

IL LIFE CYCLE THINKING COME STRUMENTO PER LA VALUTAZIONE CRITICA DELLE POLITICHE DI ECONOMIA CIRCOLARE

Daniela Camana^{1*}, Alessandro Manzardo¹, Andrea Fedele¹

¹ Università di Padova, CESQA, Dipartimento di Ingegneria Industriale.

Sommario – La definizione di indicatori condivisi per la misurazione delle prestazioni di sostenibilità ambientale e dei miglioramenti ottenibili con l'economia circolare è oggetto di dibattito internazionale. Tra gli strumenti tecnici di analisi delle strategie ambientali, la valutazione del ciclo di vita risulta tra le più promettenti in quanto consente di stimare gli impatti ambientali ma anche gli aspetti sociali ed economici, indagando la sostenibilità nel suo complesso. Il primo obiettivo di questo lavoro è illustrare la recente letteratura su questi tre temi interconnessi – sostenibilità ambientale, economia circolare e valutazione del ciclo di vita – indagando se la circolarità sia sempre positiva dal punto di vista ambientale e se il life cycle thinking possa essere utile per valutare la sostenibilità ambientale e complessiva delle politiche di economia circolare, tramite un breve caso studio relativo al piano nazionale di ripresa e resilienza italiano. Il secondo obiettivo è illustrare come le tecniche di comunicazione possano influenzare sensibilmente le scelte strategiche di interlocutori non esperti. I risultati dello studio evidenziano che riflettere su questi aspetti è rilevante per analizzare criticamente le politiche ambientali. Alcuni studi di life cycle thinking suggeriscono infatti che, se determinate condizioni non vengono garantite, lo spostamento degli impatti, gli effetti boomerang in campo ambientale e sociale e alcune azioni trasversali possono annullare i vantaggi delle strategie circolari in termini di sostenibilità complessiva. In questo contesto, l'uso di un unico indicatore di circolarità potrebbe non essere appropriato per mostrare la complessità degli aspetti coinvolti in differenti scenari di gestione. Alcuni sviluppi futuri per la ricerca teorica e applicata per diversi stakeholders sono dunque proposti.

Parole chiave: economia circolare, analisi del ciclo di vita, sviluppo sostenibile, effetti boomerang, cruscotti di sostenibilità.

THE USE OF LIFE CYCLE THINKING TO ASSESS THE SUSTAINABILITY OF CIRCULAR ECONOMY POLICIES

Abstract – Sustainable development pursues economic growth, social equity, and environmental care for present and future generations. However, several indicators have been proposed in the last decades to measure sustainability improvements and a shared consensus on them is not yet reached by international research. At the same time, measurements of advantages of circular economy policies are not doubtless in all scenarios. Life cycle assessment is a tool,

defined in the ISO standards of the 14040 series, that permits to investigate the environmental impacts from cradle to grave in processes, products, organisations, and territories. In the last years, many studies have also investigated life cycle sustainability, including social and economic issues, in a more comprehensive analysis. The first aim of this work is to illustrate the recent literature on these three interrelated themes – environmental sustainability, circular economy, and life cycle assessment – investigating whether circularity is always positive from an environmental point of view. For this purpose, the environmental and overall sustainability of circular economy policies is investigated by using life cycle thinking in a short case study in the recent national recovery plan. The second aim of this work is to illustrate how different communication strategies can lead to different preferability conclusions for non-expert stakeholders. The results of the study show that reflecting critically on these aspects is particularly relevant to analyse policies that are proposed as more sustainable than others and that influence large investments. In the last years, some life cycle thinking studies have suggested that the presence of environmental and social rebound effects may nullify the advantages of circular strategies. In fact, even if a scenario allows a diminution of the use of raw material at the recycling stage, the same scenario often shows an increment of another impact in the whole supply chain. In this context, the use of a single circularity indicator might be not appropriate to show the complexity of impacts involved. The life cycle thinking approach is useful to assess the sustainability of circular economy policies. In fact, waste technologies, territorial management, and treatment scenarios can be critically investigated in a life cycle perspective. Social and economic aspects can be included as well by using life cycle costing, social life cycle and life cycle sustainability tools. The monitoring process and the strategic direction can be assessed, and the true sustainability of policies can be discussed. This is particularly triggering for national and international choices that influence investments of people and states. Since policies of sustainability might be defined by politicians and evaluated by citizens, the scientific results of complex studies need to be communicated in an easy way. The dashboards of sustainability permit summarising data using a range of colours that change according to environmental performances of compared scenarios. Dashboards have been used for sustainable development goals, but also for life cycle sustainability data. In this work we suggest the use of dashboard – or similar methods – to illustrate results of comparative scenarios in order to highlight the pros and cons of different choices, to maintain all impacts, and to have a picture

* Per contatti: Via Marzolo 9, 35131, Padova, Italy. Tel. 049 8275539. E-mail: daniela.camana@phd.unipd.it

of rebound effects from an impact to another one. This analysis suggests continuing to enhance the theoretical research activities launched at the international level to define indicators that monitor the effects of policies by contemplating all aspects of sustainability from a life cycle perspective. At the same time, it emerges the importance to increase the awareness of all stakeholders on the complexity of environmental choices, promoting the development of transparent and comprehensive communication tools.

Keywords: *circular economy, life cycle thinking, sustainable development, rebound effects, sustainability dashboards.*

Ricevuto il 2-4-2021. Modifiche sostanziali richieste il 21-5-2021. Correzioni richieste il 1-7-2021. Accettazione il 2-7-2021.

1. INTRODUZIONE

La promozione sinergica di crescita economica, tutela dell'ambiente e coesione sociale per le generazioni presenti e future è la base concettuale dello sviluppo sostenibile (WCED, 1987; Mensah, 2019). A livello internazionale, nazionale, e locale, i 17 obiettivi di sviluppo sostenibile, comunemente noti come Sustainable Development Goals (SDGs), con annessi traguardi specifici multifattoriali (Wulf *et al.*, 2018) sono capillarmente diffusi e condivisi (UN, 2015). Per la quantificazione delle prestazioni di sostenibilità, molti e diversi indicatori sono stati predisposti (Mori and Christodoulou, 2012; Huertas-Valdivia *et al.*, 2020). Tuttavia, proprio a causa della sua interdisciplinarietà – ambiente, economia, società – e complessità, la misurazione dei progressi nello sviluppo sostenibile non è univoca e racchiude sempre dentro sé margini di soggettività e di discrezionalità. La definizione inoltre non è statica e prevede la costante inclusione di nuovi aspetti, quali la resilienza e l'adattamento ai cambiamenti climatici (Roostaie, Nawari and Kibert, 2019), o il progressivo perfezionamento degli obiettivi sociali, difficilmente quantificabili e misurabili (Ramos Huarachi *et al.*, 2020). Tra le politiche europee ed italiane per lo sviluppo sostenibile, l'economia circolare (EC) è considerata uno strumento cardine (EU, 2020; IT, 2021). Infatti, in un contesto di presenza di limiti planetari e di risorse scarse per gli esseri viventi (Li *et al.*, 2021), l'importanza della riduzione nell'uso massivo di materie prime e risorse naturali appare cruciale (Nuss and Blengini, 2018; Calisto Friant, Vermeulen and Salomone, 2021). Il recente piano europeo per la EC (EU, 2020) si innesta all'interno del progetto politico "Green new Deal" e prevede, a causa della limitatezza delle risorse a disposizione, la minimizzazione degli scarti in tutta la filiera produttiva; ciò può essere ottenuto trasformando i processi lineari di produzione e consumo in processi il

più possibile circolari (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Differenti strategie di EC potrebbero però essere considerate (Merli, Preziosi and Acampora, 2018), con diversi territori di riferimento per la chiusura del ciclo (locale, regionale, nazionale o europeo ad esempio), diverse scale applicative di riferimento (dalla filiera industriale macroscopica al singolo componente di prodotto microscopico), diverso coinvolgimento degli stakeholders locali (industriali, politici, sociali), o diversa attenzione alle fasi del ciclo di vita (estrazione risorse e approvvigionamento materie prime, produzione, distribuzione, uso/riuso e manutenzione, fine vita) e quindi con diversi indicatori di monitoraggio (de Oliveira, Dantas and Soares, 2021; Harris, Martin and Diener, 2021). Ad oggi la definizione di indicatori di circolarità è fortemente dibattuta sia a livello pratico e legislativo (Comm EU 2018; ICESP, 2020; Alleanza Economia Circolare 2021), sia a livello di normazione (con l'istituzione del comitato internazionale ISO TC 323 e della Commissione tecnica italiana UNI 057), sia a livello scientifico internazionale (Moraga *et al.*, 2019; Saidani *et al.*, 2019) e diversi framework sono proposti e sviluppati.

Tra gli strumenti per la misurazione della sostenibilità e della circolarità, il life cycle assessment (LCA) appare tra i più promettenti (Sala *et al.*, 2016; Bonoli, Zanni and Serrano-Bernardo, 2021; Camana *et al.*, 2021a; Peña *et al.*, 2021). Il life cycle assessment (LCA) è una metodologia di valutazione normata negli standard internazionali (ISO, 2006; ISO, 2018a) che permette la valutazione degli aspetti e degli impatti ambientali dalla culla alla tomba di prodotti, processi, servizi. Tale metodo nel tempo si è evoluto (Guinée *et al.*, 2011; Mazzi, 2020) espandendosi verso l'analisi delle ricadute economiche (tramite il life cycle costing) o sociali (per mezzo del social life cycle) nell'intera filiera oggetto di analisi (Toniolo *et al.*, 2020). Diverse metodologie sono state sviluppate, dalle impronte ecologiche (ISO, 2018b), alle analisi di organizzazioni complesse (ISO, 2014) o territoriali (Loiseau *et al.*, 2018) fino alla valutazione della life cycle sustainability (Zamagni, Pesonen and Swarr, 2013; Visentin *et al.*, 2020). L'approccio concettuale complessivo prende il nome di life cycle thinking (LCT).

Il LCT può contribuire a valutare e misurare l'efficacia delle singole azioni previste dal recente piano europeo di EC (Camana *et al.*, 2021a), analizzare l'intera catena di prodotto, i diversi modelli di trattamento del rifiuto, gli scenari di gestione territoriale, le valutazioni strategiche di efficienza e monitoraggio della EC, intercettando le significa-

tive e positive modifiche comportamentali nella filiera produttiva (El Wali, Golroudbary and Krawslawski, 2021; Walker *et al.*, 2021).

Lo stesso LCT, pur essendo tra gli strumenti alla base delle politiche ambientali dell'Unione Europea, presenta comunque delle criticità metodologiche ed applicative, anche nel contesto della valutazione della sostenibilità delle politiche di gestione circolare (ICESP, 2021; Camana *et al.*, 2021b). Nella valutazione degli scenari, infatti, si richiede di definire in modo chiaro e trasparente i confini del sistema (Ekvall *et al.*, 2016) e le assunzioni (Weidema *et al.*, 2018), per evitare spostamenti volontari o involontari di impatti ambientali all'esterno del campo di applicazione dello studio. Risulta a tal proposito fondamentale, nelle valutazioni in ottica di ciclo di vita, avere un approccio organico, complessivo, consequenziale e inclusivo dei diversi aspetti (Camana *et al.*, 2021b; Troullaki, Rozakis and Kostakis, 2021).

2. OBIETTIVI, MATERIALI E METODI

La presente analisi ha inizialmente l'obiettivo di illustrare alcuni possibili rapporti tra sviluppo sostenibile ed economia circolare in ottica di life cycle thinking. Lo scopo è in particolare investigare se il guadagno ambientale delle strategie di economia circolare sia sempre consistente e rilevante, al punto da impegnare risorse economiche e tecnologiche per la "transizione ecologica", oppure a determinate condizioni rischi di essere, consapevolmente o inconsapevolmente, "green-washing" istituzionale o aziendale. Rispetto allo scenario lineare di partenza, lo scenario che aumenta la circolarità nell'uso delle risorse, garantisce davvero un effettivo miglioramento degli impatti ambientali? Affrontare questo dubbio è essenziale, soprattutto per quelle decisioni e strategie che non impattano solo su una singola azienda o prodotto, ma su un intero comparto o territorio. A tale scopo vengono presentati alcuni risultati di ricerche nazionali ed estere sulla sostenibilità ambientale delle politiche di EC, evidenziando alcuni possibili punti di forza e debolezza. Gli aspetti individuati in ottica di ciclo di vita vengono successivamente applicati, con un breve caso studio, al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) italiano, nella sua sezione specificatamente dedicata all'economia circolare. Vengono per questo associati, ad ogni investimento proposto nel PNRR, alcuni studi internazionali che evidenziano aspetti critici da monitorare e viene proposto un approccio complessivo alla EC.

Poiché gli impatti ambientali degli scenari di EC sono molteplici e la gestione che minimizza la maggior parte degli aspetti è difficilmente ottenibile, una scelta per certi versi discrezionale di valore da parte del decisore e dei cittadini va comunque spesso effettuata. Il presente lavoro intende dunque, in secondo luogo, presentare alcuni metodi di trasmissione e diffusione dei dati nonché una forma semplificata della dashboard of sustainability (cruscotto di sostenibilità) come mezzo per comunicare con gli stakeholders. Verranno per questo scopo brevemente illustrati diversi modi per informare il pubblico sui risultati raggiunti in uno studio comparativo sulla gestione locale dei rifiuti.

3. IL POSSIBILE CONTRIBUTO DEL LCT PER L'ECONOMIA CIRCOLARE

3.1 Il rapporto tra sostenibilità, economia circolare e life cycle thinking

Per comprendere la relazione tra sostenibilità ed economia circolare in ottica di ciclo di vita è innanzitutto utile chiedersi quali concetti essi stessi sottintendano, e perché.

Se infatti si dà per presupposto che le politiche di economia circolare siano sostenibili in quanto garantiscono per definizione un consumo minore di materia prima, ovviamente l'economia circolare sarà un sottoinsieme della sostenibilità (Figura 1, a). Se d'altro canto invece si evidenzia che l'EC possa migliorare la sostenibilità – ambientale, economica e sociale – solo a determinate condizioni, allora i due concetti avranno un'area di intersezione, e delle aree in cui sono disgiunti (Figura 1, b). In tal caso vi saranno alcune gestioni circolari che non producono ad esempio vantaggi in termini ambientali, sociali ed economici oppure strategie di sostenibilità che non contemplano per forza l'aumento della circolarità. Qualora i due concetti – EC e sostenibilità – siano disgiunti, e portino a risultati differenti, quale dei due dovrà avere la priorità nelle scelte decisionali (Figura 1, c)?

La presente discussione si focalizza principalmente sulla dimensione ambientale della sostenibilità e sul ruolo che il LCT possa avere nel valutare la sostenibilità nella gestione circolare locale. Recenti studi di LCT evidenziano infatti come la circolarità non sempre conduca al miglioramento della sostenibilità ambientale (Niero and Rivera, 2018; Harris, Martin and Diener, 2021). Almeno tre aspetti, tra i molti possibili, devono essere considerati: spostamento degli impatti ambientali nelle diverse fasi ciclo di

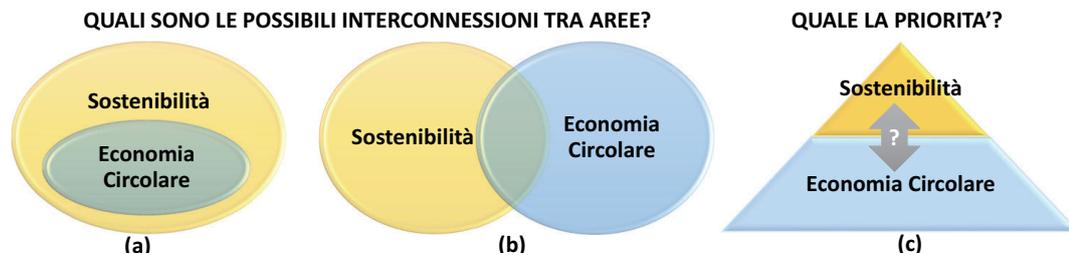


Figura 1 – Il rapporto tra sostenibilità ed economia circolare: una questione aperta

vita (estrazione risorse e approvvigionamento materie prime, produzione, distribuzione, uso/riuso e manutenzione, fine vita) e nelle matrici ambientali (risorse materiali ed energetiche, aria, acqua, suolo, rifiuti), effetti boomerang (Vivanco, Sala and McDowall, 2018; van Loon, Diener and Harris, 2021), e motivazioni trasversali (Camana *et al.*, 2021a).

Spesso, a fronte della mitigazione di un impatto ambientale in uno scenario (ad esempio il consumo di risorse o il riscaldamento globale) si assiste al concomitante incremento di un altro impatto a monte o a valle del processo considerato (ad esempio l'ecotossicità, o la perdita di biodiversità); questo fenomeno è comune negli studi di LCA e prende il nome di *burden shifting*, *trade-off*, spostamento degli impatti. Tale spostamento degli impatti può avvenire all'interno della filiera del prodotto o del rifiuto a diverso livello. Esempi noti di queste problematiche sono il consumo di suolo dovuto alle colture per i bio-carburanti (Kargbo, Harris and Phan, 2021) e le criticità gestionali ed ambientali nel fine vita dei pannelli fotovoltaici (Mahmoudi *et al.*, 2019). Valutare ad esempio la positività delle azioni di riciclo prevede anche la necessità di verificare l'entità e le emissioni dei trasporti necessari per garantire la raccolta del rifiuto differenziato e la nuova consegna del bene riciclato (De Feo *et al.*, 2016), nonché le caratteristiche di efficienza ed efficacia delle attività di riciclo stesso (Castellani, Sala and Mirabella, 2015; Grosso, Niero and Rigamonti, 2017; Cottafava *et al.*, 2021). Questo serve a garantire che non vi sia una propagazione degli impatti a livello temporale o spaziale.

In secondo luogo, per garantire che le politiche di EC siano ambientalmente sostenibili, è indispensabile monitorare e ridurre i cosiddetti effetti *boomerang*, o *rebound effects*, siano essi ambientali o sociali (Vivanco, Sala and McDowall, 2018). Non è infatti scontato ad esempio che le buone pratiche di riciclo portino il cittadino a consumare di meno (Sala *et al.*, 2016); paradossalmente alcune strategie potrebbero addirittura spingere il consumatore a considerare meno impattanti le sue scelte d'ac-

quisto, e quindi ad aumentare il consumo complessivo di materia e prodotti (Hofmann, 2019).

La valutazione della sostenibilità ambientale dei processi circolari dovrebbe infine considerare anche alcune motivazioni trasversali. L'eccessiva focalizzazione sulla promozione del riuso e del riciclo può infatti avere come effetto la diminuzione da parte dei decisori e dell'opinione pubblica dell'attenzione alla gerarchia delle pratiche di trattamento dei rifiuti (Traven, 2019) e alle attività di prevenzione (Nessi, Rigamonti and Grosso, 2015; Ghisellini *et al.*, 2019). Inoltre, quando l'approccio adottato per la EC non è sufficientemente sistemico o a lungo termine e non contempla elementi di equità e giustizia, può fallire nel suo intento di migliorare la sostenibilità complessiva, che include anche le dimensioni economica e sociale (Calisto Friant, Vermeulen and Salomone, 2021). Per garantire quindi un miglioramento della sostenibilità ambientale complessiva nella filiera, le politiche di EC dovrebbero sempre verificare, in ottica LCT, l'assenza di eventuali spostamenti degli impatti ambientali a monte o a valle del processo considerato, l'assenza di effetti boomerang significativi, l'effetto di azioni comportamentali e trasversali dovuti al cittadino, alle istituzioni o alla gestione complessiva. Una possibile proposta di integrazione tra EC e sostenibilità ambientale, in ottica LCT, è dunque riassunta nella Figura 2.

Senza la valutazione di questi tre aspetti il rischio potrebbe essere quello di promuovere delle politiche che diminuiscono il consumo di materia, ma aumentano altri impatti ambientali, non consentendo così un approccio integrato che consideri nel loro complesso tutti i limiti planetari e le istanze di prevenzione e decrescita dei consumi di risorse (Evrard *et al.*, 2021; Hoehn *et al.*, 2021). In questo contesto assume particolare rilevanza anche la valutazione degli aspetti sociali per evitare effetti boomerang. Il ruolo delle ricadute sociali, del cambiamento dei comportamenti e degli stili di vita è tuttora oggetto di approfondimento (Niero *et al.*, 2021) e appare critico per migliorare la sostenibi-

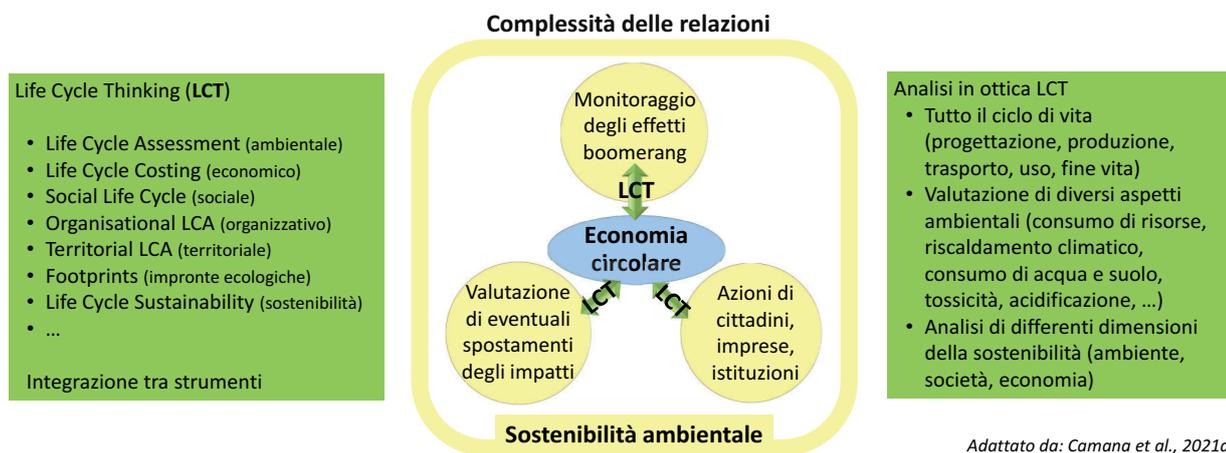


Figura 2 – Il LCT come strumento per la valutazione critica delle strategie di EC

lità sociale ed ambientale della EC (Leipold, Weldon and Hohl, 2021; Walker et al., 2021).

3.2. Il possibile contributo del LCT per l'economia circolare nel PNRR

Il recente piano nazionale di ripresa e resilienza (PNRR), all'interno della Missione 2, "Rivoluzione verde e transizione ecologica", contempla una

sezione dedicata all'"Economia circolare e agricoltura sostenibile" (IT, 2021). Accanto alle tre riforme proposte – strategia nazionale per l'EC, piano nazionale di gestione rifiuti e supporto tecnico alle autorità locali – vengono individuate otto linee di investimento. In Tabella 1, per ciascun investimento, vengono segnalati a titolo esemplificativo alcuni studi condotti a livello nazionale, europeo ed internazionale sulle tematiche, in ottica LCT.

Tabella 1 – Esempio di uso del LCT per valutare alcuni possibili spostamenti di impatti per gli investimenti di EC previsti dal PNRR italiano

Investimento EC nel PNRR	Selezione di alcuni studi nazionali ed internazionali in ottica LCT	Esempi di uso del LCT
1.1 Realizzazione e ammodernamento degli impianti di gestione rifiuti	Verifica, insieme ad altri strumenti (Zhou et al., 2011), degli impatti degli scenari di gestione dei rifiuti (Feo and Malvano, 2009), delle modifiche impiantistiche (Gehrmann, Hiebel and Simon, 2017), dei vantaggi della raccolta differenziata (De Feo et al., 2021).	LCA per impianti e sistemi di gestione
1.2 Progetti "faro" di economia circolare	Valutazione degli impatti del riuso e riciclo di tessili (Sandin and Peters, 2018), apparecchiature elettriche ed elettroniche (Rinaldi, Barbanera and Lascaro, 2014), plastiche (Cossu et al., 2017), carta e cartone (Vukoje and Rožić, 2018).	LCA per filiera di prodotto e rifiuto
2.1 Sviluppo logistica	Valutazione degli impatti nella pesca (Thrane, Nielsen and Christensen, 2009), o nel settore agroalimentare (Rinaldi, et al., 2014; Notarnicola et al., 2017).	LCA per settori produttivi
2.2 Parco Agrisolare	Applicabilità dei sistemi agrivoltaici (Leon and Ishihara, 2018) e dei sistemi di irrigazione ibridi (Todde et al., 2019).	LCA per nuove tecnologie
2.3 Innovazione nel settore agricolo ed alimentare	Promozione di progetti di decrescita in tutta la filiera agroalimentare (Hoehn et al., 2021) e definizione di politiche territoriali (Borghino et al., 2021).	LCA per il territorio
3.1 Isole verdi	Valutazione degli impatti tramite LCA della gestione idrica locale, degli impianti di desalinizzazione, delle fonti rinnovabili (Amores et al., 2013; Shahabi et al., 2014).	LCA per processi e fonti rinnovabili
3.2 Green communities	Necessità di identificare indicatori robusti per valutare oggettivamente i miglioramenti e le prestazioni di sostenibilità, anche integrandoli con i sistemi di gestione territoriali (Zhou et al., 2011; Mazzi et al., 2017). Possibilità di utilizzare l'Organisational LCA per valutare gli impatti di un territorio (Cremer et al., 2021).	LCA organizzativo e integrato con EMAS
3.3 Cultura e consapevolezza su temi e sfide ambientali	Promozione della modifica dei comportamenti personali che hanno maggior impatto ambientale (Kalbar et al., 2016; Clark and Tilman, 2017). Verifica dei comportamenti del consumatore nelle diverse fasi del ciclo di vita (Polizzi di Sorrentino, Woelbert and Sala, 2016).	Social LCA, valutazione della sostenibilità complessiva (life cycle sustainability)

Tabella 2 – Una proposta per il passaggio dall’Economia Circolare alla Sostenibilità tramite l’approccio LCT

Riferimento	Domanda relativa allo scenario di Economia Circolare proposto
EC	Lo scenario di EC prevede la riduzione dell’uso di risorse materiali per il prodotto/servizio oggetto dell’analisi? Lo scenario di EC prevede la riduzione dell’uso di risorse materiali anche per i prodotti/servizi ausiliari e connessi?
LCA	Lo scenario di EC genera un aumento degli impatti ambientali (consumi di energia per impianti e trasporti, tossicità di sostanze o rifiuti, consumo d’acqua o di suolo, acidificazione, eutrofizzazione, assottigliamento dello strato di ozono, rilascio di microplastiche o sostanze persistenti, odore, smog fotochimico, etc.) a monte o a valle del processo considerato? Tali impatti sono rilevanti?
LCT	Lo scenario di EC presenta effetti boomerang in campo sociale (ad esempio comportamento dei consumatori poco orientato alla prevenzione dei consumi) o economico (ad esempio necessità di incentivi troppo consistenti)?
Sostenibilità	Lo scenario di EC diminuisce complessivamente l’uso massiccio di risorse ed energia, l’impronta dell’uomo sull’ambiente nelle diverse matrici ambientali e nei diversi impatti, orienta una crescita sostenibile economicamente e socialmente all’interno dei molteplici confini planetari? Le migliorie complessive ottenibili giustificano lo sforzo profuso o altre strategie potrebbero essere più efficaci? Quali integrazioni alle strategie di EC sono necessarie per aumentare la sostenibilità?

La Tabella 1 non ha pretese di esaustività, ma costituisce solo una sintesi dei contenuti di alcuni studi e può essere approfondita ed integrata in future analisi, per ciascun investimento. L’obiettivo del presente studio è infatti definire un quadro all’interno del quale utilizzare l’approccio LCT. La valutazione del ciclo di vita sarebbe dunque in grado di suggerire punti di debolezza ed opportunità nei diversi investimenti per evitare spostamenti di impatti, rebound effect, o criticità trasversali, così come la stessa Unione Europea suggerisce per il raggiungimento degli obiettivi ambientali finanziabili (artt. 16 e 17 del Regolamento UE 852/2020). Tale area di ricerca può dunque essere particolarmente promettente dal punto di vista teorico e pratico. In Tabella 2 vengono riportate alcune domande progressive che possono esemplificare il metodo proposto.

Tale approccio è generalizzabile a diversa scala: lo scenario di EC può infatti comprendere politiche territoriali complesse, ma anche strategie di filiera, scelte industriali, o modifiche impiantistiche, di processo, di prodotto o di rifiuto. Verificare le reali aree di intersezione tra EC e sostenibilità, con questo approccio e senza preconcetti, è quindi proponibile ed auspicabile per tutti i livelli di azione.

4. LA COMUNICAZIONE TRASPARENTE DEI RISULTATI NEGLI STUDI COMPARATIVI

Per poter integrare efficacemente le rigorose e complesse valutazioni di LCT all’interno delle politiche di EC è essenziale, inoltre, trovare delle forme di semplificazione sia degli studi di LCT sia della comunicazione dei risultati, senza perdere al contempo l’affidabilità scientifica del metodo. La comuni-

cazione scientifica chiara dei risultati tecnici riveste ad oggi sempre più importanza al fine di avvicinare la percezione soggettiva del cittadino o del decisore ai dati scientifici oggettivi (Otto *et al.*, 2021).

Ciò può essere ottenuto semplificando i risultati in uno, due o tre aspetti rilevanti – ad esempio circolarità, riscaldamento globale, ecotossicità. A livello di immediatezza comunicativa la cernita di alcuni impatti significativi è sicuramente vincente – e forse risiede anche qui la fortuna degli indicatori di circolarità e della carbon footprint (Prieto-Sandoval, Jaca and Ormazabal, 2018; Wu *et al.*, 2021) –, ma non consente di visualizzare in modo complessivo gli effetti sull’interno ecosistema, e quindi rischia di essere fuorviante se l’obiettivo è individuare con senso critico lo scenario più sostenibile, lo spostamento degli impatti, gli effetti boomerang e gli effetti trasversali.

La visualizzazione dei risultati tramite dashboard (Scipioni *et al.*, 2009; Traverso *et al.*, 2012) o strumenti analoghi potrebbe essere maggiormente incisiva per visualizzare la complessità degli aspetti coinvolti nelle decisioni strategiche ambientali.

Le Figura 3 presenta diversi metodi di comunicazione degli stessi risultati di uno studio di LCA. Il caso studio oggetto dell’analisi (Camana, 2004) compara tre scenari di gestione dell’indifferenziato dei rifiuti urbani, tramite discarica, termovalorizzazione o combustibile da rifiuto (CDR), senza computare il vantaggio ambientale del recupero energetico. Analoghe rappresentazioni potrebbero essere sviluppate per la comparazione di prodotti, processi, tecnologie e territori in ottica LCT.

Solitamente negli studi di LCA i risultati vengono restituiti con grafici a colonne che visualizzano tutti gli impatti ambientali nei diversi scenari considerati (Figura 3a).

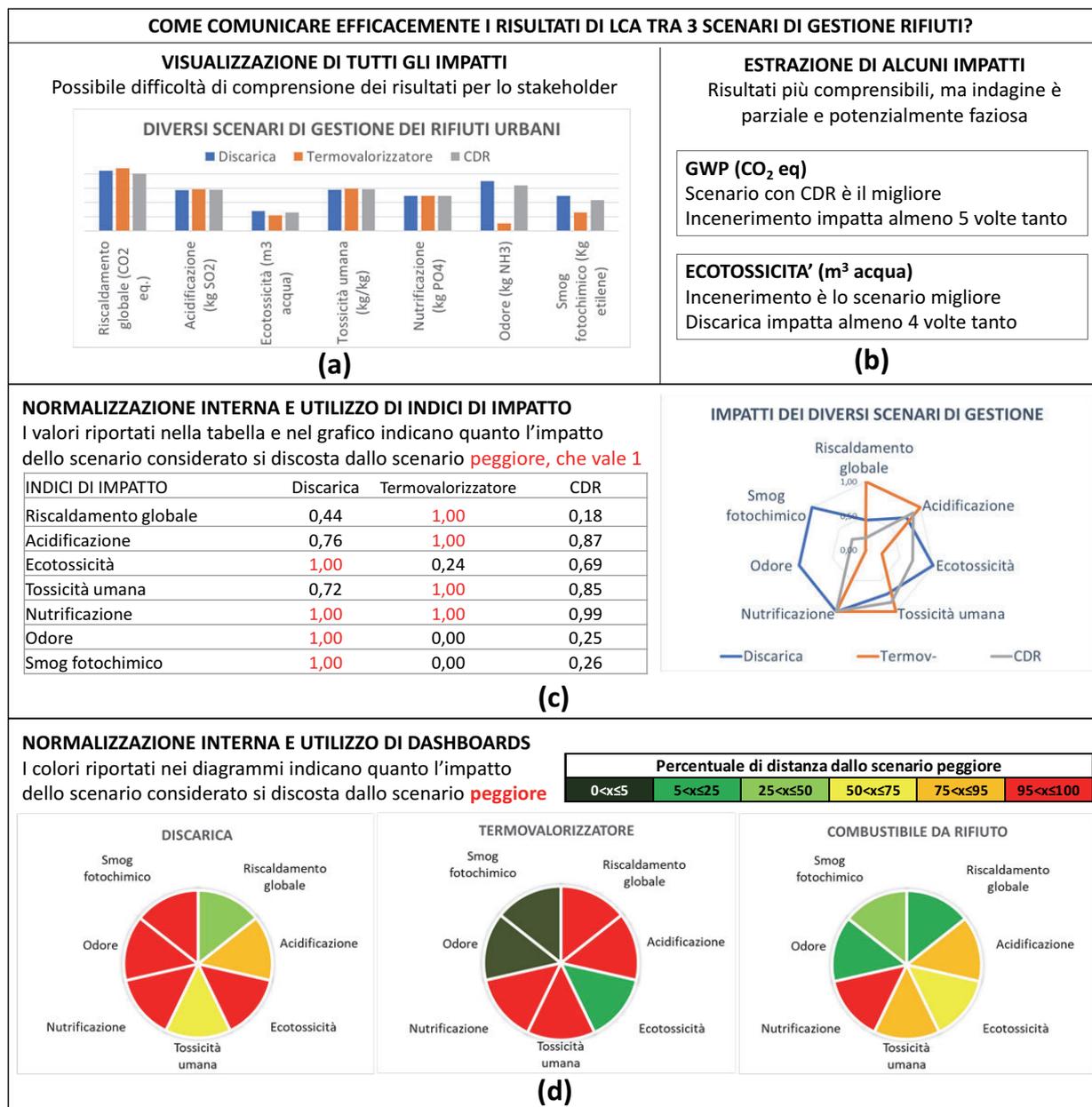


Figura 3 – Possibili strategie alternative per la comunicazione dei risultati degli studi di LCA

È altresì possibile estrarre solo alcuni impatti ambientali (Figura 3b); questa soluzione è di immediata comprensibilità e consente di focalizzarsi sugli aspetti ritenuti più rilevanti (ad esempio il cambiamento climatico, istanza particolarmente urgente) ma non fotografa la complessità dell'analisi. Un'altra opzione può essere quella di normalizzare i risultati in funzione dello scenario peggiore (Figura 3c); per ogni impatto, allo scenario peggiore si attribuisce il valore 1, e gli altri vengono proporzionalmente scalati, dividendo il valore dell'impatto per l'impatto nello scenario peggiore. I dati ottenuti possono essere restituiti in tabelle o grafici. Un ulteriore metodo di comunicazione prevede l'uso delle dashboards (Figura 3d). Anche in questo caso

i valori sono normalizzati allo scenario peggiore (valutato 100%), mentre gli altri sono scalati in percentuale. Viene successivamente costruito un cruscotto, in forma di cerchio, nel quale negli spicchi sono riportati gli impatti colorati (verde, giallo, arancione, in diverse sfumature) in funzione del loro rapporto (impatto considerato/impatto peggiore) con lo scenario peggiore (evidenziato in rosso). Queste rappresentazioni (Figura 3 a, c, d) che contemplano diversi impatti ambientali consentono di monitorare visivamente gli eventuali spostamenti di aspetti critici da uno scenario all'altro. L'indicatore di circolarità o di linearità (Rufi-Salís *et al.*, 2021), e altri indicatori economici, sociali, o di sostenibilità possono essere analogamente integrati

nei grafici, consentendo una visione più completa (e non solo ambientale) in ottica LCT.

Il modo di comunicare i risultati scientifici, anche in materia di EC, non è pertanto neutro. È molto diffusa la scelta di selezionare solo alcuni aspetti per comunicarli al pubblico, ad esempio la circolarità dei processi o il riscaldamento climatico; questa selezione di aspetti è spesso dettata dalla volontà di semplificazione o dall'esigenza di illustrare le istanze più urgenti o maggiormente percepite dagli stakeholders. Tale scelta tuttavia può essere, consapevolmente o inconsapevolmente, parziale e fuorviante in quanto non considera la multifattorialità degli aspetti ambientali e di sostenibilità coinvolti nel ciclo di vita. Di conseguenza, le diverse tecniche di comunicazione possono indirizzare in modo differente le decisioni strategiche di interlocutori non esperti.

5. CONCLUSIONI

La sostenibilità ambientale e complessiva delle strategie circolari necessita di essere obiettivamente monitorata tramite indicatori affidabili. Il presente lavoro illustra come un approccio di life cycle thinking possa contribuire a valutare i possibili spostamenti di impatti tra diverse fasi del ciclo di vita, monitorare gli effetti boomerang e intercettare le ricadute sociali, organizzative, territoriali, e di filiera. Ciò può essere valido sia per i progetti locali, sia per gli investimenti contenuti nel recente piano nazionale di ripresa e resilienza italiano. Lo studio evidenzia inoltre come gli strumenti di comunicazione dei risultati basati su un'osservazione complessiva degli aspetti di sostenibilità consentano un approccio più trasparente ed onnicomprensivo, rispetto alla riduzione a un numero limitato di aspetti. Per aumentarne l'efficacia dei progetti di economia circolare, l'analisi delle possibili debolezze andrebbe approfondita, sia a livello teorico sia applicativo. A questo scopo, ulteriori metodologie di analisi, che contemplino anche le ricadute comportamentali del singolo e delle reti, potrebbero essere integrate. Strategie di comunicazione chiare e multi-settoriali andrebbero inoltre promosse e approfondite. Tali progressi sono auspicabili non solo per la comunità scientifica, ma anche per i decisori, le aziende, le parti sociali e i singoli cittadini. In un contesto di limiti planetari e di risorse scarse per gli esseri viventi il ruolo di una valutazione scientifica in ottica di ciclo di vita, indipendente da interessi pubblici o privati, nonché di una comunicazione efficace e trasparente, sono infatti tecnicamente ed eticamente fondamentali per una crescita – o decrescita – davvero sostenibili.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Alleanza economia circolare, 2021. Quaderno. I Misurare la circolarità: coniugare approcci globali, nazionali e aziendali. Disponibile su: <https://www.alleanzaeconomicacircolare.it/#documenti>
- Amores M.J. et al. (2013) 'Environmental assessment of urban water cycle on Mediterranean conditions by LCA approach', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 43, pp. 84-92.
- Avesani M. (2020) *Sustainability, sustainable development, and business sustainability, Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making*. Elsevier Inc
- Bonoli A., Zanni S. and Serrano-Bernardo F. (2021) 'Sustainability in building and construction within the framework of circular cities and european new green deal. The contribution of concrete recycling', *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), pp. 1-16.
- Borghino N. et al. (2021) 'Contribution of LCA to decision making: A scenario analysis in territorial agricultural production systems', *Journal of Environmental Management*, 287(February).
- Calisto Friant M., Vermeulen W.J.V. and Salomone R. (2021) 'Analysing European Union circular economy policies: words versus actions', *Sustainable Production and Consumption*. Elsevier B.V., 27, pp. 337-353.
- Camana D. (2004). 'Assessing the environmental sustainability of thermal treatment options in integrated municipal solid waste management: the case of Treviso Province'. Università degli Studi di Padova. Anno accademico 2002/2003. Tesi di laurea in Ingegneria Chimica.
- Camana D. et al. (2021a) 'Assessing environmental sustainability of local waste management policies in Italy from a circular economy perspective: an overview of existing tools', *Sustainable Production and Consumption*. Elsevier B.V., 27, pp. 613-629.
- Camana D. et al. (2021b) 'Life cycle assessment applied to waste management in Italy: A mini-review of characteristics and methodological perspectives for local assessment', *Waste Management and Research*.
- Castellani V., Sala S. and Mirabella N. (2015) 'Beyond the Throwaway Society: A Life Cycle-Based Assessment of the Environmental Benefit of Reuse', *Integrated Environmental Assessment and Management*. [Castellani, Valentina Mirabella, Nadia] Univ Milano Bicocca, Res Unit Sustainable Dev GRIS, Dept Earth & Environm Sci, Milan, Italy. [Sala, Serenella] Commiss European Communities, Joint Res Ctr, I-21020 Ispra, Italy. Castellani, V (reprint author), Uni, 11(3), pp. 373-382.
- Clark M. and Tilman D. (2017) 'Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice', *Environmental Research Letters*, 12(6).
- COMM EU, 2018. Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni relativa al quadro di monitoraggio per l'economia circolare. Strasburgo, 16.1.2018 COM (2018) 29.
- Cossu R. Garbo F. Giroto F. Simion F. Pivato A. (2017) 'PLA-SMIX management: LCA of six possible scenarios', *Waste Management*. 69, pp. 567-576.
- Cottafava D. et al. (2021) 'Assessment of the environmental break-even point for deposit return systems through an LCA analysis of single-use and reusable cups', *Sustainable Production and Consumption*. Elsevier B.V., 27, pp. 228-241.
- Cremer A. et al. (2021) 'The first city organizational LCA case study: Feasibility and lessons learned from vienna', *Sustainability (Switzerland)*, 13(9), pp. 1-15.
- Ekvall T. et al. (2016) 'Attributional and consequential LCA in the ILCD handbook', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(3), pp. 293-296.

- Evrard D. *et al.* (2021) 'Designing immortal products: A lifecycle scenario-based approach', *Sustainability (Switzerland)*, 13(6).
- De Feo G. *et al.* (2016) 'LCA of the collection, transportation, treatment and disposal of source separated municipal waste: A Southern Italy case study', *Sustainability (Switzerland)*. Department of Industrial Engineering (DIIN), University of Salerno, Via Giovanni Paolo II 132, Fisciano (Sa), 84084, Italy: MDPI AG, 8(11).
- De Feo G. *et al.* (2021) 'A procedure to assess the environmental, social and economic benefits wasted in the paper and cardboard fraction of the unsorted residual waste', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 296, p. 126566.
- Ellen MacArthur Foundation (2015). Growth within: a Circular Economy Vision for a Competitive Europe. Ellen MacArthur Found. Disponibile su: <https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/2016-11-28-assessment-prof-guenther-schulze-of-report-growth-within-a-circular-economy-vision-for-a-competitive-europe.pdf>
- El Wali M., Golroudbary S.R. and Kraslawski A. (2021) 'Circular economy for phosphorus supply chain and its impact on social sustainable development goals', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 777, p. 146060.
- European Union (2020). Circular Economy Action Plan. For a cleaner and a more competitive Europe. Disponibile su: https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm
- Feo G. De and Malvano C. (2009) 'The use of LCA in selecting the best MSW management system', *Waste Management*. Elsevier Ltd, 29(6), pp. 1901-1915.
- Gehrmann H.J., Hiebel M. and Simon F.G. (2017) 'Methods for the Evaluation of Waste Treatment Processes', *Journal of Engineering (United Kingdom)*, 2017.
- Ghisellini P. *et al.* (2019) 'Circular patterns of waste prevention and recovery', in Tartaglia A.C.M. (ed.) *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences.
- Grosso M., Niero M. and Rigamonti L. (2017) 'Circular economy, permanent materials and limitations to recycling: Where do we stand and what is the way forward?', *Waste Management and Research*. AWARE (Assessment on WASTE and REsources) Research Group, Politecnico di Milano, Milan, Italy: SAGE Publications Ltd, 35(8), pp. 793-794.
- Guinée J. B. *et al.* (2011) 'Life cycle assessment: Past, present, and future', *Environmental Science and Technology*, 45(1), pp. 90-96.
- Harris S., Martin M. and Diener D. (2021) 'Circularity for circularity's sake? Scoping review of assessment methods for environmental performance in the circular economy.', *Sustainable Production and Consumption*. Elsevier B.V., 26, pp. 172-186.
- Hoehn D. *et al.* (2021) 'Introducing a degrowth approach to the circular economy policies of food production, and food loss and waste management: Towards a circular bioeconomy', *Sustainability (Switzerland)*, 13(6).
- Hofmann F. (2019) 'Circular business models: Business approach as driver or obstructer of sustainability transitions?', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 224, pp. 361-374.
- Huertas-Valdivia I. *et al.* (2020) 'Social life-cycle assessment: A review by bibliometric analysis', *Sustainability (Switzerland)*, 12(15), pp. 1-25.
- ICESP, 2020. Strumenti per la misurazione dell'economia circolare. Report 2020. Disponibile su: <https://www.icesp.it/GdL/3>
- ISO 14040 (2006) Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principle and guidelines. International Organization for Standardization ISO, Geneva, p2006.
- ISO 14044 (2018a) Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines. International Organization for Standardization ISO, Geneva, p2018.
- ISO 14067 (2018b) Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification. International Organization for Standardization ISO, Geneva, p2018.
- ISO/TS 14072 (2014) Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines for organizational life cycle assessment International Organization for Standardization ISO, Geneva, p2014.
- IT, 2021. Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza "Next Generation Italia". Italia. Testo presentato al Senato della Repubblica Italiana (IT) il 25.04.2021. Disponibile su: <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>
- Kalbar P.P. *et al.* (2016) 'Personal Metabolism (PM) coupled with Life Cycle Assessment (LCA) model: Danish Case Study', *Environment International*. Elsevier Ltd, 91, pp. 168-179.
- Kargbo H., Harris J.S. and Phan A.N. (2021) "'Drop-in" fuel production from biomass: Critical review on techno-economic feasibility and sustainability', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135.
- Leipold S., Weldner K. and Hohl M. (2021) 'Do we need a "circular society"? Competing narratives of the circular economy in the French food sector', *Ecological Economics*. Elsevier B.V., 187, p. 107086.
- Leon A. and Ishihara K.N. (2018) 'Assessment of new functional units for agrivoltaic systems', *Journal of Environmental Management*. Elsevier, 226(August), pp. 493-498.
- Li M. *et al.* (2021) 'The role of planetary boundaries in assessing absolute environmental sustainability across scales', *Environment International*, 152.
- Loiseau, Eleonore Roux, Philippe (2018) 'Territorial Life Cycle Assessment (LCA): What exactly is it about? A proposal towards using a common terminology and a research agenda', *Journal of Cleaner Production*. 176, pp. 474-485.
- van Loon P., Diener D. and Harris S. (2021) 'Circular products and business models and environmental impact reductions: Current knowledge and knowledge gaps', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 288, p. 125627.
- Mahmoudi S. *et al.* (2019) 'End-of-life photovoltaic modules: A systematic quantitative literature review', *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier, 146(October 2018), pp. 1-16.
- Mazzi A. *et al.* (2017) 'The combination of an Environmental Management System and Life Cycle Assessment at the territorial level', *Environmental Impact Assessment Review*, 63, pp. 59-71.
- Mazzi A. (2020) 'Introduction. Life cycle thinking', *Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making*, pp. 1-19.
- Mensah J. (2019) 'Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review', *Cogent Social Sciences*. Cogent, 5(1).
- Merli R., Preziosi M. and Acampora A. (2018) 'How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 178, pp. 703-722.
- Moraga G. *et al.* (2019) 'Circular economy indicators: What do they measure?', *Resources, Conservation and Recycling*, 146, pp. 452-461.
- Mori K. and Christodoulou A. (2012) 'Review of sustainability indices and indicators: Towards a new City Sustainability Index (CSI)', *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier Inc., 32(1), pp. 94-106.
- Nessi S., Rigamonti L. and Grosso M. (2015) 'Packaging waste prevention activities: A life cycle assessment of the effects on a regional waste management system', *Waste Management and Research*. Department of Civil and Environmental Engineering, Environmental Section, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, Milano, 20133, Italy: SAGE Publications Ltd, 33(9), pp. 833-849.
- Niero M. *et al.* (2021) 'Is life cycle assessment enough to address unintended side effects from Circular Economy initiatives?', *Journal of Industrial Ecology*.
- Niero M. and Rivera X.C.S. (2018) 'The Role of Life Cycle Sustainability Assessment in the Implementation of Circular

- Economy Principles in Organizations', *Procedia CIRP*. The Author(s), 69(May), pp. 793-798.
- Notarnicola B. *et al.* (2017) 'The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges', *Journal of Cleaner Production*, 140, pp. 399-409.
- Nuss P. and Blengini G.A. (2018) 'Towards better monitoring of technology critical elements in Europe: Coupling of natural and anthropogenic cycles', *Science of the Total Environment*. European Commission, Joint Research Centre (JRC), Directorate D – Sustainable Resources, Ispra, 21027, Italy: Elsevier B.V., 613-614, pp. 569-578
- de Oliveira C.T., Dantas T.E.T. and Soares S.R. (2021) 'Nano and micro level circular economy indicators: Assisting decision-makers in circularity assessments', *Sustainable Production and Consumption*. Elsevier B.V., 26, pp. 455-468.
- Otto S. *et al.* (2021) 'Food packaging and sustainability – Consumer perception vs. correlated scientific facts: A review', *Journal of Cleaner Production*, 298.
- Peña C. *et al.* (2021) 'Using life cycle assessment to achieve a circular economy', *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(2), pp. 215-220.
- Polizzi di Sorrentino E., Woelbert E. and Sala S. (2016) 'Consumers and their behavior: state of the art in behavioral science supporting use phase modeling in LCA and ecodesign', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(2), pp. 237-251.
- Prieto-Sandoval V., Jaca C. and Ormazabal M. (2018) 'Towards a consensus on the circular economy', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 179, pp. 605-615.
- Ramos Huarachi D.A. *et al.* (2020) 'Past and future of Social Life Cycle Assessment: Historical evolution and research trends', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 264, p. 121506.
- Rinaldi S., Barbanera M. and Lascaro E. (2014) 'Assessment of carbon footprint and energy performance of the extra virgin olive oil chain in Umbria, Italy', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 482-483(1), pp. 71-79.
- Roostaie S., Nawari N. and Kibert C.J. (2019) 'Sustainability and resilience: A review of definitions, relationships, and their integration into a combined building assessment framework', *Building and Environment*. Elsevier, 154(November 2018), pp. 132-144.
- Ruffi-Salis M. *et al.* (2021) 'Combining LCA and circularity assessments in complex production systems: the case of urban agriculture', *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B.V., 166(December 2020), p. 105359.
- Saidani M. *et al.* (2019) 'A taxonomy of circular economy indicators', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 207, pp. 542-559.
- Sala S. *et al.* (2016) *Life cycle assessment for the impact assessment of policies. Life thinking and assessment in the European policies and for evaluating policy options*, Joint Research Centre.
- Sandin G. and Peters G.M. (2018) 'Environmental impact of textile reuse and recycling – A review', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 184, pp. 353-365.
- Shahabi M.P. *et al.* (2014) 'Environmental life cycle assessment of seawater reverse osmosis desalination plant powered by renewable energy', *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 67, pp. 53-58.
- Thrane M., Nielsen E.H. and Christensen P. (2009) 'Cleaner production in Danish fish processing – experiences, status and possible future strategies', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 17(3), pp. 380-390.
- Todde G. *et al.* (2019) 'Energy and environmental performances of hybrid photovoltaic irrigation systems in Mediterranean intensive and super-intensive olive orchards', *Science of the Total Environment*. The Authors, 651, pp. 2514-2523.
- Toniolo S. *et al.* (2020) *Life cycle thinking tools: Life cycle assessment, life cycle costing and social life cycle assessment*, *Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making*. Elsevier Inc.
- Traven L. (2019) 'Circular economy and the waste management hierarchy: Friends or foes of sustainable economic growth? A critical appraisal illustrated by the case of the Republic of Croatia', *Waste Management and Research*, 37(1), pp. 1-2.
- Troullaki K., Rozakis S. and Kostakis V. (2021) 'Bridging barriers in sustainability research: A review from sustainability science to life cycle sustainability assessment', *Ecological Economics*. Elsevier B.V., 184(December 2020), p. 107007.
- UE, 2020. Regolamento (UE) 2020/852 del Parlamento europeo e del Consiglio del 18 giugno 2020 relativo all'istituzione di un quadro che favorisce gli investimenti sostenibili e recante modifica del regolamento (UE) 2019/2088
- UN General Assembly. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015: Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations, 2015
- Visentin C. *et al.* (2020) 'Life cycle sustainability assessment: A systematic literature review through the application perspective, indicators, and methodologies', *Journal of Cleaner Production*, 270.
- Vivanco D.F., Sala S. and McDowall W. (2018) 'Roadmap to rebound: How to address rebound effects from resource efficiency policy', *Sustainability (Switzerland)*. MDPI AG, 10(6).
- Vukoje M. and Rožić M. (2018) 'Various valorisation routes of paper intended for recycling – A review', *Cellulose Chemistry and Technology*, 52(7-8), pp. 515-541.
- Walker A.M. *et al.* (2021) 'Assessing the social sustainability of circular economy practices: Industry perspectives from Italy and the Netherlands', *Sustainable Production and Consumption*, 27, pp. 831-844.
- WCED (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Our Common Future. Oxford University Press, Oxford. Disponibile su: <https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/wced>
- Weidema B.P. *et al.* (2018) 'Attributional or consequential Life Cycle Assessment: A matter of social responsibility', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 174, pp. 305-314.
- Wu L. *et al.* (2021) 'A planetary boundary-based environmental footprint family: From impacts to boundaries', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 785, p. 147383.
- Wulf C. *et al.* (2018) 'Sustainable Development Goals as a Guideline for Indicator Selection in Life Cycle Sustainability Assessment', *Procedia CIRP*. The Author(s), 69(May), pp. 59-65.
- Yang Z. *et al.* (2020) 'Greenwashing behaviours: Causes, taxonomy and consequences based on a systematic literature review', *Journal of Business Economics and Management*, 21(5), pp. 1486-1507.
- Zamagni A., Pesonen H.L. and Swarr T. (2013) 'From LCA to Life Cycle Sustainability Assessment: Concept, practice and future directions', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(9), pp. 1637-1641.
- Zhou C. *et al.* (2011) 'Indicators for evaluating sustainable communities: A review', *Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica*, 31(16), pp. 4750-4759.

NOTE

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.

