

# RIFIUTI: RICICLARLI O EVITARLI? RISPOSTE DAGLI STUDI DI ANALISI DEL CICLO DI VITA

Anna Mazzi

Università degli studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale, SAM.lab

**Sommario** – Evitare che un rifiuto venga prodotto determina benefici ambientali di gran lunga superiori a qualsiasi altra opzione di gestione, ivi incluso il riciclo. Tuttavia, le iniziative volte a prevenire i rifiuti a monte sono ancora poco diffuse: tra le imprese e le comunità locali prevale la scelta di soluzioni “end-of-pipe”, che a loro volta comportano impatti ambientali non trascurabili. L’Unione Europea spinge a favore di misure preventive a monte, ma parallelamente il modello di economia circolare sembra focalizzarsi più sul recupero di beni, materiali ed energia. L’approccio di ciclo di vita ci insegna che le misure di prevenzione dei rifiuti possono essere implementate in più fasi della vita dei prodotti. Negli ultimi vent’anni, molti studi di analisi del ciclo di vita (Life Cycle Assessment, LCA) hanno contribuito a comprendere il profilo ambientale associato ai prodotti e ai loro scenari di fine vita. La ricerca di tipo esplorativo presentata in questo articolo intende verificare se la comunità scientifica, nel recente affermarsi dell’economia circolare, ha utilizzato lo strumento LCA per quantificare i contributi di impatto ambientale associati alle diverse opzioni di riduzione dei rifiuti, e in particolare alle misure di prevenzione. I risultati confermano che è molto più frequente studiare le fasi finali della vita dei prodotti, ovvero il trattamento finale e il riciclo dei rifiuti. Sono ancora pochi i casi studio che includono nell’analisi di ciclo di vita le fasi preliminari ovvero attività di prevenzione dei rifiuti. Dalla ricerca emerge un’urgente sfida per gli esperti di LCA nella gestione dei rifiuti: va posta attenzione su tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto, senza trascurare le fasi preliminari di progettazione e produzione, in cui è maggiore il contributo di prevenzione dei rifiuti, per consegnare ai decisori politici e al mercato informazioni consistenti sulla convenienza ambientale insita nell’evitare di ideare rifiuti.

**Parole chiave:** economia circolare, approccio di ciclo vita, prevenzione del rifiuto, riduzione del rifiuto, riciclo dei rifiuti.

## WASTE: RECYCLING OR AVOIDING? ANSWERS FROM LIFE CYCLE ASSESSMENT STUDIES

**Abstract** – Avoiding waste production brings far greater environmental benefits than any other management option, including recycling. However, the implementation of prevention activities is hesitant: among companies and local authorities the choice of “end-of-pipe” actions prevails, although not leading to overall environmental improvement. Giving priority to waste prevention seems a distant goal: among the critical factors to achieve the target “waste avoid”,

there is the lack of information and data related to the environmental convenience of prevention. Understanding real benefits related to waste prevention is essential to effectively support the change towards a circular economy. Coherently with the Life Cycle Thinking approach, waste reduction measures can be implemented in several steps of products’ life cycle, including design, production, distribution, use, dismissal, recovery and recycling, and finally energy recovery. Along the life cycle of waste, the early stages make it possible to prevent the waste, while the latter stages give new life to waste. In the last two decades, numerous Life Cycle Assessment studies have clarified the environmental profile associated with products and their end-of-life scenarios; however, the scientific community still seems more interested in exploiting recycling options than in demonstrating the convenience of prevention. The paper addresses the dilemma between waste prevention and recycling through a life cycle approach, in order to answer the following research question: is it possible to quantify environmental preferability among recycling materials derived by waste and avoid waste production? Due to the explorative nature of the research, a focused literature review is conducted to analyse recent pieces of evidence obtained by scientists on this question. To obtain robust results, a standardized methodology is adopted, including screening, cleaning and analysis of international papers. Starting from 300 papers screened, 225 are selected by cleaning and then analysed, in terms of life cycle stages included in goal and scope of LCA study. Results demonstrate that the main solutions of waste reduction analysed by scientific papers are recycling and final treatment, that generally includes waste recovery and preparation to recycling. Other life cycle stages more properly representing prevention solutions, are rarely considered in LCA studies: for example, design and production are generally included in LCA studies focused on recycling processes and/or recycled products. Finally, the steps of distribution, use and maintenance of products are almost never considered in LCA studies. In conclusion, this explorative research underlines the necessity by the scientific community to better implement LCA methodology, not only to demonstrate the convenience of recycling or energy recovery, but especially to quantify environmental issues associated to waste prevention, like design, production and use of products. From research conclusions further research questions are delineated for future research.

**Keywords:** circular economy, life cycle approach, waste prevention, waste reduction, waste recycling.

\* Per contatti: Via Marzolo n. 9, Padova. Tel. 0498271611. Email: anna.mazzi@unipd.it

Ricevuto il 15-3-2021. Modifiche sostanziali richieste il 21-5-2021. Accettazione il 30-6-2021.

## 1. INTRODUZIONE

La gestione dei rifiuti si è storicamente focalizzata sull'adozione di tecnologie e sistemi volti a eliminare i rifiuti evitando la dispersione di inquinanti nell'ambiente. La prospettiva più recente dell'economia circolare va a ridefinire i contorni di tale gestione, in virtù di un nuovo approccio che trasforma i residui in potenziale fonte di ricchezza per i cicli produttivi successivi: quello che prima era rifiuto, ora può diventare risorsa, con caratteristiche ben definite e con un vero e proprio valore di mercato (Korhonen et al., 2018).

Le direttive europee in materia di gestione dei rifiuti spingono da tempo verso l'obiettivo di riduzione e indicano come opzione preferibile la prevenzione (Parlamento e Consiglio Europeo, 2008): evitare che un rifiuto venga prodotto permette di conseguire benefici ambientali superiori rispetto a qualsiasi altra opzione di gestione, ivi incluso il riciclo (Matsuda et al., 2018). Pertanto, nelle politiche locali, i maggiori sforzi dovrebbero essere rivolti a prevenire la produzione di rifiuti, onde evitare attività di raccolta, trasporto, selezione e lavorazione che comportano consumi di energia e risorse e che producono emissioni: questo richiede una pianificazione integrata in grado di coinvolgere tutti gli attori della filiera, dalla progettazione alla produzione al consumo (Johansson e Corvellec, 2018).

Tuttavia, l'implementazione di iniziative di prevenzione sembra ancora esitante: tra le imprese e le comunità locali prevale la scelta di soluzioni "end-of-pipe" che non sempre portano ad una riduzione effettiva degli impatti ambientali complessivi. Ne è un esempio il settore del packaging, in cui ad oggi non sono ancora messe in atto misure concrete di prevenzione dei rifiuti, come invece raccomandano gli indirizzi comunitari (Steinhorst e Beyerl, 2021).

Inoltre, qualsiasi investimento a favore di una riduzione dei rifiuti fatto dalle imprese ottiene un beneficio effettivo se gli utilizzatori di quei beni rispettano le indicazioni d'uso date dal produttore: purtroppo, la discrepanza tra il potenziale di riduzione dei rifiuti e l'effettiva percezione del mercato rappresenta un ostacolo alla prevenzione (Matsuda et al., 2018). Di contro, può essere lo stesso mercato a stimolare le imprese verso scelte circolari e innovative: ad esempio, la consapevolezza delle conseguenze associate agli impatti ambientali dei rifiuti prodotti può condizionare i comportamenti dei cittadini e contribuire ad una riduzione

nella generazione dei rifiuti mediante scelte di consumo responsabili (Corsini et al., 2018).

Per realizzare concretamente interventi a favore dell'economia circolare servono indicazioni e linee guida, onde evitare di adottare iniziative che nel loro complesso risultino ambientalmente poco convenienti. Tuttavia, sono ancora pochi i casi studio che testimoniano iniziative di prevenzione dei rifiuti a livello di gestione locale integrata (Hutner et al., 2017).

Privilegiare la prevenzione nell'economia circolare appare dunque un obiettivo molto sfidante, la cui attuazione è rallentata da alcuni fattori critici, tra cui carenze normative, mancanza di dati e informazioni, assenza di cooperazione tra attori economici sul territorio (Salmenperä et al., 2021). Per sostenere in modo efficace il cambiamento insito nella visione di economia circolare, è essenziale mettere in evidenza quali sono i reali vantaggi associati alla riduzione dei rifiuti.

Emerge quindi l'importanza di disporre di dati e metodi di valutazione che, in modo sostanziale e non superficiale, quantifichino la convenienza economica e ambientale della prevenzione, rispetto alle altre alternative di riduzione quali riuso, recupero e riciclo, in modo da orientare il mercato verso alternative a minore impatto complessivo (Christensen et al., 2020). Il Life Cycle Thinking (LCT) può contribuire in modo efficace alla comprensione di questi aspetti: negli ultimi vent'anni, infatti, gli innumerevoli studi di ciclo di vita hanno chiarito le responsabilità ambientali associate ai prodotti e agli scenari di fine vita. Utilizzando la metodologia dell'analisi del ciclo di vita, o Life Cycle Assessment (LCA), prodotti e materiali sono osservati in modo dinamico, considerando le fasi di ideazione, lavorazione, utilizzo e dismissione (Mazzi, 2020): seguendo lo stesso approccio, anche le modalità di intervento per ridurre i rifiuti possono essere implementate in più fasi della vita dei prodotti, portando a vantaggi ambientali complessivi che includono sia misure di prevenzione che di riciclo (Gentil et al., 2011; Christensen et al., 2020).

L'articolo affronta il dilemma tra prevenzione e riciclo dei rifiuti, già più volte al centro del dibattito internazionale, dapprima svolgendo una riflessione sugli indirizzi europei in materia di gestione dei rifiuti, e successivamente osservando le esperienze della comunità scientifica nel quantificare gli impatti ambientali associati alla prevenzione e al riciclo. L'obiettivo è dare risposta al seguente quesito di ricerca: è possibile quantificare la pre-

ferenza ambientale tra riciclare materiali provenienti da rifiuto o evitare di produrre rifiuti?

Nella prima parte della ricerca, presentata nel capitolo 2, si riflette sui due modelli di riferimento, gerarchia dei rifiuti da una parte ed economia circolare dall'altra, allo scopo di verificarne la congruenza reciproca. Nella seconda parte, presentata nel capitolo 3, si analizza la più recente letteratura scientifica relativa agli studi di LCA nella gestione dei rifiuti, allo scopo di conoscere quali sono le fasi del ciclo di vita maggiormente indagate e le misure di riduzione dei rifiuti più frequentemente osservate. L'articolo si conclude, nel capitolo 4, con una sintesi dei risultati ottenuti rispetto al quesito di ricerca, sottolineando anche i limiti dell'indagine e individuando nuove prospettive di ricerca.

## 2. LE ORIGINI DEL DILEMMA

### 2.1. La gestione dei rifiuti tra gerarchia e circolarità

La gestione dei rifiuti si concentra convenzionalmente su prodotti che hanno raggiunto la fine del proprio ciclo vita. Tuttavia, sono le fasi a monte e a valle che rappresentano l'obiettivo prioritario se si intende realmente risolvere il problema.

La direttiva europea 98/2008/CE (Parlamento e Consiglio Europeo, 2008) ha introdotto una nuova gerarchia dei rifiuti e in essa la prevenzione è stata definita come l'alternativa migliore, pertanto dovrebbe essere adottata come prima opzione nelle politiche locali: essa include la riduzione dei rifiuti sia in termini di quantità che in termini di pericolosità, consentendo una progressiva riduzione sia del consumo delle risorse sia degli impatti dovuti al trattamento dei rifiuti.

Un elemento essenziale e strettamente interconnesso con il principio di prevenzione è il concetto stesso di rifiuto, che in un più ampio quadro legislativo europeo ha assunto oggi un significato rivoluzionario. La nozione di rifiuto comprende qualsiasi sostanza od oggetto di cui il produttore o il detentore si disfi senza che la dismissione avvenga attraverso lo smaltimento o il recupero e senza riguardo di un eventuale riutilizzo (D.Lgs 152/2006). Una più estesa interpretazione terminologica accoglie una nozione di rifiuto fondata su risultanze oggettive ed alla quale devono essere ricondotti sostanze od oggetti non più idonei a soddisfare i bisogni cui essi erano originariamente destinati, pur se non ancora privi di valore economico (Maglia, 2019).

Gli orientamenti giurisprudenziali della Corte di giustizia europea e le indicazioni della Direzione Generale Ambiente dell'Unione Europea hanno fornito precisazioni essenziali per applicare correttamente il concetto di rifiuto e perseguirne la gestione ottimale. Tra le altre, viene declinato il termine "disposal" ovvero "disfarsi" (Commissione Europea, 2012):

- il termine "disfarsi" deve intendersi riferito sia alle attività di recupero che a quelle di smaltimento;
- il "disfarsi" può implicare un valore commerciale positivo, neutrale o negativo;
- il "disfarsi" può riguardare una condotta intenzionale del produttore/detentore, ovvero un comportamento involontario o addirittura accidentale;
- il luogo fisico in cui sono collocati i materiali non influenza in alcun modo la circostanza che gli stessi assumano o meno la qualifica di rifiuti.

Secondo le indicazioni dell'Unione Europea, tutti i Paesi membri hanno il compito di indirizzare il mercato verso forme che favoriscano la prevenzione, mettendo in atto le misure previste con azioni tra loro coordinate e complementari. Le principali misure di prevenzione sono raggruppabili in 3 categorie (Bartl, 2011):

- misure che puntano ad *evitare* la produzione di rifiuti, riducendo i rifiuti in volume, peso e tipologia;
- misure volte a *migliorare* la qualità dei rifiuti riducendo il contenuto di sostanze pericolose in materiali e prodotti;
- misure atte a *ridurre* gli impatti negativi sulla salute umana generati dai rifiuti.

In questo scenario si inserisce il nuovo paradigma dell'economia circolare, che ha l'obiettivo di ridurre la quantità di rifiuti intesi come tali e di evitare il consumo di nuove risorse, regolamentando il rientro nella catena del valore economico di prodotti e materiali che hanno terminato la loro vita utile e che possono essere riutilizzati o riciclati. L'economia circolare, nello specifico, si propone di intervenire nel più generale obiettivo di riduzione dei rifiuti con azioni che, pur ripercorrendo le 3 misure di prevenzione suddette, si concentrano su recupero, riuso e riciclo (Commissione Europea, 2015):

- il *recupero* include tutte le operazioni che consentono la raccolta di materiali e prodotti a fine vita per finalizzarli a nuovi utilizzi, simili o differenti da quelli per cui sono stati concepiti per la prima volta;
- il *riuso* indica qualsiasi operazione mediante la quale prodotti o componenti già utilizzati ven-

gono riutilizzati prima di diventare rifiuti, con lo stesso scopo per cui sono stati concepiti per la prima volta;

- il *riciclo* indica le attività di trasformazione di materiali e prodotti di scarto, che già sono giunti allo stato di rifiuto al fine di dare loro una seconda vita, realizzando materiali o prodotti per applicazioni anche differenti da quelle precedenti.

Per sostenere la transizione dell'Europa verso un'economia circolare, è stato adottato un piano d'azione con numerose attività volte a "chiudere il cerchio" del ciclo di vita dei prodotti, spingendo in particolare su riciclo e mercato delle materie prime seconde (Commissione Europea, 2020).

La Figura 1 mette in evidenza la relazione tra le priorità della gerarchia dei rifiuti (a sinistra) e le opzioni dell'economia circolare (a destra). Dal confronto dei due grafici, appare chiaro dove ha origine il dilemma "riciclare o evitare i rifiuti": sebbene il punto di partenza sia la necessità di ridurre i rifiuti alla fonte, come stabilito dalla direttiva europea 98/2008/CE, nella visione dell'economia circolare l'obiettivo sembra diventare quello della massimizzazione del recupero di materiali ed energia attraverso il riciclo, con nuove opzioni tecniche e tecnologiche focalizzate sulla "chiusura del cerchio". In questa prospettiva circolare, la prevenzione sembra perdere il suo potenziale privilegio e le scelte volte ad evitare i rifiuti sembrano non essere più al centro dell'attenzione, mentre è l'opzione di riciclo ad assumere un ruolo essenziale. Questo cambio di rotta dall'approccio gerarchico

all'approccio circolare può mettere in discussione la rilevanza stessa della prevenzione, se il focus dell'economia circolare è il "ritorno in circolo" di materiali e risorse, piuttosto che una minore generazione di rifiuti.

Le iniziative a sostegno del riciclo hanno certamente lo scopo di introdurre un cambiamento nel sistema economico; tuttavia, questo *modus operandi* rischia di essere poco consistente e quindi poco efficace se utilizzato in modo esclusivo, perché non consente una riduzione effettiva nel lungo termine del consumo di risorse e della produzione dei rifiuti (Reike, Vermeulen e Witjes, 2018). Se ci si focalizza sul fine vita dei beni, si corre il rischio di vedere il rifiuto come un valore aggiunto, e conseguentemente di considerare la sua produzione come qualcosa di positivo perché alimenta il mercato del riciclo. La comunità scientifica ha un ruolo chiave nell'indirizzare correttamente le iniziative di economia circolare, mettendo in evidenza quali sono le opzioni che, più di altre, consentono una effettiva riduzione degli impatti ambientali, avendo una visione completa ed evitando di trasferire o amplificare i carichi ambientali da una fase all'altra nella gestione di prodotti, rifiuti e materie prime seconde.

Per evitare, quindi, che la chiusura del cerchio porti a risultati opposti a quelli sperati, ovvero comporti un aumento dell'impatto ambientale complessivo anziché ottenerne una riduzione, serve adottare un punto di vista diverso, esterno alle singole fasi, orientato all'intero ciclo di vita, ed esteso "dalla culla alla culla" (Rigamonti et al., 2013).

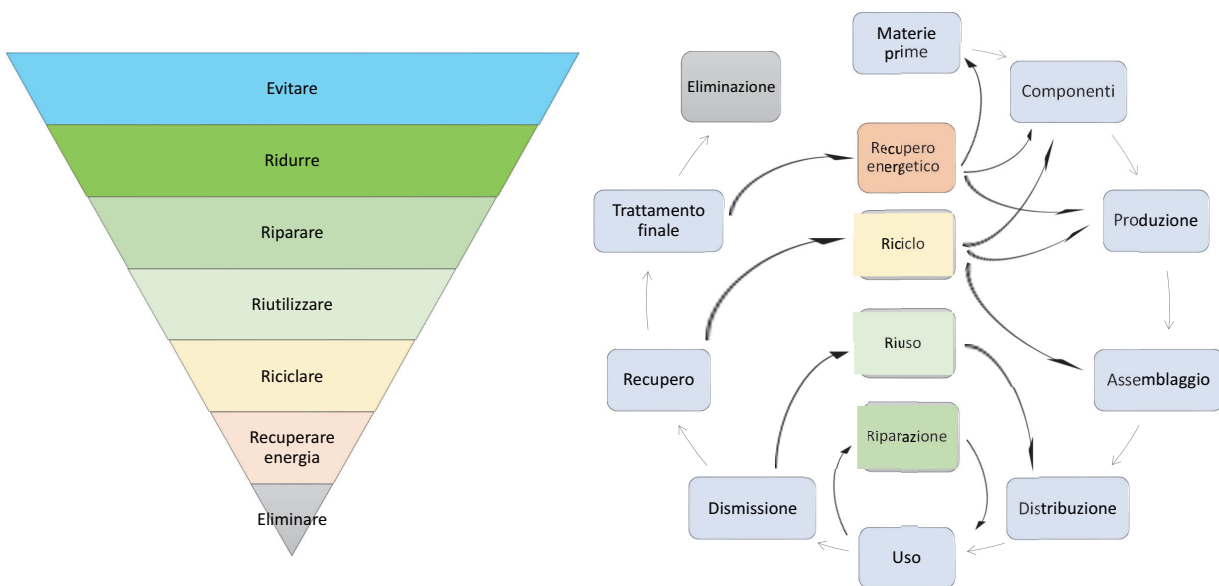


Figura 1 – Le opzioni di prevenzione e riciclo nella gerarchia dei rifiuti e nell'economia circolare

## 2.2. La gestione dei rifiuti tra precauzione e sostenibilità

Una delle caratteristiche distintive dei rifiuti è che essi creano problemi sia quando “nascono” che quando “muoiono”: una parte significativa dell’economia odierna ruota attorno ai rifiuti, e i prodotti attualmente consumati daranno vita a molti rifiuti nuovi per composizione e caratteristiche (Butti, 2012). Per governare questo delicato ambito, a livello europeo sono state definite regole comuni che disciplinano la materia da due prospettive: da una parte i rifiuti devono essere il più possibile indirizzati a operazioni di recupero e riciclo, e al contempo nel passaggio da rifiuti a materia prima seconda devono rispettare criteri di sicurezza e salute nel loro uso futuro (Ewijk e Stegemann, 2020).

Il quadro entro cui si muove l’economia circolare è quello dello sviluppo sostenibile, in cui la crescita economica non può essere perseguita da sola, ma va combinata con la protezione degli ecosistemi e con lo sviluppo socioculturale degli individui. Lo sviluppo sostenibile rappresenta un nuovo paradigma, rivoluzionario, sia per le conoscenze scientifiche che per le misure di politica internazionale. Per indirizzare i governi di tutto il mondo verso lo sviluppo sostenibile, le Nazioni Unite hanno formalizzato obiettivi specifici: i 17 Sustainable Development Goals (SDGs) (UN, 2015). Una gestione sostenibile dei rifiuti favorisce l’innovazione tecnologica e il miglioramento della salute di uomo e ambiente, pertanto va pienamente nella direzione degli SDGs (Hannan et al., 2020). Uno dei pilastri fondamentali dello sviluppo sostenibile e dell’economia circolare rimane quindi il principio di precauzione. Ridurre la quantità di rifiuti a favore di innovativi sistemi di riciclo ed emergenti economie della materia prima seconda deve sottostare ad attente valutazioni di convenienza nell’ottica di evitare l’insorgenza di nuovi rischi per l’ambiente e la salute umana (Commissione Europea, 2019). La comunità scientifica internazionale si sta spendendo in svariati settori e con le più diverse tecniche e tecnologie per valutare i rischi potenziali associati al riciclo di materiali e sostanze, al fine di comprendere quali nuovi rischi possono derivare dai processi di recupero, trasformazione, uso e dismissione dei materiali che vengono riciclati dando origine a nuovi materiali e prodotti (JRC, 2020). Dal punto di vista delle imprese e del mercato, questo può rappresentare un appesantimento delle procedure e un ostacolo per l’economia circolare (Fabris e Mazzi, 2018). Rimane tuttavia in-

discutibile il fatto che la precauzione debba essere prioritaria rispetto ad altri principi, laddove le conoscenze scientifiche sono in continua evoluzione e i rischi potenziali connessi in particolare alla salute umana sono per la maggior parte ancora inesplorati, non foss’altro che per la temporalità con cui si manifestano gli effetti (Espinoza et al., 2021).

## 3. GLI STUDI DI LCA NELLA GESTIONE DEI RIFIUTI: IL DILEMMA RIMANE

### 3.1 L’approccio life cycle applicato alla gestione dei rifiuti

Le valutazioni condotte per comprendere l’impatto ambientale dei rifiuti in fase di gestione sono senz’altro utili per quantificare i vantaggi dei diversi scenari, in particolare il riciclo e il recupero termico. Tuttavia, è l’ottica “comprehensive” del LCT che consente di operare un attento confronto tra le diverse opzioni e capire se e quando i vantaggi potenziali di ciascuna opzione sono realisticamente raggiungibili rispetto alle difficoltà tecniche, economiche o comportamentali da risolvere per ottenerli (Bimpizas-Pinis et al., 2021). Ogni alternativa di gestione, infatti, comporta inevitabilmente un impegno, e al contempo determina un impatto ambientale; di conseguenza, per ottenere il massimo beneficio dalla prevenzione dei rifiuti è importante conoscere quali sono gli impatti ambientali associati alle diverse alternative di prevenzione tecnicamente ed economicamente perseguibili, in una sorta di bilanciamento tra vantaggi e criticità (Laurient et al., 2014, Bisinella et al., 2017).

La concezione “classica” di gestione dei rifiuti riguarda esclusivamente la fase di fine vita dei prodotti e dei materiali, che rappresentano in senso stretto i rifiuti. Diversamente, la metodologia LCA osserva un prodotto in modo dinamico, considerando tutte le fasi che sono incluse nella sua “vita”, da quando esso viene ideato, a quando vengono realizzati i suoi componenti, a quando viene utilizzato e poi infine dismesso, diventando rifiuto (Mazzi, 2020). Pertanto, con questa metodologia, si riescono ad includere tutte le azioni strategiche ed operative dedicate alle fasi del ciclo di vita dei prodotti, anche prima di divenire rifiuti (Bartl, 2011).

Grazie alla copiosa letteratura scientifica inerente il LCT e la LCA nell’ambito della gestione dei rifiuti, è possibile tracciare gli step principali del ciclo di vita dei rifiuti, “dalla culla alla tomba”, come rappresenta la Figura 2. Riprendendo le indica-



Figura 2 – Le fasi del ciclo di vita dei rifiuti con approccio “dalla culla alla tomba”

zioni della normativa europea in merito alla gerarchia dei rifiuti e all’economia circolare (Figura 1), è possibile mettere in evidenza il ruolo di ciascuna fase del ciclo di vita dei rifiuti (Figura 2) rispetto alle possibili azioni di prevenzione: le misure di prevenzione, come evitare, ridurre e riparare, sono praticabili in particolare nella prima parte della vita dei rifiuti, mentre nella seconda parte le azioni di gestione sono più tipicamente quelle dell’economia circolare, ovvero e riutilizzare, riciclare e infine recuperare energia.

### 3.2. La prevenzione dei rifiuti nella letteratura scientifica più recente

Quanto delineato in Figura 2 dimostra che iniziative di prevenzione sono effettivamente possibili e praticabili se messe in atto fin dalle prime fasi della vita dei rifiuti, ovvero nella vita dei beni destinati a diventare rifiuti. Rimane da comprendere quali di queste hanno un minore impatto ambientale complessivo, e quali rischiano di trasferire carichi ambientali ad altre fasi o altre attività, o addirittura portano ad un aumento complessivo degli impatti. Una risposta a questa domanda si dovrebbe ottenere dalla letteratura scientifica che utilizza la metodologia LCA per individuare le opzioni di gestione dei rifiuti con minore impatto ambientale.

Negli ultimi vent’anni, si sono moltiplicati gli studi di LCA per la quantificazione degli impatti ambientali associati alle modalità di gestione dei rifiuti. In virtù del rigore metodologico della metodologia LCA e all’ormai navigata esperienza nell’utilizzare questo strumento in ambito di gestione

Tabella 1 – Modalità di lavoro per condurre l’analisi bibliografica “LCA-waste”

| Step di ricerca      | Obiettivi   | Criteri e strumenti  |
|----------------------|---|--|
| Ricerca preliminare  | Cercare articoli pubblicati recentemente inerenti studi LCA nella gestione dei rifiuti  | Banca dati: Google Scholar®<br>Parole chiave: “LCA” e “waste”<br>Periodo di pubblicazione: 2020-2021 |
| Selezione            | Selezionare gli articoli con valore scientifico e in lingua inglese   | Tipo di documento: pubblicazione scientifica in lingua inglese soggetta a peer review                |
| Analisi approfondita | Approfondire gli articoli selezionati per verificare quali fasi del ciclo vita dei rifiuti sono state incluse nella valutazione | Fasi del ciclo vita dei rifiuti incluse nello studio LCA: tutte le fasi di Figura 2                  |

dei rifiuti, è logico attendersi dalla letteratura scientifica risposte chiare e risolutive rispetto al dilemma fin qui delineato.

È questo il punto di partenza che ha mosso all’analisi bibliografica, con l’obiettivo di comprendere se e come la metodologia LCA può guidare nel comprendere quali sono le soluzioni preferibili di gestione dei rifiuti, ed in particolare quanto la prevenzione è preferibile rispetto al riciclo e al recupero energetico.

Data la natura esplorativa dell’indagine, si è deciso di estendere la ricerca a tutti gli articoli che utilizzano la metodologia LCA per trattare la tematica della gestione dei rifiuti e di limitare la ricerca ai papers internazionali pubblicati più recentemente. Per ottenere informazioni robuste e consistenti, l’analisi di letteratura è stata condotta seguendo 3 step: ricerca preliminare, selezione e analisi approfondita (Luederitz et al., 2016; Mazzi et al., 2016). Per ciascuno step sono stati utilizzati criteri di ricerca coerenti con l’obiettivo e l’ambito dell’indagine; per analizzare i risultati sono state considerate le fasi del ciclo di vita dei rifiuti rappresentate in Figura 2.

In Tabella 1 sono riportati gli step della ricerca e i criteri utilizzati.

La ricerca preliminare, condotta nel mese di dicembre 2020, ha portato ad individuare oltre 300 contributi scientifici. Lo step di selezione ha permesso di escludere un centinaio di documenti perché non rispondenti ai criteri stabiliti. La lista finale degli articoli di interesse per la ricerca comprende 225 articoli, che rappresentano pertanto l’insieme della letteratura scientifica su cui condurre l’analisi

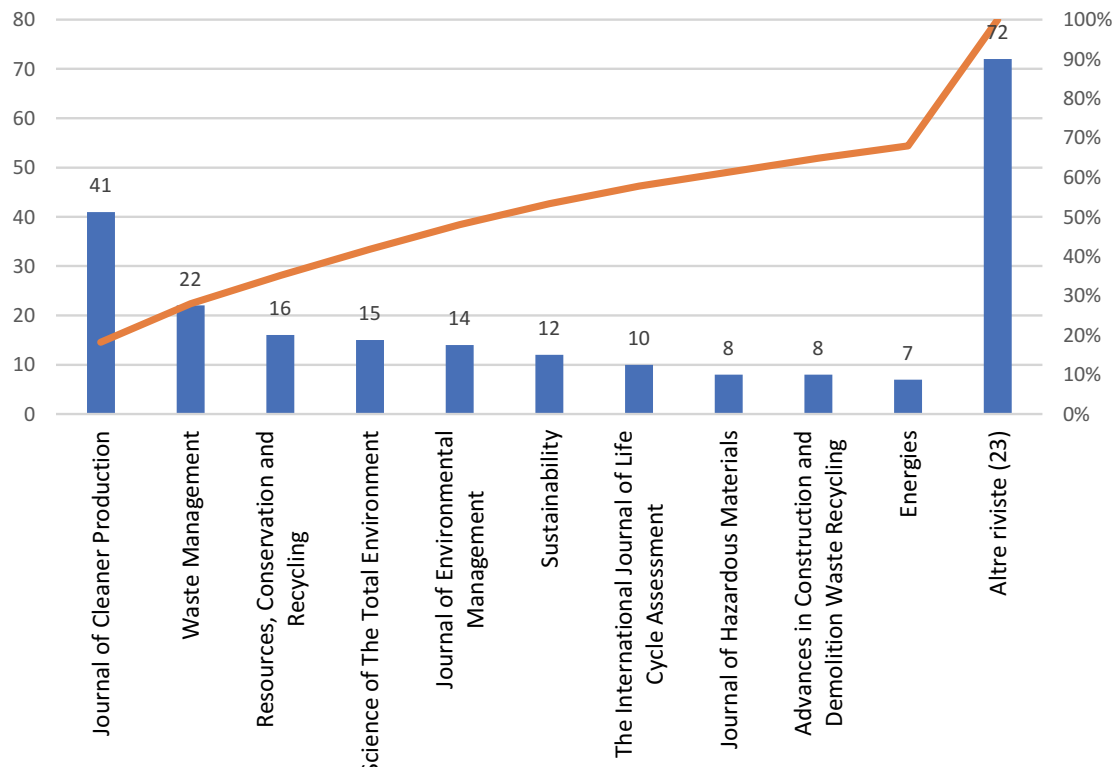


Figura 3 – Articoli scientifici pubblicati nel 2020-2021 inerenti LCA e gestione dei rifiuti: numerosità per rivista e percentuale cumulativa

si approfondita: a tale insieme si riferiscono i risultati che seguono.

In Figura 3 è riportata la distribuzione dei 225 articoli rispetto alle riviste di pubblicazione, sia come numero assoluto (colonne, con asse a sinistra) sia come percentuale cumulativa rispetto al totale degli articoli considerati nell'analisi (linea, con asse a destra). In generale, la numerosità di riviste che nell'ultimo biennio ha pubblicato articoli inerenti all'analisi di impatto ambientale nella gestione dei rifiuti (complessivamente 33 riviste) testimonia la rilevanza dell'argomento e la sua attualità.

Dal grafico di Figura 3 emerge inoltre che le prime 6 riviste hanno pubblicato più del 50% degli articoli selezionati. La tematica è di interesse sia per riviste che più propriamente si occupano di gestione dei rifiuti, come Waste Management, sia per riviste più indirizzate alla gestione sostenibile delle risorse e al riciclo, come Resources, Conservation and Recycling, sia a riviste dedicate alla gestione degli impatti ambientali in attività di processo, come Journal of Cleaner Production.

L'analisi degli articoli selezionati ha permesso di verificare quali fasi del ciclo vita dei rifiuti sono state considerate in ogni studio di LCA inerente la gestione dei rifiuti. Il conteggio finale ha portato ai risultati di Figura 4, dove sono indicati, in valore percentuale sul totale di 225, gli articoli che han-

no incluso ciascuna fase del ciclo di vita del prodotto/rifiuto. Nel grafico le fasi del ciclo di vita che consentono di evitare la produzione di rifiuto sono rappresentate in verde, mentre le fasi che comportano una gestione del rifiuto dopo che è stato generato sono rappresentate in giallo.

Osservando la distribuzione delle pubblicazioni in Figura 4, appare evidente che la letteratura più recente si è particolarmente dedicata a studiare gli impatti ambientali associati alle fasi finali del ciclo vita dei rifiuti, mentre le prime fasi del ciclo vita sono raramente considerate. Complessivamente, solamente il 29,4% degli articoli pubblicati nel 2020-2021 include le fasi preliminari nello studio di LCA, mentre il 70,4% degli articoli considera nell'ambito di indagine le fasi finali del ciclo di vita dei rifiuti.

L'interesse degli studi LCA è particolarmente elevato per il trattamento con recupero energetico e per il riciclo. Molti autori si dedicano ad analizzare gli impatti ambientali relativi ad impianti di trattamento dei rifiuti, sia termovalorizzatori che discariche (l'85% degli articoli include la fase di trattamento); numerosi studi sono di Paesi extraeuropei e testimoniano l'attenzione ancora forte degli scienziati nel ricercare soluzioni tecnologiche di trattamento finale che minimizzino gli impatti ambientali. Si moltiplicano negli ultimi anni gli studi dedicati a

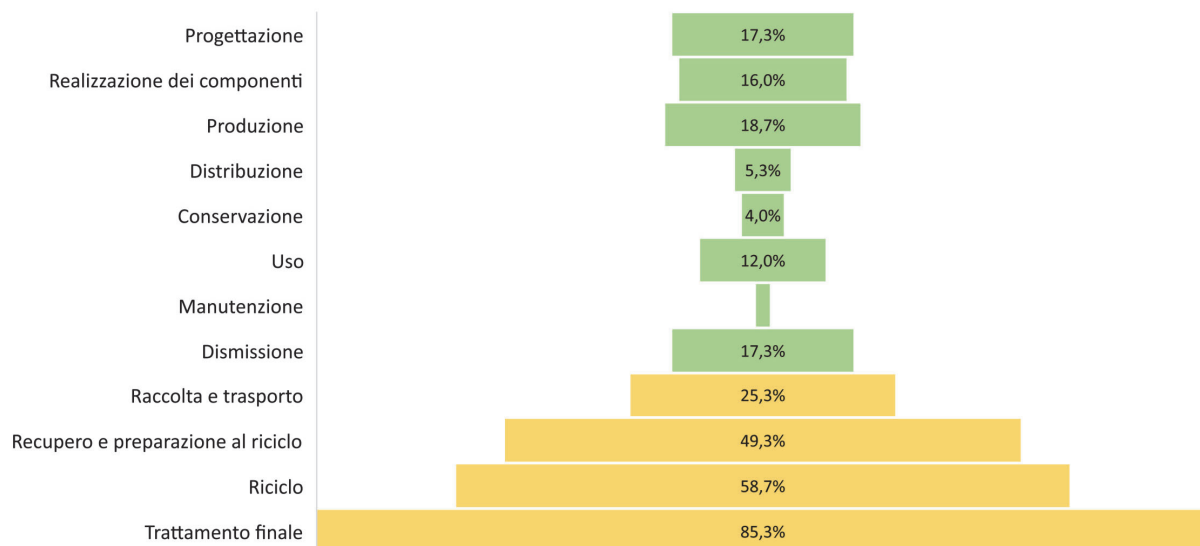


Figura 4 – Articoli scientifici pubblicati nel 2020-2021 inerenti LCA e gestione dei rifiuti: numerosità % per fase del ciclo di vita dei rifiuti

quantificare gli impatti ambientali del riciclo, per nuovi prodotti e innovazioni tecnologiche (il 58% degli articoli analizzati considera la fase “riciclo”); gli studi di LCA focalizzati sul riciclo riguardano in particolare alcuni settori, come il packaging, le sostanze chimiche, i residui da demolizione.

Le fasi propedeutiche al trattamento finale sono incluse in molti articoli, per motivi differenti. La maggior parte degli articoli di LCA che studiano opzioni di riciclo includono la fase di recupero e preparazione al riciclo (quasi il 50% degli articoli analizzati include la fase “recupero e preparazione al riciclo”), mettendo in evidenza la rilevanza ambientale delle operazioni preliminari al riciclo. Un numero importante di studi tratta questioni legati alla raccolta e al trasporto dei rifiuti (circa il 25% degli articoli analizzati include questa fase): ciò fa presupporre un’importanza crescente della valutazione LCA nella pianificazione territoriale di gestione integrata.

Sono ancora una minoranza gli studi che analizzano opzioni di gestione relative alle prime fasi della vita dei rifiuti (sono meno del 20% gli studi che includono “progettazione”, “componenti” o “produzione”): queste fasi sono in genere incluse negli studi LCA dedicati ad analizzare gli impatti ambientali di nuovi prodotti/processi di riciclo. Negli studi dedicati alla valutazione di impatto di prodotti riciclabili o riciclati è in genere considerata anche la fase d’uso (inclusa nel campo di applicazione del 12% degli articoli studiati).

Infine, sono pochissimi gli studi che includono nell’analisi attività relative alle fasi centrali del ciclo vita dei rifiuti, come la distribuzione dei prodotti sul mercato, la loro conservazione e la loro manu-

tenzione (meno del 6% degli articoli selezionati include nello studio LCA queste fasi).

Dall’analisi condotta emerge chiaramente che l’attenzione della comunità scientifica è tutt’oggi fortemente orientata a quantificare gli impatti ambientali associati ai rifiuti nelle fasi finali del ciclo di vita: raccolta, riciclo e recupero energetico. Le fasi iniziali del ciclo di vita sono di interesse solo nel caso in cui il prodotto studiato sia ottenuto da riciclo e/o sia riciclabile a fine vita: ciò sembra dimostrare che la crescente attenzione verso le fasi iniziali del ciclo di vita dei rifiuti sia finalizzata a promuovere innovazioni inerenti il riciclo. In generale, le opzioni di riduzione dei rifiuti più propriamente caratterizzanti la prevenzione risultano essere ancora fortemente trascurate negli studi di LCA pubblicati tra il 2020 e il 2021.

#### 4. CONCLUSIONI: QUALCHE RISPOSTA E MOLTE SFIDE

La gestione dei rifiuti è un aspetto prioritario per le attuali politiche locali. Da un lato un tasso di riciclo del 100% è tecnicamente impossibile da raggiungere, dall’altro la produzione complessiva di rifiuti è in continua crescita sia per quantità che per complessità. D’altra parte, la crescente produzione di beni in risposta ad un continuo aumento delle esigenze del mercato determina un crescente uso di risorse, con il conseguente impoverimento degli ecosistemi. Una soluzione realistica per la gestione sostenibile dei rifiuti è quella di estendere l’attuale visione “end-on-life”, dove il rifiuto è considerato un problema da risolvere, alla più completa



visione “cradle-to-cradle”, dove il rifiuto può essere sia un’opzione da evitare sia una risorsa sostitutiva di materia prima vergine. La politica europea ha già risposto a questa sfida e ha introdotto la gerarchia dei rifiuti incentrata sulla prevenzione come attività chiave. Tuttavia, l’applicazione concreta è ancora agli esordi: l’impegno delle aziende, gli interessi del mercato e gli indirizzi delle politiche locali sono progressivamente sempre più attenti a nuove soluzioni di ricircolo; al contrario le questioni relative alla riduzione dei rifiuti nelle fasi a monte sono raramente trattate.

A livello di comunità scientifica, l’attenzione verso la prevenzione dei rifiuti, sebbene pienamente in linea con l’approccio LCT, è ancora poco diffusa nell’ambito degli studi di LCA. Osservando le pubblicazioni scientifiche nel biennio 2020-2021 inerenti alla gestione dei rifiuti e la valutazione mediante metodologia LCA, emerge un quadro complessivo chiaro: la maggior parte degli studi riguarda le fasi di trattamento finale e le opzioni di riciclo; un certo interesse è dimostrato verso alcune fasi intermedie, come raccolta, trasporto e preparazione al riciclo. Molto pochi sono invece gli studi che includono le fasi a monte della generazione del rifiuto e indagano in merito ad attività di prevenzione.

Riprendendo il quesito di ricerca posto all’inizio del lavoro, è possibile trarre alcune considerazioni ed è necessario evidenziare nuovi dubbi. Dal punto di vista teorico, come emerge dal capitolo 2, la prevenzione è da preferire sia dal punto di vista ambientale che economico e sociale: gli indirizzi dell’Unione Europea a favore della riduzione dei rifiuti e dell’economia circolare vanno in questa direzione; tuttavia, le iniziative a sostegno del riciclo appaiono più diffuse e incisive rispetto a quelle dedicate alla prevenzione. Osservando poi la questione dal punto di vista operativo, gli articoli pubblicati negli ultimi 2 anni e inerenti alla valutazione LCA mettono in chiara evidenza come l’interesse della comunità scientifica internazionale sia ancora estremamente concentrato sul quantificare impatti ambientali dei rifiuti, evitando spesso di considerare le fasi preliminari del ciclo di vita dei rifiuti. Da questi risultati non è possibile ottenere una risposta univoca al quesito di ricerca, ma piuttosto emergono una serie di nuovi dubbi, che andrebbero ulteriormente approfonditi con nuove ricerche. Ulteriori osservazioni possono essere fatte indagando più a fondo il quesito di ricerca nei settori in cui, più di altri, l’approccio della prevenzione si sta affermando, come ad esempio il settore agro-

alimentare e il settore delle costruzioni e demolizioni. Un altro aspetto che in questa ricerca non è stato considerato è la distribuzione geografica degli studi inerenti LCA, prevenzione e riciclo: superare questo limite con ulteriori indagini potrebbe essere interessante, anche combinando l’analisi con i settori merceologici, per comprendere se ci sono Paesi in cui l’attenzione alla prevenzione piuttosto che al riciclo è più avanzata rispetto ad altri. Un dubbio che va superato riguarda infine l’ambito di ricerca: il lavoro qui presentato ha assunto come presupposto che gli studi LCA fossero esempi privilegiati per confrontare le prestazioni ambientali della prevenzione rispetto al riciclo. Questo assunto può rappresentare un limite della ricerca: sarà pertanto interessante verificare se la comunità scientifica utilizza altri strumenti di analisi per quantificare impatti e benefici ambientali della prevenzione e del riciclo.

Pur con i limiti insiti nell’analisi, dalle conclusioni di questo studio emergono riflessioni utili alla comunità scientifica: per supportare le imprese ed il mercato verso misure efficaci di prevenzione dei rifiuti si rende necessario uno sforzo da parte degli esperti ad affrontare in modo davvero completo la problematica dei rifiuti. Non è sempre detto che la soluzione ambientalmente preferibile sia il riciclo o il recupero energetico: nella gerarchia dei rifiuti ci sono molte altre opzioni a monte che vanno considerate. Per sapere quali opzioni di gestione sono effettivamente a minore impatto ambientale, si rende necessario chiedere agli studi LCA inerenti ai rifiuti di adottare un orizzonte di osservazione più ampio, includendo tutte le fasi del ciclo vita e valutando anche opzioni di riduzione dei rifiuti nelle fasi di design, produzione, distribuzione, uso e manutenzione. Soltanto così sarà possibile ottenere una valutazione completa dei carichi ambientali associati ai rifiuti ed individuare le fasi del ciclo vita in cui è preferibile intervenire, evitando di trasferire carichi ambientali in altre fasi e in altre attività.

## 5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bartl A. (2011) Barriers towards achieving a zero waste society. *Waste Management* 31, 2369-2370.
- Bimpizas-Pinis M., Bozhinovska E., Genovese A. et al., (2021) Is efficiency enough for circular economy? *Resources, Conservation and Recycling* 167, 105399 (in press, available online).
- Bisinella V., Götze R., Conradsen K., et al. (2017) Importance of waste composition for Life Cycle Assessment of waste management solutions. *Journal of Cleaner Production* 164 (15), 1180-1191.

- Butti L. (2012) Birth and death of waste. *Waste Management* 32, 1621-1622.
- Christensen T.H., Damgaard A., Levis J. et al (2020) Application of LCA modelling in integrated waste management. *Waste Management* 118, 313-322.
- Commissione Europea (2012) Guidance on the interpretation of key provisions of Directive 2008/98/EC on waste. Disponibile su: [http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/pdf/guidance\\_doc.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/pdf/guidance_doc.pdf) (consultato il 17/06/2021).
- Commissione Europea (2015) COM/2015/0614 (2015) Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy. Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1453384154337&uri=CELEX:52015DC0614> (consultato il 17/06/2021).
- Commissione Europea (2019) COM/2019/640 (2019) The European Green Deal. Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:52019DC0640> (consultato il 17/06/2021).
- Commissione Europea (2020) COM/2020/98 (2020) A new Circular Economy Action Plan. For a cleaner and more competitive Europe. Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098&from=IT> (consultato il 17/06/2021).
- Corsini F., Gusmerotti N.M., Testa F. et al. (2018). Exploring waste prevention behaviour through empirical research. *Waste Management* 79, 132-141.
- Espinoza L.T., Hool A., Wäger P. et al. (2021) Reply to correspondence Circular economy practices may not always lead to lower criticality or more sustainability; analysis and guidance is needed per case. *Resources Conservation and Recycling* 165, 105223 (in stampa, disponibile online).
- Ewijk S. e Stegemann J.A. (2020) Recognising waste use potential to achieve a circular economy. *Waste Management* 105, 1-7.
- Fabris C. e Mazzi A. (2018) “End of Waste”: Dopo lo stop ai criteri regionali caso per caso, lo stato interviene in fretta. *Rivista Giuridica dell’Ambiente* 4, 689-706.
- Gentil E.C., Gallo D. e Christensen T.H. (2011). Environmental evaluation of municipal waste prevention. *Waste Management* 31 (12), 2371-2379.
- Hannan M.A., Lipu M.S.H., Akhtar M. et al. (2020) Solid waste collection optimization objectives, constraints, modeling approaches, and their challenges toward achieving sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production* 277, 123557 (in press, available online).
- Hutner P., Thorenz A. e Tuma A. (2017) Waste prevention in communities: A comprehensive survey analyzing status quo, potentials, barriers and measures. *Journal of Cleaner Production* 141, 837-851.
- Johansson N. e Corvellec H. (2018) Waste policies gone soft: An analysis of European and Swedish waste prevention plans, *Waste Management* 77, 322-332.
- JRC (2020) Waste and Circular Economy. Joint Research Center. Disponibile su: <https://ec.europa.eu/jrc/en/research-topic/waste-and-recycling> (consultato il 17/06/2021).
- Korhonen J., Honkasalo A. e Seppälä J. (2018) Circular economy: The concept and its limitations. *Ecological Economics* 143, 37-46.
- Laurent A., Bakas J., Clavreul J. et al. (2014) Review of LCA studies of solid waste management systems – Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste Management* 34 (3), 573-588.
- Luederitz C., Meyer M., Abson D.J. et al. (2016) Systematic student-driven literature review in sustainability science. An effective way to merge research and teaching. *Journal of Cleaner Production* 119, 229-235.
- Maglia S. (2019) La gestione dei rifiuti dalla A alla Z, Ed. TuttoAmbiente.
- Matsuda T., Hirai Y., Asari M. et al (2018) Monitoring environmental burden reduction from household waste prevention. *Waste Management* 71, 2-9.
- Mazzi A., Toniolo S. et al. (2016) Exploring the direction on the environmental and business performance relationship at the firm level. Lessons from a literature review. *Sustainability* 8, 1200. DOI: 10.3390/su8111200.
- Mazzi A. (2020) Introduction. Life cycle thinking. In Ren J. e Toniolo S. (eds) *Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making: Methodologies and Case Studies*. Elsevier, ISBN: 9780128183557, 1-19.
- Parlamento e Consiglio Europeo (2008) Direttiva 2008/98/CE (2008) Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 novembre 2008, relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell’Unione Europea n. L312 del 22 novembre 2008.
- Reike D., Vermeulen W.J.V. e Witjes S. (2018) The circular economy: New or refurbished as CE 3.0? – Exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. *Resources Conservation and Recycling* 135, 246-264.
- Rigamonti L., Falbo A. e Grosso M. (2013) Improvement actions in waste management systems at the provincial scale based on a life cycle assessment evaluation. *Waste Management* 33 (11), 2568-2578.
- Salmenperä H., Pitkänen K., Kautto P. et al. (2021) Critical factors for enhancing the circular economy in waste management. *Journal of Cleaner Production* 280 (1), 124339 (in stampa, disponibile online).
- Steinhorst J. e Beyerl K. (2021) First reduce and reuse, then recycle! Enabling consumers to tackle the plastic crisis – Qualitative expert interviews in Germany. *Journal of Cleaner Production*, 127782 (in stampa, disponibile online).
- UN (2015) Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations. Disponibile su: <https://sdgs.un.org/2030agenda> (consultato il 17/06/2021).

## RINGRAZIAMENTI

Il lavoro descritto nell’articolo è stato presentato durante la quinta edizione della Giornata di studio “Rifiuti e Life Cycle Thinking” tenutasi online il 9 marzo 2021 e organizzata e coordinata dal gruppo di ricerca “AWARE” (Assessment on Waste and Resources) del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale del Politecnico di Milano in collaborazione con il Gruppo di Lavoro “Gestione e Trattamento dei Rifiuti” dell’Associazione Rete Italiana LCA.



# INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2021 è sostenuta da:



INGEGNERIA  
DELL'AMBIENTE



N. 2/2021



Veolia Water Technologies Italia S.p.A.

