

QUANTIFICAZIONE DELLE PRESTAZIONI AMBIENTALI DELLA PRATICA DEL RIUTILIZZO PROMOSSA DAI CENTRI DEL RIUSO TRAMITE METODOLOGIA LCA

Mary Jo E. A. Nichilo*, Giulia Cavenago, Mario Grosso, Lucia Rigamonti

Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Milano.

Sommario

Nel contesto dell'economia circolare, il presente lavoro mira a valutare se e in quale misura la pratica del riutilizzo promossa dai centri del riuso possa fornire benefici ambientali; successivamente all'impostazione metodologica, viene analizzato nello specifico il caso studio del centro del riuso "Panta Rei" di Vimercate (MB), applicando la metodologia dell'analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment*, LCA) a dieci categorie di prodotto significative. L'impatto ambientale netto si ottiene dalla composizione delle due parti di cui il sistema è composto: la prima vita del bene (produzione, imballaggio, trasporto da industria a primo utente, utilizzo, conferimento del rifiuto e suo trasporto all'impianto di trattamento finale, fine vita) e la seconda vita del bene (trasporto del bene da primo utente a centro del riuso, trasporto da centro del riuso a secondo utente, riutilizzo). Gli impatti ambientali associati alla prima vita sono "evitati"; quelli associati alla seconda vita sono "aggiuntivi". L'analisi indaga 16 categorie d'impatto ambientale secondo il metodo di caratterizzazione *Environmental Footprint 3.1*. È emerso come il beneficio ambientale associato alla pratica del riutilizzo non sia scontato, ma dipenda da diversi fattori: tasso di sostituzione, tasso di qualità, tasso di prestazione energetica, distanza tra centro del riuso e abitazione del secondo utente e tempo di utilizzo del bene. I risultati relativi allo scenario base definito hanno mostrato che nel 2022 la pratica del riuso promossa dal centro ha consentito benefici ambientali in sole 5 categorie d'impatto su 16. I risultati cambierebbero se si considerassero altri valori dei fattori sopra elencati: una sostituzione tra bene nuovo e usato del 100%, ad esempio, consentirebbe benefici ambientali in tutte le 16 categorie d'impatto. Sono così identificate tre azioni chiave per migliorare le prestazioni ambientali della pratica del riutilizzo promossa dai centri del riuso: sensibilizzare i cittadini, promuovere la mobilità sostenibile e ridurre le distanze tra centri e consumatori.

Parole chiave: *riutilizzo, analisi del ciclo di vita, centro del riuso, economia circolare, ruolo del consumatore*

QUANTIFICATION OF THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCES OF THE REUSE PRACTICE PROMOTED BY REUSE CENTRES WITH THE LCA METHODOLOGY

Abstract

Nowadays, humanity overexploits the planet by at least 75%, using the equivalent of 1.75 Earths to meet its annual resource consumption and absorb its waste generation. This occurs because the dominant economic model is currently based on a linear logic, which can be summarized through the concept "take-make-dispose". The circular economy paradigm aims to overcome the traditional linear model, first of all by prioritizing the design of products with an end-of-life perspective. The objective is to minimize waste generation, by creating goods optimized for their disassembly, reuse and recycling. In this regard, the Directive 2008/98/EC ("Waste Framework Directive") establishes a common legal framework for Europe: Member States must adopt hierarchical waste management, prioritizing prevention, preparation for reuse, recycling, followed by other types of recovery and finally, as a last option, disposal. Reuse, as part of prevention measures, forms the basis of the circular economy model. In this context, this work analyses the case study of the Panta Rei reuse centre in Vimercate (MB), a structure where the collection and subsequent sale of reusable goods are carried out. The aim is to examine whether and to what extent the reuse practice can actually contribute to providing environmental benefits: the analysis quantifies the environmental impact associated with the reuse of used goods, sold during the year 2022, by the Panta Rei reuse centre. This assessment has been conducted through the application of the Life Cycle Assessment (LCA) methodology to 10 significant product categories. The system is composed of two main parts: the first life of the good (production, packaging, transport from industry to the first user's home, use, waste collection, waste transport to the final treatment plant, end of life) and the second life of the good (good transport from the first user's home to the reuse centre, good transport from

* Per contatti: Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano. Tel: +39 3342350766; E-mail: maryjo.nichilo@mail.polimi.it

Ricevuto il 20-2-2024. Correzioni richieste il 10-4-2024. Accettazione il 19-5-2024.

the reuse centre to the second user's home, reuse). The impact allocated to the first life constitutes the avoided environmental impact, while the impact allocated to the second life constitutes the additional environmental impact. From the composition of these two parts of the system, the quantification of the net environmental impact generated by the reuse of 1 item is obtained and, consequently, by integrating the information on the weight and number of items sold in 2022, the total net environmental impact associated with the entire activity of the centre is obtained.

Keywords: *reuse, life cycle assessment, reuse centre, circular economy, role of the consumer.*

1. Introduzione

Attualmente l'umanità sovrasfrutta il pianeta almeno del 75%, cioè utilizza l'equivalente di 1,75 Terre per soddisfare il proprio consumo di risorse annuale e per assorbire i propri rifiuti (WWF, 2022). Questo si verifica perché il modello economico dominante è attualmente basato su una logica lineare, fondata sull'uso di risorse ritenute disponibili in modo illimitato e sintetizzabile attraverso i termini "prendi-produci-smaltisci".

Relativamente alla richiesta di materie prime, i dati globali mostrano che non c'è stato alcun periodo di declino, o anche solo di stabilizzazione, della domanda globale di materiali negli ultimi cinque decenni. L'estrazione e il consumo di risorse sono infatti aumentati di dieci volte dal 1900 (Lucchetti, 2023). Le proiezioni future mostrano che l'uso globale dei materiali è destinato ad aumentare ancora: tra il 2015 e il 2060 potrebbe più che raddoppiare, se le richieste saranno soddisfatte con gli attuali modelli di produzione (UNEP & IRP, 2019).

Per quanto riguarda la produzione di rifiuti, secondo i dati riportati da Kaza et al. (2018) risulta in aumento in tutto il mondo: considerando uno scenario *business as usual*, si prevede che la produzione annuale di rifiuti possa aumentare di circa il 69% tra il 2016 e il 2050.

Si rende così chiara la necessità di riprogettare l'attuale sistema produttivo sulla base di criteri che consentano di massimizzare l'utilizzo delle risorse attraverso una serie di strategie di circolarità. A tal proposito, la direttiva 2008/98/CE ("Direttiva Quadro sui Rifiuti") stabilisce un quadro giuridico comune a livello europeo per la gestione e il trattamento dei rifiuti e decreta che, salvo specifiche variazioni argomentate con studi al ciclo di vita, gli Stati membri devono adottarne una gestione improntata gerarchicamente e pri-

oritariamente alla prevenzione, poi alla preparazione per il riutilizzo, quindi al riciclaggio, seguito dal recupero di altro tipo (per esempio il recupero di energia) e infine, come ultima opzione, dallo smaltimento. Il riutilizzo, in quanto misura di prevenzione, è, quindi, alla base del modello di economia circolare.

Nel contesto appena descritto, il punto focale del presente lavoro è esaminare se e in che misura il riutilizzo dato dall'attività di un centro del riuso dedicato possa effettivamente comportare benefici ambientali. Successivamente all'impostazione metodologica dell'analisi, il caso di studio è costituito dal centro del riuso Panta Rei di Vimercate (MB), una struttura in cui si svolgono principalmente attività di consegna e successiva vendita di beni usati riutilizzabili. La consegna dei beni al centro è limitata ai residenti dei comuni serviti da CEM Ambiente (provincia di Monza-Brianza), mentre i beni usati possono essere acquistati da chiunque. Il centro è stato inaugurato a giugno 2019 per iniziativa del comune di Vimercate in collaborazione con la cooperativa Mani Tese, ente gestore, e con CEM Ambiente, che ha messo a disposizione gratuitamente i locali che ospitano il centro.

Lo scopo dello studio è dunque quantificare e valutare l'impatto ambientale derivante dal riutilizzo di beni usati venduti nel corso dell'anno 2022 da parte del centro del riuso Panta Rei.

La metodologia adottata è quella dell'analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment*, LCA). Relativamente alla disponibilità di altri studi sul tema, è stato riscontrato che nel contesto della valutazione ambientale e della sostenibilità nel settore dell'usato, la letteratura scientifica basata sull'analisi del ciclo di vita (LCA) risulta particolarmente limitata. Ponendo, in particolare, l'attenzione su centri del riuso e mercatini dell'usato, le risorse informative risultano scarse: sono stati infatti reperiti solo tre studi relativi al contesto geografico italiano (Battisti et al., 2013; Castellani et al., 2015; Bartolozzi et al., 2017). Battisti et al. (2013) analizzano l'impatto ambientale associato al riutilizzo di oggetti usati commercializzati dai punti vendita della Mercatino Srl in alternativa all'acquisto di beni nuovi; Castellani et al. (2015) valutano i potenziali benefici associati alla vendita e al riuso di prodotti di seconda mano da parte di un centro del riuso; Bartolozzi et al. (2017) valutano i benefici ambientali associati a due centri del riuso, confrontando le prestazioni ambientali tra uno scenario senza e uno con riutilizzo su un definito arco temporale. In sintesi, gli aspetti significativi che emergono dai tre studi sono l'influenza sui risultati dei mezzi di trasporto adoperati per gli spostamenti e delle relative distanze percorse, l'impatto ambientale considerevole del ciclo di vita dei mobili, dovuto principalmente alla fase di produzione,

Tabella 1. Caratteristiche principali dei dieci prodotti analizzati.

Categoria di prodotto	Prodotto modellizzato	Caratteristiche del prodotto modellizzato		Motivazione della scelta delle caratteristiche del prodotto modellizzato
		Massa x_A [kg]	Ulteriori specifiche	
Oggettistica – T-shirt	T-shirt	0,25	Materiale: 100% cotone	Scelto lo stesso prodotto dello studio di Castellani et al. (2015)
Oggettistica – bicchieri	Bicchiere	0,4	Materiale: vetro	Scelto lo stesso prodotto dello studio di Castellani et al. (2015)
Libri, CD, VHS	Libro	0,86	Pagine: 400	Scelta dettata dalla disponibilità di dati
TV e monitor	TV	7,2	Tipologia: LCD-TV screen Dimensioni: 20,1”	Scelta del prodotto dettata dalla disponibilità di dati e dalla specifica presente nel regolamento per la gestione del centro del riuso secondo cui non è possibile il conferimento di elettrodomestici di grandi dimensioni
Computer	Computer	2,6	Tipologia: PC laptop	Scelta dettata dalla disponibilità di dati
Biciclette	Bicicletta	7,3	Tipologia: bicicletta con telaio in alluminio	Scelta dettata dalla disponibilità di dati
Letti	Letto	40,2	Tipologia: materasso a molle + rete; materiali principali: mix di polimeri, fibre, acciaio e legno	Scelta dettata dalla disponibilità di dati
Scarpe	Scarpe	1,2	Tipologia: scarpe in “gomma e plastica”	Scelta dettata dalla disponibilità di dati e dal fatto che la tipologia scelta può rappresentare diversi tipi di calzatura sportiva, da lavoro e per il tempo libero
Accessori neonati e bambini	Carrozzina	9,6	Materiali principali: polimeri e acciaio	Scelta dettata dalla disponibilità di dati
Elettrodomestici	Asciugacapelli	0,76	Tipologia: asciugacapelli ionico con diffusore di potenza pari a 2000 W	Scelta dettata dalla disponibilità di dati e ricaduta su un prodotto appartenente ai piccoli elettrodomestici poiché il regolamento per la gestione del centro del riuso afferma che non è consentito il conferimento di grandi elettrodomestici

e i conseguenti benefici ambientali derivanti dall’acquisto degli stessi come usati, e la rilevanza del riuso di capi di abbigliamento per via dell’elevato numero venduto.

2. Materiali e metodi

La quantificazione degli impatti ambientali associati all’attività di riutilizzo è stata effettuata con la metodologia dell’analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment*, LCA), che ha consentito di prendere in esame l’intera filiera produttiva, distributiva, di uso, riuso e fine vita di dieci categorie di prodotto scelte come significative (Ebli, 2023), in rappresentanza dell’elevata variabilità di beni venduti da un centro del riuso. Tale metodologia è stata applicata in accordo con i principi e i requisiti indicati dalla normativa tecnica internazionale attualmente in vigore, rappresentata dagli standard ISO 14040 (ISO 2006a) e ISO 14044 (ISO 2006b) e la modellizzazione e successiva valutazione degli impatti sono state effettuate con l’ausilio del software SimaPro 9.5. In linea con quanto riportato dalle norme ISO, la struttura di una LCA è sintetizza-

bile in quattro fasi principali: la definizione dell’obiettivo e del campo di applicazione, l’analisi di inventario, la valutazione degli impatti e l’interpretazione dei risultati. L’applicazione di queste fasi al caso studio è descritta nei seguenti paragrafi 2.1, 2.2, 2.3 e nel Capitolo 3.

2.1. Obiettivo dello studio e prodotti in analisi

Il presente studio LCA ha come obiettivo la definizione di una metodologia di valutazione dell’impatto ambientale della pratica del riutilizzo promossa dai centri del riuso e la sua applicazione al centro del riuso Panta Rei di Vimercate come caso di studio, con riferimento a un anno di vendite di prodotti usati appartenenti a dieci categorie selezionate come significative tra le venticinque categorie merceologiche coinvolte nell’attività del centro di riuso nel corso dell’anno 2022 (Mani Tesse Onlus, 2022). La selezione è avvenuta in accordo con la metodologia proposta da Ebli (2023): laddove possibile, è stato selezionato un prodotto rappresentativo per ciascuna categoria, per il quale un’analisi LCA preliminare è stata condotta; si è quindi stilata una classifica

in ordine decrescente rispetto all'impronta carbonica di ciascun prodotto analizzato. Le dieci categorie selezionate per il presente studio sono quelle rappresentate dai primi dieci prodotti in classifica. Considerata poi la variabilità delle tipologie di prodotto potenzialmente incluse in ciascuna categoria, è stato necessario scegliere un prodotto specifico da modellizzare per ciascuna categoria di prodotto stessa. Le dieci categorie di prodotto significative, i dieci prodotti scelti per la modellizzazione e le relative principali caratteristiche sono riassunti in Tabella 1.

La quantificazione dell'impatto ambientale totale, I , è stata effettuata mediante la seguente formula:

$$I = \sum_A I_A \quad (1)$$

Dove:

I_A : impatto ambientale netto totale, generato dall'attività del centro del riuso Pantà Rei di Vimercate nel 2022, relativo alla categoria A-esima.

La quantificazione di I_A è stata a sua volta effettuata attraverso la formula seguente:

$$I_A = I_{A,kg} \times m_A \times n_A \quad (2)$$

Dove:

- $I_{A,kg}$: impatto ambientale netto generato dal riuso di 1 kg di articolo appartenente alla categoria A-esima, ottenuto dividendo l'impatto ambientale netto generato dal riuso di 1 articolo, $I_{A,art}$ (definito nel sottoparagrafo 2.2.2), per la sua massa (massa dello specifico articolo modellizzato, x_A (Tabella 1), non necessariamente coincidente con m_A);

Tabella 2. Valori di massa media (media matematica) e numero di prodotti venduti per le dieci categorie di prodotto analizzate (fonte: Mani Tese Onlus, 2022).

Categoria di prodotto	Massa media degli articoli venduti dal centro del riuso nel 2022 m_A [kg]	Numero di articoli venduti dal centro del riuso nel 2022 n_A
Oggettistica – T-shirt*	1,26	2063
Oggettistica – bicchieri*	1,26	2063
Libri, CD, VHS	0,24	5026
TV e monitor	4,45	57
Computer	2,98	24
Biciclette	7,71	24
Letti	9,60	5
Scarpe	0,56	2043
Accessori neonati e bambini	0,29	1370
Elettrodomestici	8,79	129

* Si evidenzia che Ebli (2023) ha suddiviso la categoria di prodotto "oggettistica" in "oggettistica-T-shirt" e "oggettistica-bicchieri" per un'analisi più dettagliata, ripartendo equamente tra queste il numero di articoli venduti e mantenendo la massa media uguale per entrambe.

- m_A : massa media degli articoli appartenenti alla categoria A-esima venduti nel 2022 dal centro del riuso (Tabella 2);
- n_A : numero di articoli appartenenti alla categoria A-esima venduti nel 2022 dal centro del riuso (Tabella 2).

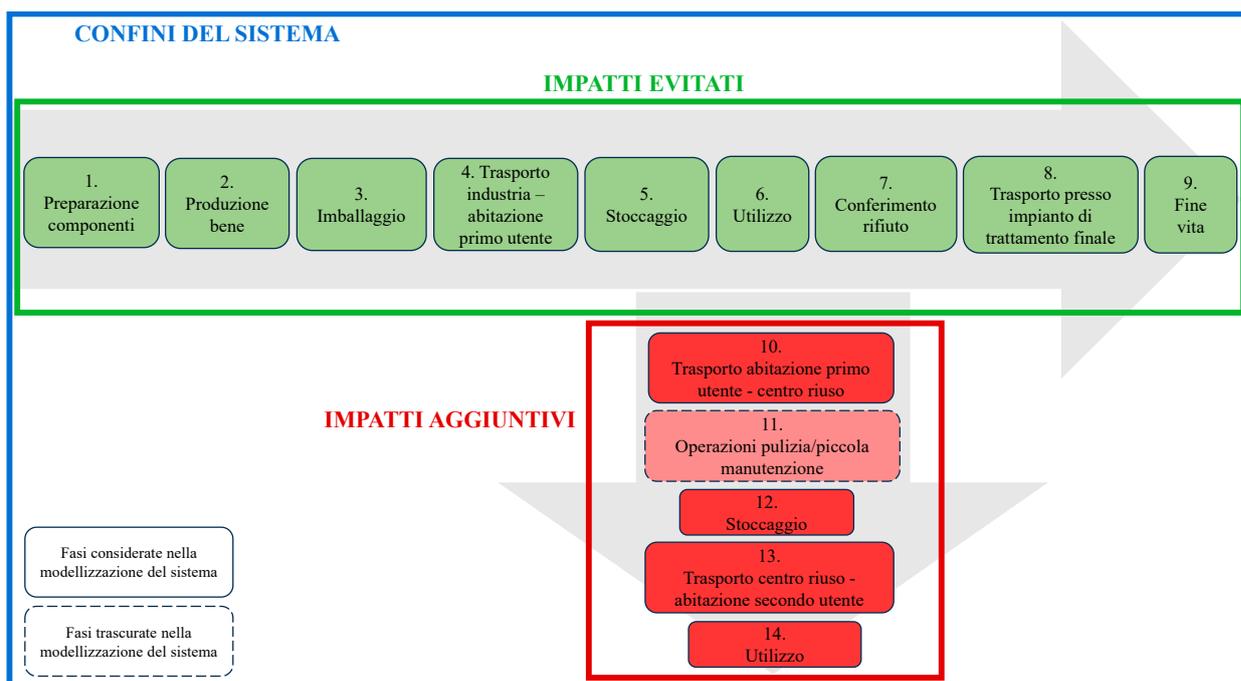


Figura 1. Confini del sistema.

2.2. Campo di applicazione

2.2.1. Unità funzionale

La funzione del sistema è la pratica di riutilizzare un prodotto. L'unità funzionale, formulata per ciascun prodotto modellizzato (Tabella 1), consiste nella seguente espressione: il riutilizzo di un prodotto A di massa x_A (massa del prodotto modellizzato).

2.2.2. Confini del sistema

I confini del sistema, uguali per tutti i prodotti analizzati, sono schematizzati in Figura 1.

Non tutte le fasi rappresentate in Figura 1 sono considerate nell'analisi: la fase 11 è omessa poiché, essendo variabile in base al tipo di oggetto, non si hanno a disposizione dati precisi al riguardo; le fasi 5 e 12 sono considerate nell'analisi solo per il primo prodotto esaminato, ossia la T-shirt, e trascurate, invece, nelle modellizzazioni degli altri prodotti (si veda Tabella 1, eccetto T-shirt), per via dei loro contributi trascurabili. Si sottolinea che, per quanto riguarda i processi di *foreground*, le infrastrutture sono escluse dai confini del sistema. Sono inoltre esclusi dai confini gli imballaggi e i pallet per la movimentazione.

Le fasi dalla 1 alla 9 generano impatti ambientali che sono stati allocati alla prima vita del bene, rappresentando il ciclo di vita completo di un articolo acquistato nuovo e poi smaltito. Le fasi dalla 10 alla 14 comportano invece impatti che sono stati allocati alla seconda vita del bene, costituendo il ciclo di vita di un articolo rimesso sul mercato, acquistato usato e riutilizzato. Il fine vita non è stato incluso nella seconda parte di vita degli oggetti in quanto si è deciso di allocarlo totalmente alla prima vita degli oggetti stessi. Poiché l'obiettivo dell'analisi è la quantificazione dell'impatto ambientale totale associato al riuso del bene, gli impatti allocati alla prima vita del bene, cioè allocati al bene nuovo che sarebbe stato prodotto se il bene non fosse acquistato usato, costituiscono degli impatti evitati, $I_{A,ev}$ (di segno negativo): il riutilizzo del bene consente di evitare il ciclo di vita del bene nuovo. Gli impatti associati alla seconda vita del bene, cioè al riuso del bene, costituiscono, invece, degli impatti aggiuntivi, $I_{A,agg}$ (di segno positivo). Stante il sistema sopra descritto, la quantificazione dell'impatto ambientale netto generato dal riuso di 1 articolo appartenente alla categoria A-esima, $I_{A,art}$, è stata effettuata nel modo seguente:

$$I_{A,art} = I_{A,agg} + I_{A,ev} \times t_{A,s} \quad (3)$$

Dove:

- $I_{A,agg}$: è l'impatto ambientale aggiuntivo, relativo alle fasi della seconda vita del prodotto appartenente alla categoria A-esima;

Tabella 3. Valori del tasso di sostituzione per le categorie di prodotto in analisi (derivanti da un questionario sottoposto a 577 utenti del centro del riuso nel mese di aprile 2023; fonte: Ebli, 2023)

Categoria di prodotto	Tasso di sostituzione $t_{A,s}$
Oggettistica – T-shirt	0,20
Oggettistica – bicchieri	0,20
Libri, CD, VHS	0,08
TV e monitor	1,00
Computer	1,00
Biciclette	1,00
Letti	0,75
Scarpe	0,07
Accessori neonati e bambini	0,22
Elettrodomestici	0,57

- $I_{A,ev}$: è l'impatto ambientale evitato, relativo alle fasi della prima vita del prodotto appartenente alla categoria A-esima;
- $t_{A,s}$: è il tasso di sostituzione della categoria A-esima, che assume valore tra 0 e 1 e serve a includere il significato della scelta del recarsi presso il centro del riuso (Tabella 3). Un valore pari a 0 significa che l'acquisto del bene usato non è necessario: l'utente sta acquistando poiché attirato dai prezzi convenienti rispetto ai normali prezzi di listino; se non acquistasse il bene usato al centro del riuso, non lo acquisterebbe nuovo altrove. Un valore pari a 1 significa, invece, che l'acquisto è necessario: se l'utente non acquistasse il bene al centro del riuso, lo andrebbe ad acquistare nuovo altrove; si ha, quindi, sostituzione del 100% tra bene nuovo e usato.

Un altro aspetto di cui tenere conto a livello metodologico è il fatto che non sempre un bene usato ha una qualità equiparabile a quella di un bene acquistato nuovo. La qualità di un prodotto può essere misurata attraverso diversi parametri. Nel presente studio si è assunto, in particolare, di misurare la qualità di un bene attraverso la sua vita utile, esplicitandola attraverso un coefficiente denominato tasso di qualità, $t_{A,q}$: è il rapporto tra la vita media attesa del bene usato e la vita media attesa del bene nuovo. Varia tra 0 e 1 ed è moltiplicato per il termine che rappresenta l'impatto evitato, riducendone così il contributo nel caso in cui bene nuovo e usato non si equivalgono dal punto di vista della qualità. Si suppone che sia inferiore a 1 solo per apparecchi elettrici ed elettronici, ma, vista la complessità nel definirne un valore in modo preciso, nello scenario base, cioè nella modellizzazione di riferimento, per semplicità è assunto pari a 1 anche nel caso di tali beni.

Nel caso di apparecchi elettrici ed elettronici, si aggiunge un'ulteriore considerazione: il bene usato, pro-

dotto alcuni anni prima rispetto al bene nuovo, verosimilmente ha una prestazione energetica inferiore e, quindi, un consumo energetico superiore. Per tenerne conto, è stato introdotto un ulteriore coefficiente, definito tasso di prestazione energetica, $t_{a,p,es}$, che varia tra 0 e 1, al fine di differenziare le fasi di utilizzo per il bene nuovo e il bene usato: è il rapporto tra il consumo energetico del bene nuovo e il consumo energetico del bene usato. Anche in questo caso, vista la complessità nel definirne un valore in modo preciso, nello scenario base è assunto pari a 1.

A conclusione dell'analisi, se l'impatto ambientale netto risulta di segno negativo, significa che l'impatto evitato è, in valore assoluto, maggiore di quello aggiuntivo e, dunque, la pratica del riuso apporta un beneficio ambientale. Se, invece, l'impatto ambientale netto risulta di segno positivo, significa che l'impatto aggiuntivo è, in valore assoluto, maggiore di quello evitato e, dunque, la pratica del riuso apporta un danno ambientale.

Per la modellizzazione delle fasi di produzione e di fine vita dei prodotti analizzati è stato seguito l'approccio modellistico del Sistema Internazionale *Environmental Product Declaration* (EPD®), descritto nelle relative *General Programme Instructions*, versione 4.0 (*The International EPD® System*, 2021), le cui indicazioni suggeriscono di adottare il cosiddetto approccio 100-0. La logica alla base di tale approccio è il principio "chi inquina paga": chi genera il rifiuto si deve fare carico degli impatti ambientali derivanti dal suo trattamento.

2.2.3. Analisi di sensibilità e di *breakeven*

Per comprendere come la variazione dei valori assunti per i diversi parametri (tassi di sostituzione, di qualità e di prestazione energetica, distanza tra centro del riuso e abitazione del secondo utente, tempo di utilizzo di apparecchi elettrici ed elettronici) influiscono sui risultati finali dell'analisi, si è deciso di eseguire delle analisi di sensibilità:

- laddove il tasso di sostituzione è inferiore ad 1, esso è posto pari a 1, al fine di indagare come variano i risultati tra caso reale e caso migliore, cioè in caso di sostituzione di un bene nuovo con un bene usato pari al 100%;
- nel caso di prodotti su cui agiscono il tasso di qualità e il tasso di prestazione energetica (apparecchi elettrici ed elettronici), che di default sono posti pari a 1, sono testati rispettivamente i valori 0,5, ovvero il caso in cui il bene usato abbia una vita media utile pari alla metà della vita media utile del bene nuovo, e 0,8, cioè il caso in cui il consumo elettrico del bene nuovo sia pari all'80% del consumo elettrico del bene usato;

- la distanza tra centro del riuso e abitazione del secondo utente è ridotta del 75%;
- nel caso di apparecchi elettrici ed elettronici, il loro tempo di utilizzo è aumentato del 50% o del 100%.

Per il tasso di sostituzione si è deciso, inoltre, di effettuare un'analisi di *breakeven*, allo scopo di individuare il valore minimo in corrispondenza e sopra al quale l'impatto netto ambientale associato a ciascun prodotto assume segno negativo, cioè la pratica del riuso apporta effettivamente un beneficio ambientale.

2.2.4. Indicatori ambientali analizzati

Per la valutazione dell'impatto ambientale sono state esaminate 16 categorie di impatto, così ripartite:

- otto categorie di impatto sull'ambiente naturale: Cambiamento Climatico (CC), Assottigliamento dello strato di Ozono (AO), Formazione di Ozono fotochimico (FO), Eutrofizzazione in acqua Dolce (ED), Eutrofizzazione Marina (EM), Eutrofizzazione Terrestre (ET), Acidificazione (A), ECotossicità delle acque dolci (EC);
- quattro categorie di impatto sulla salute umana: Radiazione Ionizzante (RI), Assunzione di materiale Particolato (AP), Tossicità Umana Non Cancerogena (TU_{NC}) e Tossicità Umana Cancerogena (TU_C);
- quattro categorie di impatto sull'esaurimento di risorse: Consumo di Suolo (CS), Consumo di risorse idriche (CA), Consumo di Risorse Energetiche non rinnovabili (CR_E) e Consumo di Risorse, Minerali e Metalli (CR_M).

Gli indicatori associati a tali categorie di impatto e i modelli di caratterizzazione usati per il loro calcolo sono quelli proposti nel metodo *Environmental Footprint* (EF 3.1), sviluppato per la Commissione Europea dal *Joint Research Centre* (Andreasi Bassi et al., 2023).

2.3. Analisi di inventario

La documentazione fornita dal centro del riuso Pantarei è al momento limitata: i dati primari a disposizione sono insufficienti per poter effettuare un'analisi LCA. Si è reso allora necessario ricorrere a dati secondari derivati dalla letteratura scientifica, da altri progetti e da banche dati LCA (ecoinvent 3.8), adattati al caso studio, o dati terziari, cioè dati stimati e dati assunti. In Tabella 4 sono riportate le fasi del ciclo di vita considerate per ogni prodotto e la fonte dei dati utilizzati per la relativa modellizzazione. Ulteriori dettagli sono reperibili nella tesi di laurea magistrale "Quantificazione dei benefici ambientali associati all'attività del centro del riuso Pantarei tramite metodologia LCA" (Nichilo, 2023).

Nel caso in cui la modellizzazione del prodotto finito sia già presente nella banca dati di riferimento (ad

Tabella 4. Fonti dei dati utilizzati nella modellizzazione delle fasi del ciclo di vita dei 10 prodotti in analisi: T-shirt (A), bicchiere (B), libro (C), TV (D), computer (E), bicicletta (F), letto (G), scarpe (H), carrozzina (I), asciugacapelli (L). La numerazione delle fasi è la stessa riportata in Figura 1. La fase 11 non è presente in tabella in quanto non è considerata nello studio.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	
1	Castellani et al. (2015)	Castellani et al. (2015)	Tua et al. (2022)	Talens Peirò et al. (2016)	Ecoinvent	Pré Sustainability (2023)	Cordella et al. (2012)	Gottfridsson e Zhang (2015)	Kerdlap et al. (2021)	Ecoinvent	
2	Castellani et al. (2019)	Hp		Sala et al. (2019) con modifica	Sala et al. (2019)			Castellani et al. (2019)	Hp	Ashby (2009)	
3	PEF, hp, ACI (2022, 2023)						PEF, hp, ACI (2022)	PEF, hp, ACI (2022, 2023)			
4	PEF e hp	\	\	\	\	\	\	\	\	\	
5	PEF		\	Dato primario, Sala et al. (2019), ACI (2022, 2023), Falbo et al. (2015) e hp		Pré Sustainability (2023) e ACI (2023)	\	\	Kerdlap et al. (2021)	Dato primario e Ashby (2009)	
6	Hp e ACI (2023)	\	\	Hp e ACI (2023)			Hp e ACI (2022)	Hp e ACI (2023)			
7	People to People (2021), CEM (2022), PRGR Lombardia (2022)	CEM (2022), PRGR Lombardia (2022) e hp						Cordella et al. (2012), CEM (2022), PRGR Lombardia (2022) e hp	Humana People to People (2021), CEM (2022), PRGR Lombardia (2022) e hp	CEM (2022), PRGR Lombardia (2022) e hp	
8	Schmidt et al. (2016), Humana People to People (2021),	PRGR Lombardia (2022), Rigamonti et al. (2013)	PRGR Lombardia (2022), Rigamonti et al. (2013)	Falbo et al. (2015), PRGR Lombardia (2022)	Falbo et al. (2015), PRGR Lombardia (2022)	Hp, PRGR Lombardia (2022), Rigamonti et al. (2013)	Cordella et al. (2012), PRGR Lombardia (2022), Rigamonti et al. (2013), dato primario	Schmidt et al. (2016), Humana People to People (2021), PRGR Lombardia (2022)	Hp, PRGR Lombardia (2022), Rigamonti et al. (2013)	Falbo et al. (2015), PRGR Lombardia (2022), Rigamonti et al. (2013), dato primario	
9	PEF con modifica, ACI (2023)			Hp, ACI (2023)	PEF con modifica, ACI (2023)		Hp, ACI (2022)	PEF con modifica, ACI (2023)			
10	PEF	\	\	\	\	\	\	\	\	\	
11	PEF con modifica, ACI (2023)			Hp, ACI (2023)	PEF con modifica, ACI (2023)		Hp, ACI (2022)	PEF con modifica, ACI (2023)			
12	PEF		\	Dato primario, Sala et al. (2019), ACI (2022, 2023), Falbo et al. (2015), hp		\	\	\	Kerdlap et al. (2021)	Dato primario e Ashby (2009)	
13	PEF		\	Dato primario, Sala et al. (2019), ACI (2022, 2023), Falbo et al. (2015), hp		\	\	\	Kerdlap et al. (2021)	Dato primario e Ashby (2009)	
14	PEF		\	Dato primario, Sala et al. (2019), ACI (2022, 2023), Falbo et al. (2015), hp		\	\	\	Kerdlap et al. (2021)	Dato primario e Ashby (2009)	

esempio, computer e asciugacapelli), si è scelto quel prodotto; al contrario, ci si è basati su studi di letteratura, i quali a loro volta combinano dati primari e dati secondari.

Si sottolinea che, per quanto concerne la fase di trasporto del bene dal produttore all'abitazione del primo utente, siccome la modellizzazione delle diverse categorie di prodotto non riguarda uno specifico bene originario di uno specifico paese, bensì un prodotto generico, per tutti i beni si è deciso di seguire le linee guida relative a trasporti e logistica indicate nella Raccomandazione 2021/2279/EU (CE, 2021; pp.46-47) per la parte riguardante la *Product Environmental*

Footprint (PEF). Tali linee guida forniscono in particolare tre alternative di percorso tra industria e primo utente (trasporto diretto, trasporto con un sito di transito intermedio presso un centro di distribuzione e trasporto con un sito di transito intermedio presso un punto vendita al dettaglio) e i relativi mezzi di spostamento di filiera locale, intracontinentale e internazionale (il trasporto avviene in parte via mare tramite un container transoceanico e in parte via terra tramite un autocarro di grandi dimensioni). Per quanto riguarda le alternative di percorso, per cui la PEF non impone le relative percentuali di occorrenza, non avendo informazioni precise a disposizione, si è assunto di ripartir-

le in modo uguale, cioè con una percentuale di accudimento pari al 33,3% ciascuna. Lo stesso approccio è stato adottato per i tre tipi di filiera (locale, intracontinentale e internazionale) e le relative combinazioni di trasporto che non sono già indicate nella PEF: sono assunte pari a 33,3% ciascuna.

La scelta delle localizzazioni geografiche delle attività successive alla produzione del bene e alla sua esportazione è stata effettuata dando priorità al contesto italiano, quando disponibile, altrimenti al contesto geografico europeo, svizzero o, da ultimo, globale.

Per quanto riguarda la modellizzazione della fase di trasporto del rifiuto presso il relativo impianto di trattamento finale, si descrivono di seguito i dati adottati comuni a più categorie di prodotto.

Secondo i dati contenuti nel Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti (PRGR) della Regione Lombardia del 2022, le percentuali di intercettazione tramite raccolta differenziata sono le seguenti: 37% per la plastica; 59,9% per la carta e il cartone; 90,1% per il vetro. Quanto raccolto in modo differenziato è poi inviato ad un impianto di selezione, con finalità ultima il riciclo. Per la fase di selezione si è assunta un'efficienza del 100%.

Secondo il PRGR il rifiuto conferito, invece, nella raccolta indifferenziata è destinato a recupero energetico per il 97% e a discarica per il 3%.

Per la scelta della localizzazione degli impianti, in parte ci si è avvalsi del rapporto del 2022 di CEM Ambiente relativo ai servizi di igiene urbana del comune di Vimercate e in parte sono state fatte delle ipotesi. In particolare, si è considerato che la plastica, i materiali cellulorici e il vetro raccolti in modo differenziato siano inviati da Vimercate ad impianti di selezione situati rispettivamente a Verderio Inferiore, Pieve Emanuele e Origgio. Il rifiuto destinato a recupero energetico è, invece, mandato a Trezzo sull'Adda per il 56%, a Desio per il 26% e a Montanaso Lombardo per il restante 18%. Il rifiuto destinato a discarica, infine, è mandato ad una discarica distante 150 km. Gli impatti ambientali dovuti alle fasi di pretrattamento presso gli impianti di selezione sono quantificati attraverso i relativi consumi energetici: 60,5 kWh_e/t per la plastica (dato primario); 1,5 kWh_e/t per carta e cartone (Rigamonti et al., 2013); 22 kWh_e/t per il vetro (Rigamonti et al., 2013).

Relativamente alla gestione dei RAEE, si è assunto che essi siano soggetti al conferimento diretto da parte del singolo cittadino in isola ecologica, ipotizzando che l'abitazione del primo utente disti 10 km da questa e che lo spostamento avvenga con auto privata e/o a piedi in base alla tipologia di prodotto. Si è assunto che l'impianto di selezione dei RAEE sia situato a Cavenago di Brianza e il relativo consumo di energia elettrica

è posto pari a 26,5 kWh_e/t per computer e TV e pari a 66 kWh_e/t per l'asciugacapelli (Falbo et al., 2015).

Per ciò che è destinato a recupero energetico o a discarica, si è ipotizzato che le localizzazioni degli impianti siano le stesse sopracitate per rifiuti indifferenziati e imballaggi. Per i destini ultimi dei materiali che compongono i RAEE ci si è basati sullo studio di Falbo et al. (2015), che prevede una fase iniziale di separazione delle componenti principali, a cui segue l'invio di tali componenti ad impianti specializzati per ulteriori processi di separazione di componenti o materiali oppure l'invio diretto a impianti specifici per il recupero delle componenti o il riciclo dei materiali.

Per quanto riguarda i rifiuti ingombranti, si è assunto che essi siano soggetti in parte al conferimento diretto da parte del singolo cittadino in isola ecologica e in parte al ritiro a domicilio. Si è supposto che l'impianto di selezione sia situato a Cavenago di Brianza. Non avendo a disposizione dati circa i consumi dell'impianto di selezione dei rifiuti ingombranti, sono assunti i medesimi consumi elettrici di un impianto di selezione per i RAEE, pari a 66 kWh_e/t.

Per quanto concerne il trasporto del bene usato dall'abitazione del primo utente (che si è ipotizzato essere localizzata a Vimercate) al centro del riuso, si è assunta una distanza di 10 km. Per quanto riguarda il trasporto dal centro del riuso all'abitazione del secondo utente, si è assunta invece una distanza di 20 km, in virtù del fatto che i beni usati possono essere acquistati da chiunque. Per la tipologia di mezzi adoperati per lo spostamento, in entrambi i casi si è adottata la ripartizione riportata dalla PEF, unendo però il 5% dei casi di trasporto previsti tramite furgone (che costituirebbe la consegna tramite corriere, ma in questo caso non avrebbe senso) alla casistica del trasporto con auto, risultando quindi che nel 67% dei casi l'utente utilizza l'auto privata e nel 33% dei rimanenti casi non adopera nessun mezzo (si muove a piedi).

Si sottolinea che per la scelta delle tipologie di mezzi di trasporto utilizzati fuori dal territorio italiano sono state mantenute le indicazioni della PEF; per quelli nazionali sono stati invece usati i dati dei mix ACI, quello del 2021 (ACI, 2022) per l'autocarro di grandi e piccole dimensioni e quello del 2022 (ACI, 2023) per l'auto privata.

Nel caso di trasporto con auto sono state inoltre fatte alcune ipotesi circa l'allocazione dell'impatto, in base al numero di articoli trasportati e al momento dello spostamento: relativamente a quest'ultimo, in tutti i casi si è assunto che lo spostamento avvenga nell'ambito di uno spostamento effettuato anche per altri motivi, con conseguente allocazione dell'impatto al singolo bene pari al 50%.

Tabella 5. Risultati relativi allo scenario base: impatto netto totale, I_A , relativo a ciascuna categoria di prodotto e impatto netto totale, I , associato all'intera attività del centro del riuso Panta Rei nell'anno 2022 per ogni categoria di impatto.

Categoria d'impatto	Unità di misura	T-shirt	Scarpe	Bicchieri	Libro	Computer	TV	Asciugacapelli	Letto	Carrozzina	Bicicletta	Impatto totale, I
CC	kg CO ₂ eq.	1,2E+04	5,8E+03	4,0E+04	3,4E+03	-4,5E+03	-1,2E+04	4,8E+03	-1,6E+02	-6,5E+02	-2,2E+03	4,6E+04
AO	kg CFC-11 eq.	3,0E-04	3,2E-05	9,1E-04	6,7E-05	-2,2E-04	-6,9E-04	6,8E-05	-2,9E-05	-1,9E-06	-3,2E-05	4,1E-04
RI	kBq U-235 eq.	5,5E+02	1,4E+02	4,4E+03	8,0E+01	-5,2E+02	-1,4E+03	1,8E+02	-4,7E+00	-6,4E+01	-2,1E+02	3,1E+03
FO	kg COVNM eq.	5,0E+01	2,2E+01	1,4E+02	1,5E+01	-1,7E+01	-4,9E+01	1,2E+01	-5,7E-01	-2,0E+00	-8,8E+00	1,6E+02
AP	Incidenza di malattia	3,4E-04	2,9E-04	1,1E-03	1,7E-04	-3,0E-04	-6,7E-04	2,8E-05	-1,8E-05	-3,8E-05	-1,8E-04	7,0E-04
TU _{NC}	CTUh	1,5E-04	6,0E-05	6,4E-04	3,8E-05	-2,6E-04	-5,7E-04	-3,4E-04	-1,9E-06	-5,8E-06	-4,7E-05	-3,5E-04
TU _C	CTUh	1,4E-05	4,9E-06	2,5E-05	2,9E-06	-4,0E-06	-9,9E-06	-1,6E-06	-3,9E-07	-9,7E-07	-3,6E-06	2,6E-05
A	mol H ⁺ eq.	5,3E+00	1,9E+01	1,7E+02	1,1E+01	-3,1E+01	-8,3E+01	-5,8E+01	-1,9E+00	-3,8E+00	-2,0E+01	2,9E+00
ED	kg P eq.	-2,6E-01	6,7E-01	9,5E+00	4,1E-01	-4,2E+00	-1,3E+01	-2,3E+00	-5,7E-02	-2,5E-01	-9,3E-01	-1,1E+01
EM	kg N eq.	-4,9E+01	4,8E+00	5,3E+01	2,9E+00	-6,3E+00	-1,7E+01	1,0E+00	-6,3E-01	-1,3E+00	-2,7E+00	-1,6E+01
ET	mol N eq.	-5,0E+01	5,2E+01	3,3E+02	3,1E+01	-6,0E+01	-1,7E+02	1,4E+01	-7,5E+00	-8,0E+00	-2,6E+01	1,0E+02
EC	CTUe	2,6E+04	4,6E+04	2,6E+05	2,7E+04	-7,6E+04	-2,5E+05	-7,8E+03	-2,6E+03	-1,9E+03	-9,8E+03	8,0E+03
CS	Pt	-1,1E+04	2,5E+04	2,5E+05	4,7E+03	-1,8E+04	-4,9E+04	1,4E+04	-6,7E+03	-3,4E+03	-1,0E+04	2,0E+05
CA	m ³ acqua	-6,1E+04	1,8E+02	2,2E+04	1,4E+02	-8,8E+02	-1,9E+03	-7,9E+02	-3,2E+02	-8,5E+02	-5,9E+02	-4,4E+04
CR _E	MJ	1,8E+05	7,4E+04	6,1E+05	4,5E+04	-5,6E+04	-1,6E+05	5,6E+04	-1,5E+03	-9,6E+03	-2,7E+04	7,1E+05
CR _M	kg Sb eq.	1,5E-01	5,3E-02	4,4E-01	3,5E-02	-8,7E-01	-3,1E+00	-3,6E-01	-7,5E-04	-2,3E-03	-1,3E-02	-3,7E+00

3. Risultati e discussione

In questo capitolo sono mostrati in primo luogo i risultati per lo scenario base, in secondo luogo i risultati delle analisi di sensibilità e infine i risultati delle analisi di *breakeven*.

Si anticipa che, per maggiore chiarezza grafica, nelle tabelle presenti nei paragrafi seguenti sono riportati in rosso i risultati con segno positivo, ad indicare che gli impatti aggiuntivi sono, in valore assoluto, maggiori di quelli evitati e che dunque la pratica del riuso non apporta un beneficio, bensì un danno ambientale. In verde sono, invece, riportati i risultati con segno negativo, ad indicare che gli impatti evitati sono, in valore assoluto, maggiori di quelli aggiuntivi e che, dunque, la pratica del riuso apporta un beneficio ambientale. Laddove sono riportate le variazioni percentuali dei risultati derivanti dalla variazione del valore di uno o più parametri, si evidenzia, per una migliore comprensione, che possono verificarsi i casi seguenti:

- variazioni minori di -100% (es. -130%) significano che per quella categoria di impatto si è passati da un carico a un beneficio o da un beneficio a un carico: la distinzione tra i due casi è evidenziata dal colore dei caratteri, verde in caso di passaggio a beneficio e rosso in caso di passaggio a carico;
- variazioni comprese tra il -100% e lo 0% indicano che per quella categoria di impatto il carico am-

bientale o il beneficio ambientale diminuisce in termini assoluti ma rimane un carico o un beneficio: la distinzione tra i due casi è evidenziata dal colore dei caratteri, verde in caso di beneficio e rosso in caso di carico;

- variazioni maggiori di 0% significano che il carico o il beneficio aumenta in termini assoluti ma rimane tale: la distinzione tra i due casi è evidenziata dal colore dei caratteri, verde in caso di beneficio e rosso in caso di carico.

La variazione percentuale è calcolata come rapporto tra la differenza tra il risultato degli impatti ambientali conseguente alla variazione di uno o più parametri e quello dello scenario di riferimento rispetto a cui la variazione vuole essere calcolata (es. scenario base) e il risultato dello scenario di riferimento rispetto a cui la variazione vuole essere calcolata (es. scenario base).

3.1. Risultati relativi allo scenario base

I risultati relativi allo scenario base (Tabella 5), per i valori dei tassi e dei parametri considerati e, in generale, per tutte le assunzioni fatte, evidenziano che il riutilizzo dei beni venduti dal centro del riuso Panta Rei di Vimercate nel 2022 ha consentito nel complesso di avere benefici ambientali in sole 5 categorie d'impatto sulle 16 considerate: tossicità umana non cancerogena (TU_{NC}), eutrofizzazione delle acque dolci (ED), eutrofizzazione marina (EM), con-

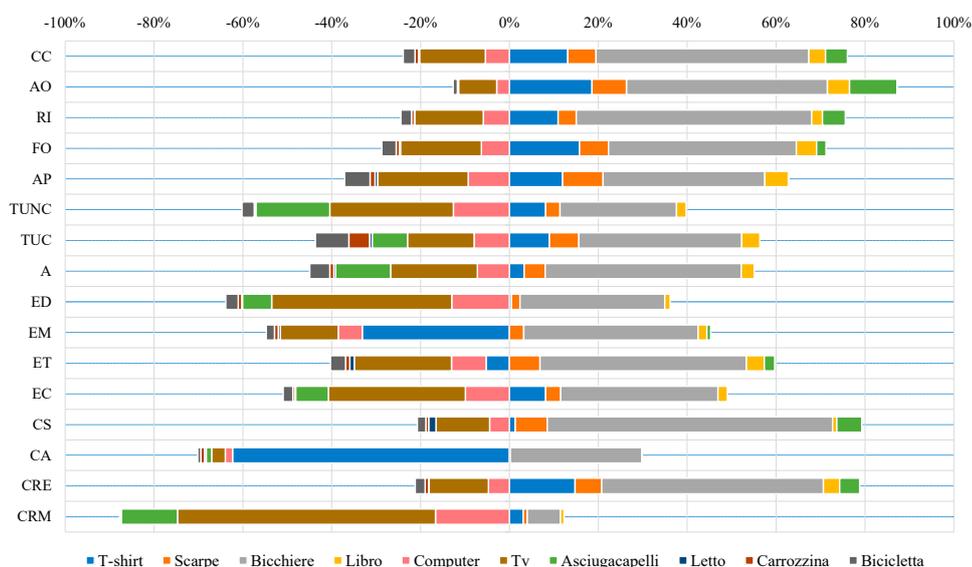


Figura 2. Risultati relativi allo scenario base: analisi dei contributi percentuali delle 10 categorie di prodotto analizzate all'impatto totale, I , associato all'attività del centro del riuso nel 2022.

sumo delle risorse idriche (CA) e consumo di risorse, minerali e metalli (CR_M).

Relativamente ai beni di piccole dimensioni (T-shirt, scarpe, bicchiere e libro) si osserva che il contributo che apportano alla pratica del riuso è perlopiù un carico ambientale e non un beneficio. Per scarpe, bicchiere e libro l'impatto netto totale risulta, infatti, positivo per tutte le categorie d'impatto considerate. Nel caso della T-shirt la pratica del riuso apporta un beneficio per sole 5 categorie su 16 (ED, EM, ET, CS e CA). La ragione di ciò può essere attribuita al fatto che le categorie di prodotto menzionate hanno un tasso di sostituzione molto basso, rispettivamente pari a 0,2, 0,07, 0,2 e 0,08: nel quantificare l'impatto ambientale associato alla pratica del riuso, si sta tenendo conto del fatto che – secondo i risultati del questionario sottoposto a 577 utenti del centro del riuso (Tabella 3) – solo una quota parte dei consumatori (rispettivamente il 20%, il 7%, il 20% e l'8%) che acquistano uno di questi prodotti usati lo fa in alternativa all'acquisto di un bene nuovo; la restante quota di consumatori non ha in realtà bisogno del bene e dunque, acquistandolo al centro del riuso, apporta di fatto un carico sull'ambiente. Relativamente agli apparecchi elettrici ed elettronici (computer, TV e asciugacapelli) si osserva che nel caso di computer e TV la pratica del riuso comporta complessivamente un beneficio per tutte le categorie d'impatto. Si ricorda che per questi due prodotti il tasso di sostituzione è pari al massimo possibile, cioè 1, e quindi tutto l'impatto evitabile è effettivamente evitato. Nel caso dell'asciugacapelli, invece, che ha un tasso di sostituzione pari a 0,57, la pratica del riuso apporta

(nello scenario base) un beneficio per 7 categorie su 16 (TU_C , TU_{NC} , A, ED, EC, CA, CR_M). Relativamente, infine, ai beni ingombranti (letto, carrozzina e bicicletta), si osserva che in tutti e tre i casi la pratica del riuso comporta un beneficio per tutte le categorie d'impatto.

Si riporta in Figura 2 l'analisi dei contributi percentuali delle 10 categorie di prodotto alle 16 categorie d'impatto per il centro del riuso nel suo complesso.

Appare chiaro il contributo importante in segno positivo (carico ambientale) dell'oggettistica (T-shirt e bicchiere) e, in generale, dei beni di piccole dimensioni (oltre ai due già menzionati, emergono i contributi di scarpe e libro).

L'impatto netto unitario di questi beni, $I_{A,art}$, è in realtà di uno o due ordini di grandezza inferiore rispetto a quello dei beni di grandi dimensioni; il fatto che i primi comportino il maggior contributo all'impatto netto totale del centro è dovuto sostanzialmente al fatto che il numero di beni di piccole dimensioni venduti nel 2022 è molto superiore rispetto a quelli dei beni di grandi dimensioni (Tabella 2, es. 2063 bicchieri e 24 computer).

3.2. Risultati delle analisi di sensibilità e delle analisi di breakeven

3.2.1. Sensibilità sul tasso di sostituzione

L'analisi di sensibilità sul tasso di sostituzione è volta ad indagare se e come varia l'impatto netto totale associato alla pratica del riuso modificando il tasso di sostituzione e ponendolo, in particolare, pari a 1 per tutti i prodotti: si suppone che ogni acquisto sia necessario, ovvero che se non fosse acquistato un bene usato

Tabella 6. Risultati dell'analisi di sensibilità sul tasso di sostituzione relativi all'intero centro del riuso.

Categoria d'impatto	Unità di misura	Impatto netto totale, I	Variazione % rispetto allo scenario base (Tabella 5)
CC	kg CO ₂ eq.	-4,3E+04	-194%
AO	kg CFC-11 eq.	-2,9E-03	-827%
RI	kBq U-235 eq.	-4,6E+03	-248%
FO	kg COVNM eq.	-2,2E+02	-238%
AP	Incidenza di malattia	-3,8E-03	-642%
TU _{NC}	CTUh	-2.0E-03	+479%
TU _C	CTUh	-3,0E-05	-217%
A	mol H ⁺ eq.	-6,1E+02	-20958%
ED	kg P eq.	-4,3E+01	+302%
EM	kg N eq.	-4,3E+02	+2613%
ET	mol N eq.	-1,5E+03	-1541%
EC	CTUe	-1,1E+06	-14173%
CS	Pt	-1,1E+06	-640%
CA	m ³ acqua	-3,5E+05	+699%
CR _E	MJ	-5,4E+05	-176%
CR _M	kg Sb eq.	-4,8E+00	+29,4%

ne sarebbe acquistato uno nuovo. Si riportano in Tabella 6 i risultati ottenuti per l'intero centro del riuso (sia in termini di valori numerici effettivi sia di variazione percentuale rispetto allo scenario base).

Si nota come, in caso di tasso di sostituzione pari a 1, l'attività del centro del riuso comporterebbe benefici ambientali in tutte e 16 le categorie d'impatto, con aumento in valore assoluto del beneficio ambientale fino a oltre il 2000% rispetto allo scenario base laddove già presente un beneficio, e con passaggio da carico a beneficio laddove nello scenario base vi è un carico ambientale.

3.2.2. Sensibilità sulla distanza di trasporto

Emersa dagli studi di letteratura riportati in sintesi nel capitolo 1 l'importanza della distanza percorsa per il trasporto dei beni, si è deciso di svolgere un'analisi di sensibilità sulla distanza tra il centro del riuso e l'abitazione del secondo utente. L'analisi di sensibilità è stata eseguita solo su questa distanza, assunta pari a 20 km in fase di modellizzazione, poiché è quella potenzialmente soggetta a maggiore variabilità: come già specificato, infatti, chiunque può recarsi al centro del riuso per acquistarsi dei prodotti. La distanza tra l'abitazione del primo utente e il centro del riuso, invece, è meno soggetta a potenziale variabilità, in quanto solo i cittadini dei comuni serviti da CEM Ambiente possono recarsi al centro per portare dei beni usati. L'altro motivo per cui si è deciso di indagare come variano i risultati al variare di tale distanza risiede nel

Tabella 7. Risultati dell'analisi di sensibilità sulla distanza di trasporto relativi all'intero centro del riuso.

Categoria d'impatto	Unità di misura	Variazione % rispetto a scenario base (Tabella 5)	Variazione % rispetto ad analisi di sensibilità sul tasso di sostituzione (Tabella 6)
		t _{As} effettivi	t _{As} = 1
CC	kg CO ₂ eq.	-46,0%	+48,9%
AO	kg CFC-11 eq.	-127%	+17,5%
RI	kBq U-235 eq.	-17,6%	+11,9%
FO	kg COVNM eq.	-57,9%	+42,1%
AP	incidenza di malattia	-152%	+28,1%
TU _{NC}	CTUh	+66,9%	+11,6%
TU _C	CTUh	-67,6%	+57,8%
A	mol H ⁺ eq.	-2483%	+11,9%
ED	kg P eq.	+25,4%	+6,3%
EM	kg N eq.	+121%	+4,5%
ET	mol N eq.	-196%	+13,6%
EC	CTUe	-2133%	+15,2%
CS	Pt	-51,3%	+9,5%
CA	m ³ acqua	+3,9%	+0,5%
CR _E	MJ	-39,4%	+52,0%
CR _M	kg Sb eq.	+5,7%	+4,4%

fatto che il trasporto del bene usato tra centro del riuso e abitazione del secondo utente costituisce l'alternativa a quello che, nella filiera di trasporto tra industria di produzione e abitazione del primo utente, è il trasporto tra punto vendita e abitazione del primo utente. Secondo le indicazioni della PEF, tale distanza è posta pari a 5 km. Si è, per questo motivo, deciso di armonizzare le due situazioni esaminando come variano i risultati dell'impatto netto totale associato a ciascuna categoria di prodotto, ponendo la distanza tra centro del riuso e abitazione del secondo utente pari al 25% di quella precedentemente assunta, riducendola, cioè, da 20 km a 5 km, sia nel caso di tasso di sostituzione effettivo sia nel caso di tasso di sostituzione pari ad 1 per tutti i prodotti analizzati. Si ricorda che vi è comunque una differenza, relativa alla tipologia di mezzo di trasporto adoperato, nella modellizzazione delle due fasi che sono il trasporto del bene nuovo dal punto vendita all'abitazione del primo utente e il trasporto del bene usato dal centro del riuso all'abitazione del secondo utente: nel primo caso la distanza di 5 km è percorsa in auto nel 62% del 33,3% dei casi (PEF); nel secondo caso la distanza di 5 km è percorsa in auto nel 67% dei casi (vi è un'unica alternativa di percorso e non tre, ed il 5% dei casi di trasporto che la PEF prevede effettuati tramite furgone, perché rappresentativi della consegna

Tabella 8. Risultati dell'analisi di *breakeven* su $t_{A,s}$.

n. categorie di impatto con beneficio	T-shirt	Scarpe	Bicchiere	Libro	Computer	TV	Asciugacapelli	Letto	Carrozzina	Bicicletta
16/16	0,95	\	\	\	0,68	0,42	0,84	<1%	0,17	0,54
12/16	0,53	0,77	\	\	0,41	0,18	0,71	<1%	0,08	0,41
8/16	0,33	0,52	\	0,75	0,26	0,11	0,60	<1%	0,06	0,32
$t_{A,s}$ effettivo (da Tabella 3)										
	0,2	0,07	0,2	0,08	1	1	0,57	0,75	0,22	1

tramite corriere, in questo caso sono uniti alla casistica del trasporto con auto per una rappresentazione più realistica).

Si riportano in Tabella 7 i risultati ottenuti per l'intero centro del riuso in termini di variazione percentuale rispetto allo scenario base e, ponendo poi il tasso di sostituzione pari a 1, rispetto ai valori ottenuti con l'analisi di sensibilità sul tasso di sostituzione.

Complessivamente, si verificherebbe che per valori effettivi del tasso di sostituzione e distanza tra centro del riuso ed abitazione del secondo utente pari al 25% di quella assunta nello scenario base, l'attività del centro del riuso nel 2022 comporterebbe un beneficio ambientale per 10 categorie d'impatto su 16: AO, AP, TU_{NC}, A, ED, EM, ET, EC, CA e CR_M. Si rileva quindi un miglioramento rispetto allo scenario base: la distanza tra centro del riuso e abitazione del secondo utente è, infatti, una fase della seconda vita del bene, cioè del bene usato, e, in quanto tale, contribuisce all'impatto aggiuntivo; la riduzione di tale distanza fa quindi sì che l'impatto aggiuntivo diminuisca.

Per tasso di sostituzione pari a 1, globalmente si osserva invece che, in caso di riduzione del 75% della distanza tra centro del riuso e abitazione del secondo utente, il beneficio si manterrebbe chiaramente in tutte le categorie d'impatto e, in particolare, se ne verificherebbe un aumento in valore assoluto superiore al 10% per 11 categorie d'impatto su 16.

3.2.3. Sensibilità sul tasso di qualità, sul tasso di prestazione energetica e sul tempo di utilizzo

Nel caso degli apparecchi elettrici ed elettronici (computer, TV e asciugacapelli) sono state svolte anche delle analisi di sensibilità sul tasso di qualità, sul tasso di prestazione energetica e sul tempo di utilizzo di tali beni.

Si è osservato come il dimezzamento della vita media utile comporterebbe un maggior effetto sugli impatti rispetto all'aumento del consumo energetico del bene usato e la combinazione delle due situazioni (diminuzione della vita utile e diminuzione della prestazione energetica) porterebbe alla maggiore diminuzione del

beneficio legato al riuso dei beni elettrici ed elettronici. Considerando, in particolare, un tasso di qualità pari a 0,5 e un tasso di prestazione energetica pari a 0,8, per valori effettivi del tasso di sostituzione si verificherebbero benefici ambientali solo in 2 categorie d'impatto su 16. Per valore del tasso di sostituzione pari a 1 si otterrebbe invece un beneficio ambientale in tutte e 16 le categorie d'impatto, sebbene inferiore al caso dell'analisi di sensibilità sul tasso di sostituzione, con diminuzioni in valore assoluto del beneficio fino al 53%.

Se, oltre a diminuire il tasso di qualità e il tasso di prestazione energetica, si aumentasse anche il tempo di utilizzo dei beni (aumento del 50% per il computer, aumento del 100% per la TV e aumento del 100% per l'asciugacapelli), ponendosi cioè nel caso peggiore per la valorizzazione del centro del riuso, per valore effettivo del tasso di sostituzione anche in questo caso si otterrebbero benefici in sole 2 categorie d'impatto su 16. Per valore del tasso di sostituzione pari a 1 si otterrebbero, anche in questo caso, benefici ambientali in tutte e 16 le categorie d'impatto, sebbene inferiori al caso dell'analisi di sensibilità sul tasso di sostituzione, con diminuzioni in valore assoluto del beneficio fino al 55%.

3.2.4. Analisi di *breakeven* sul tasso di sostituzione

L'analisi di *breakeven* sul tasso di sostituzione è volta ad individuare quale sia il valore del tasso di sostituzione minimo in corrispondenza e sopra al quale l'impatto netto associato a ciascun prodotto assume segno negativo, cioè la pratica del riuso apporta effettivamente un beneficio. Mentre il tasso di sostituzione varia, gli altri parametri sono tenuti fissi e posti pari al rispettivo valore dello scenario base. Si riportano i risultati dell'analisi di *breakeven* in Tabella 8.

La barra “\” sta ad indicare che anche nel caso migliore ($t_{A,s} = 1$) l'impatto netto assume valore negativo, cioè il riuso comporta un beneficio ambientale, per un numero di categorie d'impatto inferiore a quello indicato nella prima colonna della tabella. Per quanto riguarda in particolare il bicchiere e il libro, si osserva che, anche per tasso di sostituzione massimo possibile

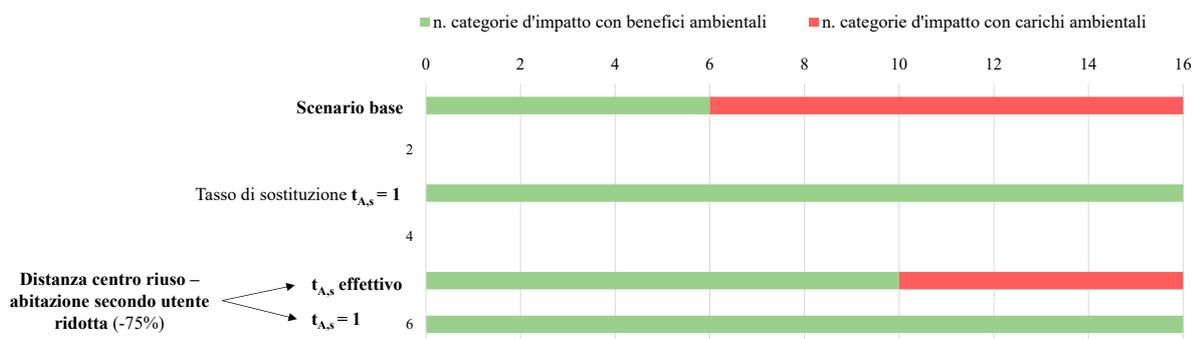


Figura 3. Sintesi dei risultati principali dell'analisi.

(pari ad 1) non si hanno benefici ambientali in neanche il 50% delle categorie d'impatto. Questo risultato non implica, però, una controindicazione al recarsi al centro del riuso ad acquistare tali beni, ma suggerisce di farlo spostandosi a piedi. Considerandone, infatti, le dimensioni ridotte, è ragionevole vagliare l'acquisto a piedi o in bicicletta, annullando così l'impatto associato al trasporto dal centro del riuso all'abitazione del secondo utente: nel caso del libro, in questo modo si avrebbero benefici anche per valori bassi del tasso di sostituzione; nel caso del bicchiere, invece, bisognerebbe anche portarlo a piedi al centro del riuso affinché, per tasso di sostituzione pari a 1, si possano avere benefici in tutte le categorie di impatto. Si osserva, inoltre, che per alcuni prodotti (ad esempio T-shirt, scarpe, computer, bicicletta e asciugacapelli) risultano benefici ambientali solo per tassi di sostituzione elevati; in altri casi (come per TV e carrozzina) risultano benefici ambientali anche in caso di tassi di sostituzione relativamente bassi. Infine, si nota che nel caso del letto il tasso di sostituzione ha un effetto trascurabile sul segno dell'impatto totale ad esso associato: l'impatto netto totale risulta praticamente sempre negativo, fino a valori del tasso di sostituzione anche inferiori all'1%, e questo accade poiché gli impatti associati alla prima vita del bene, come la produzione (impatti evitati) sono significativamente più elevati degli impatti associati alla seconda vita del bene (impatti aggiuntivi).

4. Conclusioni e indicazioni di miglioramento

Il riutilizzo, definito dalla Direttiva 2008/98/CE come "qualsiasi operazione attraverso la quale prodotti o componenti che non sono rifiuti sono reimpiegati per la stessa finalità per la quale erano stati concepiti", si colloca tra le misure di prevenzione nel quadro di gestione dei rifiuti. Si pone, quindi, alla base della gerarchia delineata dalla Direttiva ed è fondamentale per rendere possibile la transizione da un modello di economia lineare ad un modello di economia circolare.

Emerge, così, l'importanza del ruolo dei centri del riuso nel prolungare la vita utile dei beni, intercettandoli prima che diventino rifiuti e mettendoli a disposizione di altri utenti. Questo, potenzialmente, può generare benefici a livello ambientale, economico e sociale.

In questo quadro, il punto focale del presente lavoro è stato quello di definire una metodologia di valutazione LCA della pratica del riutilizzo promossa dai centri del riuso, analizzandone le peculiarità e definendo una serie di parametri specifici funzionali all'analisi, quali ad esempio tassi di sostituzione, di qualità, di prestazione energetica. Il tutto è stato applicato al caso di studio del centro del riuso Panta Rei di Vimercate (MB) per esaminare se e in che misura il riutilizzo svolto nel 2022 abbia apportato i benefici ambientali auspicati.

È emerso che il beneficio ambientale associato al riutilizzo di un singolo bene e, di conseguenza, all'intera attività di un centro del riuso non sia scontato, ma dipende da diversi fattori, tra cui i più significativi sono risultati il tasso di sostituzione e la distanza tra il centro del riuso e l'abitazione del secondo utente (Figura 3).

Ciò che infatti è stato rilevato dall'analisi dei risultati relativi allo scenario base è che il riutilizzo dei beni venduti dal centro del riuso Panta Rei di Vimercate nel 2022 ha generato benefici ambientali in sole 5 categorie d'impatto sulle 16 considerate: TU_{NC} , ED, EM, CA e CR_M .

Se, invece, il valore del tasso di sostituzione fosse pari a 1 per tutti i prodotti considerati, l'attività del centro del riuso consentirebbe di avere benefici ambientali in tutte e 16 le categorie d'impatto. In caso di diminuzione della distanza tra centro del riuso e abitazione del secondo utente del 75%, cioè considerando una distanza pari a 5 km invece che pari a 20 km, si otterrebbe un beneficio in 10 categorie d'impatto su 16. Se oltre alla diminuzione di tale distanza si ponesse anche il tasso di sostituzione pari a 1 per tutti i prodotti, l'aumento del beneficio risulterebbe ancora maggiore: si

otterrebbero benefici ambientali in tutte e 16 le categorie d'impatto, con un aumento del beneficio in valore assoluto di oltre il 10% per 11 categorie d'impatto su 16 rispetto allo scenario in cui il tasso di sostituzione è posto pari a 1 ma la distanza è quella assunta nello scenario base.

In conclusione, sono emersi diversi aspetti di rilievo relativi agli effettivi benefici che la pratica del riuso può apportare.

In primo luogo, l'analisi ha evidenziato che il trasporto del bene usato al centro del riuso può generare un impatto ambientale maggiore rispetto al conferimento diretto del bene come rifiuto, dato l'ottimizzato sistema di gestione di questi ultimi. Per mitigare ciò, la scelta predominante di utilizzare auto per il trasporto dovrebbe essere ridotta, a beneficio di mezzi più sostenibili come la bicicletta o le gambe, specialmente per beni di piccole dimensioni. Ridurre le distanze tra centri del riuso e abitazioni degli utenti può ulteriormente limitare l'impatto ambientale. Inoltre, per beni di piccole dimensioni, più frequentemente venduti, l'impatto della seconda vita, che include appunto tale trasporto, può risultare superiore all'impatto della prima vita, laddove la produzione genera un impatto molto limitato. Risulta allora importante promuovere una mentalità del riutilizzo che vada oltre gli oggetti di piccole dimensioni e sia indirizzata a tutte le tipologie di oggetto, in particolare quelli di grandi dimensioni, il cui acquisto, al momento, appare ancora piuttosto limitato seppur il beneficio ambientale sarebbe rilevante, come evidenziato in Tabella 8.

Il tasso di sostituzione, indicatore delle motivazioni di acquisto di beni usati presso il centro del riuso, ha rivelato che talvolta gli acquirenti optano per un acquisto non necessario e, dunque, aggiuntivo, mossi esclusivamente dal prezzo conveniente. Questo comporta un aumento potenziale degli impatti ambientali, evidenziando l'importanza che i consumatori acquistino solo ciò che in alternativa comprerebbero nuovo (tasso di sostituzione pari a 1), per massimizzare i benefici ambientali. Non sono peraltro noti, fino alla data di pubblicazione, altri studi che includano nell'analisi il tasso di sostituzione o un fattore ad esso comparabile: il presente studio, pertanto, risulta il primo tentativo di utilizzo di tale parametro nell'indagine.

Lo studio ha fatto emergere, in generale, il valore del ruolo del consumatore nel contesto del riutilizzo, sottolineando l'importanza di considerare tale aspetto in un'analisi completa del ciclo di vita.

Per riassumere, si può affermare che per migliorare le prestazioni ambientali della pratica del riutilizzo promossa dai centri del riuso, incluso naturalmente quello oggetto del presente studio, sono state identificate due

azioni chiave: incentivare la mobilità sostenibile negli spostamenti da e per i centri del riuso e ridurre le distanze tra centri del riuso e consumatori (il consumatore dovrebbe recarsi al centro del riuso più vicino alla propria abitazione). Inoltre, è opportuno divulgare risultati di studi come questo, opportunamente semplificati per essere meglio comprensibili al grande pubblico, per sensibilizzare i cittadini sugli impatti delle loro azioni.

5. Possibili sviluppi futuri dello studio

Si ricorda, innanzitutto, che i valori del tasso di sostituzione adoperati nel presente studio sono basati su risposte ad un questionario raccolte in un mese specifico (aprile 2023): si suggerisce quindi di estendere il periodo di somministrazione del questionario per una valutazione più completa.

L'adozione dell'approccio EPD non considera benefici e carichi legati al riciclo, così come non tiene conto dei vantaggi associati al recupero energetico, il che potrebbe influire sui risultati. Potrebbe quindi essere condotta un'analisi di sensibilità dedicata per indagare come varierebbero i risultati con l'adozione di altri approcci relativi alla produzione del bene e al fine vita.

Si ricorda inoltre che è stata assunta un'efficienza di selezione del 100%, che può comportare una sottostima degli impatti associati alla fase di fine vita del rifiuto. Si ricorda, però, che tale fase è allocata al ciclo di vita del bene nuovo, i cui impatti sono considerati come impatti evitati nel modello proposto: l'assunzione di un'efficienza di selezione del 100% è, di conseguenza, una scelta cautelativa, in quanto l'eventuale sottostima degli impatti evitati comporterebbe una sottostima dei benefici associati alla pratica del riuso. Inoltre, nell'analisi è emerso, in generale, come la fase di fine vita abbia un contributo trascurabile sugli impatti associati alla prima vita del bene (<1% per la quasi totalità dei beni, <10% per tutti i beni). Si ritiene, quindi, che l'assunzione di efficienza di selezione del 100% abbia un'influenza trascurabile sui risultati dell'analisi.

La modellizzazione di dieci prodotti potrebbe non riflettere pienamente l'elevata variabilità dei beni venduti dal centro del riuso: il modo in cui è calcolato l'impatto per singolo articolo riflette i materiali di cui esso è composto e, dunque, i risultati potrebbero essere differenti se l'articolo rappresentativo modellizzato fosse un altro. Per una valutazione più precisa e robusta dei potenziali benefici associati alla pratica di riutilizzo promossa dal centro del riuso, sarebbe necessario costruire un inventario più esteso e dettagliato delle categorie di prodotto vendute e dei prodotti ad esse appartenenti.

La modellizzazione è stata inoltre eseguita considerando un singolo riutilizzo dei beni usati: mentre questa scelta può essere ragionevole per alcuni prodotti (apparecchi elettrici ed elettronici), per altri (quali bi-

ciclette o libri) potrebbe essere utile esaminare come varierebbero i risultati considerando più riutilizzi dello stesso bene.

Infine, la valutazione effettuata in questo studio si è concentrata sugli impatti ambientali, trascurando benefici sociali ed economici. È però riconosciuto che i centri del riuso rivestono anche un importante ruolo socioeconomico offrendo beni a prezzi accessibili, facilitando l'accesso a chi ha meno risorse, e svolgendo una funzione sociale attraverso la creazione di posti di lavoro e attività di formazione e sensibilizzazione. Studi futuri dovrebbero considerare anche questi aspetti per una valutazione più completa e accurata. Esistono a tale scopo, ad esempio, delle metodologie specifiche che rientrano negli strumenti del *Life Cycle Thinking*: la Valutazione del Costo del Ciclo di Vita (*Life Cycle Costing*, LCC) per la valutazione di tipo economico e la Valutazione del Ciclo di Vita Sociale (*Social Life Cycle Assessment*, SLCA) per la valutazione di tipo sociale.

In generale, si raccomanda lo sviluppo di ricerche future per esplorare in dettaglio tutte le limitazioni del presente studio sopra discusse, così da approfondire la comprensione dei potenziali benefici ambientali, sociali ed economici derivanti dalla pratica del riuso. Si consiglia inoltre di applicare la metodologia e il modello qui proposti a diversi centri del riuso come casi studio per rafforzare la robustezza del modello sviluppato.

Riferimenti bibliografici

- Andreasi Bassi S., Biganzoli F., Ferrara N., Amadei A., Valente A., Sala S., e Ardente F. (2023). Updated characterization and normalization factors for the Environmental Footprint 3.1 method. DOI: 10.2760/798894
- Automobile Club d'Italia – ACI. (2022). Autoritratto 2021 – consistenza parco veicoli – File Excel Circolante_Copert_2021. Disponibile su: <https://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/autoritratto/autoritratto-2021.html>
- Automobile Club d'Italia – ACI. (2023). Autoritratto 2022 – consistenza parco veicoli – File Excel Circolante_Copert_2022. Disponibile su: <https://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/autoritratto/autoritratto-2022.html>
- Battisti M., Fabbri G., Luppi P., Merciai S. e Pannone A. (2013). Analisi dell'impatto ambientale del riutilizzo di beni gestiti da un operatore commerciale dell'usato in Italia. Rapporto Nazionale sul Riutilizzo 2013. L'usato che ragiona: 79-95. Disponibile su: <https://cipesalute.org/cedo/allegati/UsatoCheRagiona2013.pdf>
- Bartolozzi I., Rizzi F. e Frey M. (2017). La valutazione degli impatti ambientali dei centri di riuso. Seminario tenuto presso il Politecnico di Milano in data 15/02/2017 in occasione della terza edizione di "Rifiuti e Life Cycle Thinking". Disponibile su: <https://www.aware.polimi.it/wp-content/uploads/2017/03/Bartolozzi.pdf>
- Castellani V., Sala S. e Mirabella N. (2015). Beyond the throwaway society: A life cycle-based assessment of the environmental benefit of reuse. *Integrated environmental assessment and management*, 11(3): 373-382. DOI: 10.1002/ieam.1614
- Castellani V., Hidalgo C. e Gelabert L. (2019). Consumer footprint: basket of products indicator on household goods. EC – JRC (European Commission – Joint Research Centre). Publications Office. DOI: 10.2760/462368
- CE (Commissione Europea). (2008). Direttiva Quadro sui Rifiuti. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Disponibile su: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>
- CE (Commissione Europea). (2021). Rettifica della raccomandazione (UE) 2021/2279 della Commissione, del 15 dicembre 2021, sull'uso dei metodi dell'impronta ambientale per misurare e comunicare le prestazioni ambientali del ciclo di vita dei prodotti e delle organizzazioni. Disponibile su: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2022.144.01.0001.01.ITA
- CEM Ambiente. (2022). Servizi di igiene urbana. Anno 2022. Vimercate. (Rapporto fornito da CEM Ambiente al comune di Vimercate)
- Cordella M., Wolf O., Chapman A. e Bojczuk K. (2012). Revision of the EU Ecolabel Criteria for Bed Mattresses. EC – JRC (European Commission – Joint Research Centre). Disponibile su: https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/contentype/product_group_documents/1581683854/Background_Report.pdf
- Ebli C. (2023). Metodologia proposta per lo sviluppo di un'analisi LCA su un centro di riuso – applicazione al centro di riuso Panta Rei. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Milano. Disponibile su: <https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/211022>
- The International EPD® System. (2021). General Programme Instructions, versione 4.0. Disponibile su: <https://www.datocms-assets.com/37502/1617181375-general-programme-instructions-v-4.pdf>
- Falbo A., Biganzoli L., Forte F., Rigamonti L. e Grosso M. (2015). Il sistema di gestione dei RAEE in Lombardia. Parte I: bilancio di materia. *Ingegneria dell'Ambiente*, 2(2). DOI: 10.14672/ida.v2i2.276

- Falbo A., Biganzoli L., Forte F., Rigamonti L. e Grosso M. (2015). Il sistema di gestione dei RAEE in Lombardia. Parte II: valutazione del ciclo di vita. *Ingegneria dell'Ambiente*, 2(3). DOI: 10.14672/ida.v2i3.277
- Gottfridsson M. e Zhang Y. (2015). Environmental impacts of shoe consumption, Combining product flow analysis with an LCA model for Sweden. Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden. Disponibile su: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/218968/218968.pdf>
- Humana People to People. (2020). Bilancio di sostenibilità 2019/2020. Disponibile su: <https://raccoltavestiti.humanaitalia.org/wp-content/uploads/2022/06/00-Bilancio-Sociale-2019-20-web-compressed-5.pdf>
- International Organization for Standardization – ISO (2006a) ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework (ISO 14040:2006+ Amd1:2020)
- International Organization for Standardization ISO (2006b) ISO 14044: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines (ISO 14044:2006+Amd1:2017+Amd2:2020)
- Kaza S., Yao L.C., Bhada-Tata P. e Van Woerden F. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Disponibile su: <http://hdl.handle.net/10986/30317>
- Kerdlap P., Gheewala S.H. e Ramakrishna S. (2021). To Rent or Not to Rent: A Question of Circular Prams from a Life Cycle Perspective. *Sustainable Production and Consumption*, 26: 331-342. DOI: 10.1016/j.spc.2020.10.008
- Lucchetti M.C. (2023). I limiti del sistema lineare: da dove nasce l'economia circolare. *Economia Circolare. La sfida del Packaging*, pp. 22-38. Franco Angeli Editore. ISBN: 9788835146582.
- Mani Tese Onlus. (2022). Centro del Riuso Panta Rei. Relazione attività anno 2022. (documento ad uso interno fornito da Mani Tese Onlus)
- Nichilo M.J.EA. (2023). Quantificazione dei benefici ambientali associati all'attività del centro del riuso "Panta Rei" tramite metodologia LCA. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Milano. Disponibile su: <https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/215278>
- PRé Sustainability. (2023). SimaPro Tutorial. Disponibile su: <https://simapro.com/wp-content/uploads/2023/07/SimaPro-Tutorial.pdf>
- Regione Lombardia – DG Ambiente e Clima. Aggiornamento del Programma Regionale di Gestione dei Rifiuti (PRGR). Piano verso l'economia circolare. Relazione di piano. (2022). Disponibile su: https://www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/1c55c743-7f9a-4f49-bab3-e8b0d9b33315/2_PRGR-relazione+di+piano.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-1c55c743-7f9a-4f49-bab3-e8b0d9b33315-o44kQor
- Rigamonti L., Falbo A. e Grosso M. (2013). Improving integrated waste management at the regional level: The case of Lombardia. DOI: 10.1177/0734242X13493957 (in riferimento alla relazione per il progetto GERLA: Analisi LCA del sistema di gestione dei rifiuti urbani della Lombardia: situazione attuale e scenari evolutivi. Rev. 1, Luglio 2012).
- Sala S., Corrado S., Reale F., Castellani V. e Hischier R. (2019). Consumer footprint: basket of products indicators on household appliances. EC – JRC (European Commission – Joint Research Centre). Publications Office. Disponibile su: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/964701>
- Schmidt A., Watson D., Roos S., Askham C., Brunn P. (2016). Gaining benefits from discarded textiles – LCA of different treatment pathways. DOI: 10.6027/TN2016-537
- Talens, Peirò L., Ardente F. e Mathieux F. (2016). Analysis of material efficiency for EU Ecolabel criteria. EC – JRC (European Commission – Joint Research Centre). Publications Office. Disponibile su: <https://data.europa.eu/doi/10.2788/642541>
- Tua C., Cavenago G., Grosso M. e Rigamonti L. (2022). Editoria scolastica e impatti ambientali: analisi del caso Zanichelli tramite la metodologia LCA. DOI: 10.32024/ida.v9i2.403
- UNEP & IRP (United Nations Environment Programme, & International Resource Panel). (2019). Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want. A Report of the International Resource Panel. Disponibile su: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/27517>
- WWF (World Wide Fund for Nature). (2022). Living Planet Report 2022 – Building a nature positive society. Almond R.E.A., Grooten M., Juffe Bignoli D., Petersen T. (Eds) Disponibile su: https://www.footprintnetwork.org/content/uploads/2022/10/LPR_2022_Full-Report.pdf

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare CEM Ambiente S.p.A. per il sostegno finanziario a questa ricerca, Chiara Ebli per il contributo alla raccolta dei dati attraverso la sua tesi di laurea magistrale e il centro del riuso Panta Rei per aver fornito tutte le informazioni disponibili.



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2024 è sostenuta da:



better together

