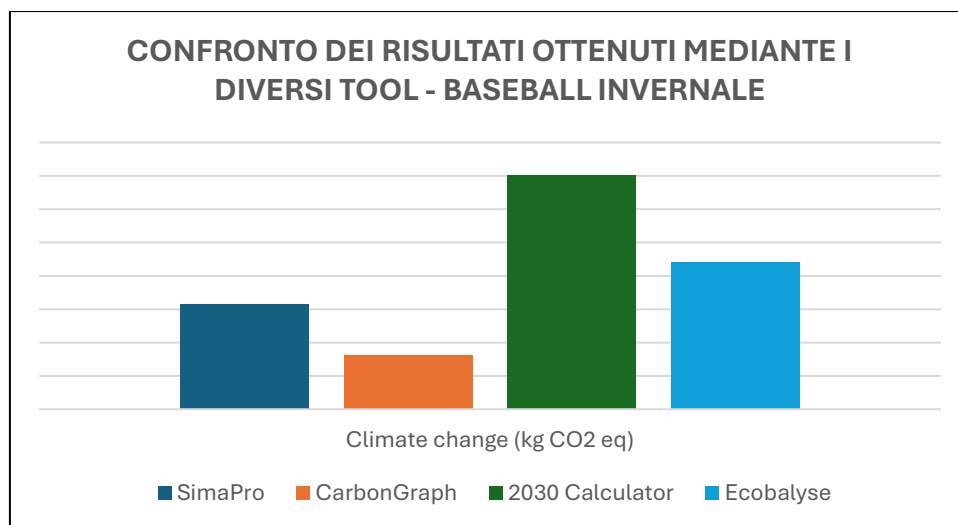


Figura 17 - Confronto qualitativo dei risultati relativi al cambiamento climatico per il baseball invernale

Un ulteriore elemento di confronto riguarda la distribuzione percentuale degli impatti lungo le diverse fasi del ciclo di vita (Tabella 5.1 e Tabella 5.2).

**TABELLA 5.1 - DISTRIBUZIONE PERCENTUALE DEGLI IMPATTI
LUNGO IL CICLO DI VITA “CASCHETTO ESTIVO”**

Fase	2030 Calculator	Ecobalyse	Carbongraph	SimaPro
Materie Prime	79%	18%	73%	59%
Produzione	16%	53%	22%	39%
Trasporti	1%	4%	5%	2%
Packaging	4%	0%	Incluso in materie prime	Incluso in materie prime
Utilizzo	Escluso	18%	Escluso	Escluso
Fine vita	Escluso	7%	Escluso	Escluso

**TABELLA 5.2 - DISTRIBUZIONE PERCENTUALE DEGLI IMPATTI
LUNGO IL CICLO DI VITA “BASEBALL INVERNALE”**

Fase	2030 Calculator	Ecobalyse	Carbongraph	SimaPro
Materie Prime	94%	49%	93%	95%
Produzione	5%	33%	5%	5%
Trasporti	<1%	3%	3%	<1%
Packaging	1%	0%	Incluso in materie prime	Incluso in materie prime
Utilizzo	Escluso	11%	Escluso	Escluso
Fine vita	Escluso	4%	Escluso	Escluso

Dall’analisi emerge una generale coerenza nell’individuazione delle principali fonti di impatto ambientale, pur in presenza di differenze nella ripartizione degli impatti tra le varie fasi considerate dai diversi strumenti.

In particolare, strumenti come 2030 Calculator, CarboGrpah e SimaPro mostrano una forte concentrazione degli impatti nella fase di approvvigionamento delle materie prime, evidenziando il ruolo centrale dei materiali nella definizione dell’impronta ambientale complessiva dei prodotti. Tale comportamento risulta particolarmente evidente nel baseball invernale, caratterizzato dalla presenza di materiali a maggiore intensità ambientale, che tendono a dominare il bilancio complessivo degli impatti. Ecobalyse presenta invece una distribuzione maggiormente articolata degli impatti, attribuendo un contributo significativo

anche alla fase di trasformazione e, in misura minore, alle fasi di utilizzo e fine vita. Tale comportamento appare coerente con la struttura metodologica del tool, che integra scenari standardizzati per il settore tessile e dell'abbigliamento e considera un numero maggiore di fasi del ciclo di vita rispetto agli altri strumenti analizzati. Nel caso di SimaPro, la possibilità di modellare in maniera più esplicita materiali, processi produttivi, consumi energetici e trasporti consente una rappresentazione più dettagliata delle diverse componenti del sistema, pur mantenendo una prevalenza degli impatti associati alla fase di approvvigionamento dei materiali. Nel complesso, il confronto evidenzia come i tool semplificati siano comunque in grado di fornire indicazioni coerenti dal punto di vista qualitativo, in particolare nell'identificazione delle principali fonti di impatto ambientale. Tale aspetto suggerisce che gli strumenti semplificati siano in grado di fornire indicazioni utili per individuare gli hotspot ambientali dei prodotti, sebbene le differenze metodologiche adottate influenzino la distribuzione e l'entità degli impatti restituiti.

5.2 - ANALISI DELLE DIFFERENZE METODOLOGICHE TRA I TOOL

Le differenze emerse nei risultati ottenuti mediante i diversi strumenti analizzati non sono riconducibili esclusivamente ai dataset utilizzati, ma derivano soprattutto dalle differenti logiche metodologiche e strutture di modellazione adottate dai vari tool. Sebbene tutti gli strumenti siano finalizzati alla valutazione degli impatti ambientali lungo il ciclo di vita del prodotto, ciascuno di essi presenta infatti

specifiche modalità di rappresentazione dei processi, differenti livelli di dettaglio e diversi criteri di aggregazione delle fasi considerate. Al fine di agevolare l'interpretazione delle principali differenze metodologiche, la Tabella 5.3 riporta un confronto degli aspetti ritenuti maggiormente rilevanti ai fini del presente studio.

TABELLA 5.3 – DIFFERENZE METODOLOGICHE TOOL

Caratteristica	2030 Calculator	Ecobalyse	Carbongraph	SimaPro
Database utilizzato	Dataset multi-sorgente	Base Empreinte ADEME (ICV da Ecoinvent)	Dataset multi-sorgente	Environmental Footprint 3.1 - Textiles
Metodo di valutazione	Product carbon Footprint (GWP100)	PEF/EF	Environmental Footprint 3.1	Environmental Footprint 3.1
Livello di dettaglio	Basso	Medio	Medio-Elevato	Elevato
Categorie di impatto	Climate change	Multi-impatto	Multi-impatto	Multi-impatto
Assunzioni metodologiche	Elevate	Elevate	Medie	Limitate
Fasi del ciclo di vita	Standardizzate	Standardizzate	Personalizzabili	Personalizzabili

Uno degli elementi di maggiore rilevanza riguarda i confini del sistema adottati e le modalità con cui le diverse fasi del ciclo di vita vengono rappresentate dagli strumenti analizzati. Sebbene tutte le modellazioni siano state sviluppate secondo un approccio prevalentemente cradle-to-gate, i tool presentano differenti livelli di flessibilità nella costruzione del modello. In particolare, 2030 Calculator e Ecobalyse si basano su strutture maggiormente standardizzate, mentre CarboGrpah e soprattutto SimaPro consentono una maggiore personalizzazione della modellazione. Tali differenze si riflettono anche nella distribuzione degli impatti lungo il ciclo di vita, dove Ecobalyse attribuisce un contributo più rilevante alle fasi di trasformazione, soprattutto nel caso del caschetto estivo.

Un ulteriore elemento di differenziazione riguarda il livello di dettaglio richiesto nella costruzione dell'inventario. I tool semplificati consentono generalmente di ottenere risultati attraverso un numero limitato di input e mediante l'utilizzo di dataset medi o predefiniti. Questo approccio rende tali strumenti più accessibili e facilmente applicabili nel contesto delle piccole e medie imprese, ma riduce al tempo stesso la possibilità di rappresentare in maniera accurata le specificità produttive del sistema analizzato. La modellazione sviluppata mediante SimaPro consente invece una rappresentazione maggiormente esplicita dei processi e dei flussi di materia ed energia. La possibilità di definire in modo dettagliato materiali, trasporti, consumi energetici e processi produttivi permette di ottenere un modello più trasparente e controllabile, rendendo il software un valido riferimento

metodologico per il confronto con i tool semplificati.

La selezione e la disponibilità dei dataset, in particolare, influenzano significativamente i risultati ottenuti. In alcuni casi, infatti, si è reso necessario utilizzare dataset proxy o assumere materiali assimilabili a quelli reali, soprattutto nei tool che presentano librerie meno dettagliate o maggiormente orientate a specifici settori applicativi. EcoBalyse, ad esempio, pur essendo specificamente sviluppato per il settore tessile, non include categorie dedicate ai cappelli o agli accessori, rendendo necessaria l'assimilazione dei prodotti a categorie merceologiche simili.

Nel complesso, l'analisi evidenzia come le differenze tra i risultati ottenuti non derivano esclusivamente dai dati inseriti nei modelli, ma soprattutto dalle diverse logiche metodologiche e strutture di modellazione adottate dai tool. Tale aspetto conferma l'importanza di interpretare i risultati LCA non soltanto in termini quantitativi, ma anche alla luce delle assunzioni, dei confini del sistema e del livello di dettaglio che caratterizzano ciascuno strumento.

5.3 - APPLICABILITÀ DEGLI STRUMENTI SEMPLIFICATI NELLE PICCOLE E MEDIE IMPRESE

L'analisi svolta nel presente studio evidenzia come gli strumenti semplificati di Life Cycle Assessment possono rappresentare un valido supporto per le piccole e medie imprese interessate ad avviare percorsi di valutazione ambientale dei propri

prodotti. In particolare, tali strumenti consentono di ottenere una stima preliminare degli impatti ambientali attraverso procedure di modellazione relativamente rapide e caratterizzate da un livello di complessità inferiore rispetto ai software LCA tradizionali.

Uno dei principali vantaggi dei tool semplificati riguarda infatti la maggiore accessibilità operativa. Strumenti come 2030 Calculator, EcoBalyse e CarbonGraph permettono di sviluppare analisi ambientali anche in assenza di competenze avanzate in ambito LCA, richiedendo un numero limitato di input e riducendo significativamente tempi e costi di modellazione. Questo aspetto risulta particolarmente rilevante nel contesto delle PMI, che spesso dispongono di risorse economiche, tecniche e organizzative limitate rispetto alle grandi imprese. L'utilizzo di interfacce semplificate, dataset predefiniti e procedure guidate consente inoltre alle aziende di ottenere rapidamente una rappresentazione generale degli hotspot ambientali associati ai propri prodotti, facilitando l'integrazione di considerazioni ambientali nelle fasi iniziali di progettazione e sviluppo. In questo senso, i tool semplificati possono costituire uno strumento utile non soltanto per finalità di analisi interna, ma anche per attività di screening ambientale, eco-design e comunicazione sulla sostenibilità. Tuttavia, i risultati ottenuti nel corso dello studio evidenziano anche alcuni limiti significativi associati all'utilizzo di tali strumenti. La semplificazione metodologica comporta inevitabilmente una riduzione del livello di dettaglio della modellazione e della capacità di rappresentare

accuratamente le specificità produttive del sistema analizzato. In particolare, la forte dipendenza da dataset medi e scenari standardizzati può determinare variazioni anche rilevanti dei risultati finali rispetto a quelli ottenuti mediante una modellazione LCA maggiormente dettagliata. Le differenze osservate rispetto al modello sviluppato in SimaPro evidenziano come i tool semplificati tendano a privilegiare rapidità e accessibilità a discapito del livello di dettaglio dell'analisi.

Nonostante tali limiti, lo studio conferma come gli strumenti semplificati possano comunque fornire indicazioni utili e coerenti dal punto di vista qualitativo, soprattutto nell'identificazione delle principali fonti di impatto ambientale associate ai prodotti analizzati. In particolare, essi risultano efficaci come strumenti preliminari di supporto alle decisioni, permettendo alle PMI di avvicinarsi alle tematiche della sostenibilità ambientale senza la necessità di affrontare immediatamente la complessità tecnica e i costi associati a software LCA tradizionali.

Nel complesso, emerge quindi un evidente trade-off tra semplicità di utilizzo e livello di accuratezza della modellazione. Mentre strumenti avanzati come SimaPro consentono una rappresentazione più dettagliata e controllabile del sistema, i tool semplificati offrono una maggiore accessibilità operativa e una più immediata applicabilità nel contesto aziendale. La scelta dello strumento più adeguato dipende pertanto dagli obiettivi dell'analisi, dal livello di dettaglio richiesto e dalle risorse disponibili all'interno dell'impresa.

5.4 – LIMITI DELLO STUDIO

Nonostante l'analisi svolta abbia consentito di confrontare differenti approcci di modellazione LCA applicati al settore tessile, il presente studio presenta alcuni limiti metodologici e applicativi che è opportuno evidenziare ai fini di una corretta interpretazione dei risultati ottenuti.

Un primo limite riguarda la disponibilità dei dati aziendali. In diversi casi, infatti, non è stato possibile ottenere informazioni completamente dettagliate relative ai processi produttivi, ai consumi energetici specifici delle singole lavorazioni e alle caratteristiche tecniche di alcuni materiali utilizzati. Ciò ha reso necessario introdurre alcune assunzioni metodologiche e l'utilizzo di dati medi o valori derivati dalla letteratura tecnica e dai database disponibili.

Ulteriori limitazioni derivano dalla necessità di utilizzare dataset proxy per alcuni componenti, soprattutto nei casi in cui i database dei tool non includessero materiali o categorie perfettamente corrispondenti ai prodotti analizzati. Tale aspetto risulta particolarmente evidente negli strumenti semplificati, caratterizzati da librerie meno dettagliate e da una maggiore standardizzazione dei processi.

Anche i differenti confini del sistema e le diverse logiche di modellazione adottate dai tool rappresentano un elemento di criticità nel confronto dei risultati. Sebbene tutte le modellazioni siano state sviluppate mantenendo, per quanto possibile, criteri coerenti, le differenze nella struttura dei modelli, nella rappresentazione delle fasi del ciclo di vita e nella gestione dei processi produttivi rendono complesso un

confronto perfettamente uniforme tra gli strumenti analizzati.

Infine, è importante evidenziare come i tool semplificati analizzati siano strumenti in continua evoluzione, caratterizzati da database, algoritmi e metodologie soggetti a frequenti aggiornamenti. Pertanto, i risultati ottenuti devono essere interpretati nel contesto specifico delle versioni e delle configurazioni utilizzate nel corso dello studio.

Inoltre, per motivi di riservatezza industriale, alcuni dati quantitativi relativi ai prodotti e ai processi aziendali non sono stati riportati in forma assoluta nel presente elaborato. Sebbene tale scelta non abbia influenzato la correttezza delle elaborazioni effettuate, essa ha reso necessario utilizzare rappresentazioni qualitative o percentuali nella presentazione di alcuni risultati.

Nel complesso, tali limitazioni non compromettono la validità dell'analisi svolta, ma evidenziano la necessità di interpretare i risultati con un approccio critico, considerando le assunzioni metodologiche e il livello di dettaglio che caratterizza ciascuno strumento analizzato.

5.5 – CONSIDERAZIONI FINALI

L'analisi comparativa sviluppata nel presente capitolo evidenzia come i tool semplificati restituiscano risultati quantitativamente differenti rispetto alla modellazione sviluppata mediante SimaPro. Tali scostamenti risultano riconducibili principalmente alle differenti logiche metodologiche adottate, al

diverso livello di dettaglio richiesto nella costruzione dell'inventario e all'utilizzo di database medi e standardizzati che caratterizzano gli strumenti semplificati.

Nonostante le differenze nei valori restituiti, emerge una generale coerenza nell'individuazione delle principali fonti di impatto ambientale lungo il ciclo di vita dei prodotti. In particolare, tutti gli strumenti analizzati identificano nella fase di approvvigionamento delle materie prime il principale contributo all'impatto complessivo, evidenziando il ruolo centrale dei materiali nella definizione dell'impronta ambientale dei prodotti.

Le differenze osservate tra i risultati ottenuti non devono pertanto essere interpretate esclusivamente come semplici scostamenti quantitativi, ma devono essere analizzate alla luce delle differenti strutture metodologiche dei diversi livelli di semplificazione adottati dai tool. In quest'ottica, i risultati ottenuti devono essere interpretati considerando le differenti modalità con cui ciascun tool rappresenta il sistema analizzato, nonché il diverso livello di dettaglio e semplificazione che caratterizza la modellazione.

Nel complesso, il confronto sviluppato evidenzia come i tool semplificati, pur presentando inevitabili limiti in termini di accuratezza e livello di dettaglio dell'analisi, siano comunque in grado di fornire indicazioni coerenti dal punto di vista qualitativo, soprattutto nell'identificazione degli hotspot ambientali e delle principali fasi responsabili degli impatti complessivi.

CONCLUSIONI

La crescente attenzione verso la sostenibilità ambientale e la necessità di integrare tali tematiche nei processi decisionali delle imprese hanno contribuito alla diffusione di strumenti sempre più orientati alla misurazione e alla valutazione degli impatti ambientali dei prodotti. Tuttavia, se da un lato la metodologia LCA rappresenta oggi il riferimento per questo tipo di analisi, dall'altro la sua applicazione richiede competenze, dati e risorse che non sempre risultano facilmente accessibili, soprattutto nel contesto delle piccole e medie imprese.

Partendo da queste considerazioni, il presente lavoro ha analizzato l'applicabilità di alcuni strumenti semplificati di LCA attraverso un confronto con una modellazione sviluppata mediante il software SimaPro, utilizzato come riferimento metodologico. L'obiettivo non è stato quello di stabilire una gerarchia tra gli strumenti considerati, ma di comprendere in che modo le differenti logiche di modellazione influenzino i risultati ottenuti e quale contributo tali strumenti possono offrire nell'ambito delle attività di valutazione ambientale svolte dalle PMI.

L'analisi condotta ha evidenziato come i diversi tool restituiscano risultati quantitativamente differenti per i prodotti analizzati. Gli scostamenti osservati sono riconducibili a molteplici fattori, tra cui database utilizzati, il livello di dettaglio della modellazione e le assunzioni metodologiche necessarie per rappresentare il sistema studiato. Tali differenze confermano come i risultati di uno studio LCA

debbano essere sempre interpretati tenendo conto delle caratteristiche dello strumento utilizzato e delle modalità con cui il modello è stato costruito.

Nonostante queste differenze, uno degli aspetti più significativi emersi dal confronto riguarda la capacità dei diversi strumenti di individuare in maniera sostanzialmente coerente le principali fonti di impatto ambientale. In particolare, tutti i tool analizzati hanno evidenziato il ruolo predominante della fase di approvvigionamento delle materie prime, risultato che trova conferma anche nella modellazione sviluppata mediante SimaPro. Sebbene la distribuzione degli impatti tra le diverse fasi del ciclo di vita vari in funzione dello strumento considerato, la convergenza nell'identificazione degli hotspot ambientali rappresenta un elemento di particolare interesse ai fini dell'applicazione pratica di tali strumenti.

Alla luce dei risultati ottenuti, è possibile affermare che gli strumenti semplificati analizzati, pur non essendo in grado di sostituire una modellazione LCA completa, possono costituire un valido supporto nelle attività di screening ambientale preliminare. La loro maggiore accessibilità, unita alla ridotta quantità di dati richiesta e alla semplicità di utilizzo, li rende particolarmente interessanti per le piccole e medie imprese che intendono avviare percorsi di valutazione ambientale senza disporre delle risorse necessarie per sviluppare studi più complessi. In questo senso, la capacità di individuare le principali fonti di impatto può rappresentare un importante punto di partenza per orientare le decisioni aziendali e identificare possibili aree di miglioramento.

Allo stesso tempo, i risultati ottenuti evidenziano la necessità di considerare con attenzione i limiti associati all'utilizzo di tali strumenti. La presenza di dataset predefiniti, il ricorso a categorie standardizzate e la necessità di introdurre assunzioni metodologiche possono influenzare in maniera significativa la quantificazione degli impatti ambientali e ridurre la capacità di rappresentare fedelmente le specificità del sistema produttivo analizzato. Per questo motivo, qualora siano richiesti elevati livelli di accuratezza o si renda necessario supportare decisioni strategiche particolarmente rilevanti, l'utilizzo di software LCA tradizionali continua a rappresentare il riferimento metodologico più appropriato.

È opportuno evidenziare anche alcuni limiti del presente studio. L'analisi è stata infatti sviluppata su prodotti caratterizzati da una struttura relativamente semplice e ha richiesto, in alcuni casi, l'utilizzo di dataset proxy e l'introduzione di assunzioni metodologiche legate alle caratteristiche dei diversi strumenti. Inoltre, alcune fasi del ciclo di vita, quali l'utilizzo e il fine vita, non sono state incluse nella modellazione, concentrando l'attenzione principalmente sulle fasi iniziali del sistema prodotto.

In tale prospettiva, possibili sviluppi futuri potrebbero riguardare l'estensione dell'analisi a prodotti caratterizzati da una maggiore complessità costruttiva e da un ciclo di vita più articolato, includendo esplicitamente anche le fasi di utilizzo e fine vita. Ciò consentirebbe di verificare se le evidenze emerse nel presente lavoro si

mantengono anche in presenza di sistemi più complessi e di un maggior numero di variabili da considerare.

Un ulteriore ambito di approfondimento potrebbe riguardare l'impiego dei tool semplificati come supporto alle strategie di eco-design. La capacità dimostrata da tali strumenti di individuare le principali fonti di impatto ambientale suggerisce infatti la possibilità di utilizzarli come strumento preliminare per orientare scelte progettuali e interventi di miglioramento. In questo contesto, sarebbe interessante valutare se le indicazioni fornite dai tool semplificati possono tradursi in effettive riduzioni degli impatti ambientali e in quale misura tali risultati risultino coerenti con quelli ottenuti attraverso modellazioni LCA più dettagliate.

Nel complesso, le evidenze emerse suggeriscono che gli strumenti semplificati possono rappresentare una risorsa utile per avvicinare un numero crescente di imprese alle pratiche di valutazione ambientale. Pur con i limiti che ne caratterizzano l'utilizzo, essi possono contribuire a diffondere una maggiore consapevolezza degli impatti associati ai prodotti e a favorire l'integrazione di considerazioni ambientali nei processi decisionali aziendali, rappresentando un primo passo verso approcci alla sostenibilità più strutturati e approfonditi.

BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI

Ferreira, J. V., Esteves B., Cruz-Lopes, L. & Domingos, I. (2020). *Life Cycle Assessment – Historical Review and Future Perspectives*. Millenium, 2 (Special Edition No. 6), 63-69. [DOI: 10.29352/mill0206e.06.00315](https://doi.org/10.29352/mill0206e.06.00315)

ISO (International Organization for Standardization). (2006). *ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. Geneva: International Organization for Standardization.

ISO (International Organization for Standardization). (2006). *ISO 14044: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*. Geneva: International Organization for Standardization.

European Commission - Joint Research Centre (JRC). (2011). *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook: Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context*. First edition. Luxembourg: Publications Office of the European Union. EUR 24571 EN.

ADEME. (2025). *EcoBalyse – Documentation méthodologique et outil d’affichage environmental textile*. Agence de la Transition Écologique. <https://ecobalyse.beta.gouv.fr>

2030 Calculator. (2025). *Methodology Documentation*.
<https://www.2030calculator.com>

CarboGraph. (2025) . *Platform Guide – LCA Datasets and Methodology*.
<https://carbongraph.io/resources/platform-guide/lca-datasets>

Ecochain Technologies B.V. (2025). *Ecochain Helix – Platform and Methodology Documentation*. <https://ecochain.com>

GreenDelta GmbH. (2025). *OpenLCA Documentation*. Berlin, Germany.
<https://www.openlca.org/>