

# ECONOMIA CIRCOLARE, GESTIONE DEI RIFIUTI E LIFE CYCLE THINKING: FONDAMENTI, INTERPRETAZIONI E ANALISI DELLO STATO DELL'ARTE

Serena Giorgi<sup>1,\*</sup>, Monica Lavagna<sup>1</sup>, Andrea Campioli<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politecnico di Milano, Dipartimento ABC, Milano.

**Sommario** – L'articolo riporta i risultati di un'analisi dello stato dell'arte sul tema dell'economia circolare con l'intento di restituirne i fondamenti teorici, le interpretazioni e le politiche, nonché di verificare il ruolo che nelle ricerche condotte in questo ambito rivestono gli strumenti di valutazione *life cycle*. Dopo una prima indagine sulle diverse teorie relative alla relazione tra sfera ambientale ed economica, sull'origine del modello economico circolare e, dopo un'analisi del quadro politico e normativo europeo, vengono riportati i risultati emersi da una lettura critica e puntuale di un campione di 50 articoli scientifici, selezionati tra quelli pubblicati tra il 2010 e il 2017, riconducibili al termine *circular economy*. Attraverso la lettura sono state rilevate diverse interpretazioni e strategie legate al tema dell'economia circolare; inoltre sono state evidenziate le principali leve di azione per l'introduzione del modello economico circolare (riduzione dei costi / riduzione degli impatti ambientali, gestione dei rifiuti / scarsità di risorse). In particolare dall'analisi è risultato un ruolo ancora limitato degli strumenti *life cycle* nella verifica dei benefici perseguibili con l'attivazione dei processi di economia circolare. Infine, sono state evidenziate le strategie di circolarità maggiormente praticate (tra riuso, riciclo e recupero energetico), le fasi del ciclo di vita del prodotto/servizio dalle quali proviene prevalentemente il rifiuto recuperato e i settori di origine dei rifiuti e di destinazione del riciclo.

**Parole chiave:** LCA – Life Cycle Assessment, economia circolare, riciclaggio, ciclo di vita, efficienza delle risorse.

## CIRCULAR ECONOMY, WASTE MANAGEMENT AND LIFE CYCLE THINKING

**Abstract** – This paper shows a state of the art analysis about the concept of circular economy. It concerns the theoretical issues, interpretations, policies and the application level of life cycle assessment tools within the circular economy actions. At first, the relationship between environmental sphere and economics sphere is considered. Then the introduction of circular economy into policy framework is investigated and the European regulations are critically analyzed. Moreover the paper proposes a critical analysis sampled in 50 scientific papers, published between 2010 and 2017, which contains the circular economy term into their title. Through this analysis, the main levers of the circular economy actions are highlighted (cost reduction / environmental impacts reduction, waste management / resource scarcity). Then a limited role of life cycle tools in the assessment of circular economy processes is also shown. Furthermore, the

most diffused circular strategies (including reuse, recycling and energy recovery) is identified. Finally, the origin of the waste among the product/service life cycle stages is analyzed and the main producing and recycling waste industrial sectors are shown.

**Keywords:** LCA – Life Cycle Assessment, circular economy, recycling, life cycle, resource efficiency.

Ricevuto il 3-4-2017. Correzioni richieste il 11-5-2017. Accettazione il 29-6-2017.

## 1. INTRODUZIONE

La sfera economica e la sfera ambientale da sempre sono collegate in una profonda relazione influenzandosi reciprocamente: il sistema economico, rappresentato dalle attività antropiche, richiede l'utilizzo di risorse naturali. L'equilibrio tra le due sfere ha cominciato ad essere compromesso dopo il cambiamento dei processi produttivi, dovuto all'industrializzazione, che ha introdotto un modello di crescita economica incentrata sul consumo quantitativo di beni e ancora oggi alla base dell'economia. Tale impostazione comporta che la sfera economica pesi, sempre di più, su quella ambientale, sfruttando le risorse naturali, alterando il clima e, conseguentemente, minacciando gli ecosistemi (esternalità negative ambientali).

All'interno dell'obiettivo complessivo della ricerca di restituire un quadro conoscitivo completo sulla definizione del tema dell'economia circolare, attualmente alla base di molte iniziative politiche e commerciali, sono stati innanzitutto studiati i fondamenti teorici che trattano il rapporto tra economia e ambiente dall'origine del pensiero ambientalista ed è stato analizzato come attualmente il modello circolare viene inteso e applicato in ambito politico e come viene promosso all'interno delle azioni politiche.

### 1.1. Il rapporto tra economia e ambiente: il quadro teorico

In letteratura lo studio della relazione tra economia e ambiente viene espressa da due principali scuole di pensiero: l'economia ambientale (*environmental economics*) e l'economia ecologica (*ecolo-*

\* Per contatti: Via Giuseppe Ponzio 31, 20133 Milano. Tel. 02.23995134. E-mail: serena.giorgi@polimi.it.

gical economics). Entrambe le correnti di pensiero mirano ad affrontare le questioni legate alla relazione tra uomo-economia-ambiente al fine di reindirizzare l'economia verso la sostenibilità (Venkatchalam, 2007) ma presentano caratteri distintivi. Le teorie dell'economia ambientale sono formulate e sostenute da economisti, mentre quelle dell'economia ecologica da ecologisti.

L'economia ambientale, citata dalla National Bureau of Economic Research, tratta la *win-win solution* ovvero la combinazione tra crescita economica e uso sostenibile delle risorse (Loiseau et al., 2016). Chiamata anche "ipotesi di Porter", afferma che il capitale tecnico e il capitale naturale possano essere sostituibili e che non sia necessario alcun cambio completo dell'attuale sistema economico; mira alla ricerca e allo sviluppo di nuove tecnologie per soddisfare le crescenti necessità umane, cercando la soluzione al limite delle risorse naturali; vede le esternalità ambientali come fallimenti del mercato; cerca di risolvere tali esternalità attraverso regimi fiscali e normativi che applicano sanzioni o imposte sulla soglia di inquinamento e permessi di emissione negoziabili. Si può affermare, quindi, che l'economia ambientale tende verso la cosiddetta "sostenibilità debole" ammettendo la sostituibilità delle risorse naturali con avanzate tecnologie alternative (Tiezzi et al., 1999). Nella stessa corrente, si trova la teoria del "capitalismo naturale", emersa negli anni '90, che senza modificare meccanismi dell'economia neoclassica, mira a risparmiare energia e materia attraverso l'efficienza e la disincentivazione dello spreco. Si tratta di una teoria collegata anche alle correnti di pensiero riprese da Paul Hawken, Amory Lovins e L. Hunter Lovins nel 1999. Gli stessi autori sottolineano che il capitalismo tradizionale trascura il valore monetario dei servizi ecosistemici mentre il capitalismo naturale li contabilizza, puntando a fare durare più a lungo le risorse naturali grazie ad un cambiamento progettuale e tecnologico mirato all'efficienza energetica. I concetti sono legati anche all'eliminazione del rifiuto, modellando un sistema di produzione a ciclo chiuso. Quest'ultimo principio è stato divulgato da Walter Stahel (1976), sostenitore, inoltre, della teoria sull'allungamento della vita dei prodotti, della vendita di servizi anziché di prodotti, del riutilizzo, riparazione, rigenerazione attraverso l'innovazione tecnologica.

L'economia ecologica, invece, studia l'economia come un sottocampo dell'ecosistema e, mirando innanzitutto alla tutela del capitale naturale, si concentra più esplicitamente sulla sostenibilità ambientale a lungo termine. Rifiuta la proposta che il capi-

tale naturale possa essere sostituito dal capitale tecnico: essi sono complementari, ma non intercambiabili. Tratta come tema centrale la capacità di carico della Terra; secondo questo punto di vista, tenta di trovare soluzioni per mantenere l'attività umana all'interno di uno spazio operativo di sicurezza, chiudendo il ciclo della materia e rispettando le soglie critiche di stock delle risorse del pianeta. L'economia ecologica propone anche una chiara distinzione tra crescita (aumento quantitativo della produzione economica) e sviluppo (miglioramento qualitativo della vita), accusando l'economia neoclassica e l'economia ambientale di confondere le due immagini. Le prospettive dell'economia ecologica, dunque, richiedono cambiamenti strutturali della società attuale e modifiche sostanziali del nostro modo di vivere. Essa punta infatti alla cosiddetta "sostenibilità forte", che mira al mantenimento dello stock di risorse del pianeta (Tiezzi, 1999). L'attenzione al rispetto dei limiti delle risorse del pianeta, alla riduzione dei danni causati al capitale naturale e alla sua capacità di generare servizi ecosistemici, viene espressa in letteratura verso la metà degli anni Sessanta del secolo scorso. Fondamentale è la teoria dell'economista ecologico Kennet Boulding (1966), il quale, diffonde l'immagine dell'economia dei cowboy, fondata sulla rapina e il saccheggio delle risorse naturali, in contrapposizione all'immagine dell'economia del cosmonauta, costretto a sopravvivere in una nave spaziale con riserve limitate e a misurarsi con le scorte di cibo, ossigeno e acqua a sua disposizione. Negli anni Settanta anche Georgescu-Roegen (1971), collegandosi al secondo principio della termodinamica, sostiene che l'uomo deve imparare a razionare le scarse risorse ed evidenzia che il processo entropico di dispersione dell'energia vale anche per la materia, che tende a subire, quando utilizzata dall'uomo, un'irreversibile degradazione da forme disponibili a forme non disponibili. Nel 1997 Herman Daly afferma la necessità di ottenere un equilibrio con la natura, che egli chiama "stato stazionario", ed enuncia che i consumi e le emissioni causati dalle attività umane devono rimanere entro la capacità di rigenerazione e assorbimento dell'ecosistema (Daly, 1977). E ancora, Robert Costanza (1997) sottolinea la necessità di definire modelli sostenibili di sviluppo economico, distinti dalla crescita economica che non è sostenibile in un pianeta finito. Restando nell'ottica dell'economia ecologica si trovano correnti di pensiero ancora più radicali, come la teoria della "decrecita" di Serge Latouche (2007) che punta alla riduzione controllata e selettiva della produzione eco-

nomica e dei consumi per ristabilire l'equilibrio tra capitale naturale e carico antropico.

## 1.2. Il rapporto tra economia e ambiente: il quadro politico

Il dibattito su quale modello proporre per la sostenibilità risulta ancora aperto.

Fino alla seconda metà del Novecento la società si è basata su un modello economico di tipo "lineare" in cui il ciclo di vita dei materiali parte dall'estrazione delle materie prime, prosegue con la trasformazione/produzione, seguito dal consumo, per poi concludersi con lo smaltimento degli scarti e dei prodotti stessi diventati rifiuti (modello *Take-make-use-dispose*). Tale linearità non può essere sostenibile in un mondo di risorse limitate e di crescita esponenziale della popolazione per cui sono stati sviluppati i temi della circolarità, rintracciabili in alcuni testi teorici degli anni Settanta, tra cui gli scritti di Barry Commoner (1971).

Le dinamiche dell'economia lineare vengono messe in discussione a livello politico in particolar modo nel 1987 quando il WCED (World Commission on Environment and Development) con il rapporto Brundtland (*Our Common Future*) definisce l'obiettivo di uno "sviluppo sostenibile" che "soddisfa le necessità delle attuali generazioni senza compromettere la capacità delle future generazioni di soddisfare le proprie"; ne deriva quindi un obiettivo di benessere della società (anche economico) unito alla salvaguardia dell'ambiente.

L'UNEP (2011) (United Nations Environment Programme) individua l'uso delle risorse come uno dei più importanti *link* tra le attività economiche e l'ambiente e adotta i concetti di *resource decoupling*, trattato per la prima volta dall'OECD nel 2001, e di *impact decoupling*, che evidenziano come l'aumento del PIL e il benessere dell'umanità debbano disaccoppiarsi dal consumo delle risorse primarie e dagli impatti ambientali, sottolineando la necessità di raggiungere un nuovo modello economico che possa soddisfare la crescita economica e il benessere degli uomini, ma che allo stesso tempo salvaguardi l'ambiente.

Il tema viene ripreso, con nuovo vigore, alla conferenza Rio+20 (2012), il cui programma centrale è il modello di sviluppo economico della *green economy* (termine coniato per la prima volta nel 1989 da Pearce et al. con il libro *Blueprint for a Green Economy*).

La *green economy* è assunta dalle organizzazioni internazionali come The World Bank e UNEP (Loi-

seau et al., 2016) come riferimento per orientare le azioni nell'ambito della sostenibilità. Viene definita come un'economia "a basso contenuto di carbonio, con uso efficiente delle risorse e socialmente inclusiva" (UNEP, 2011a), enfatizzando la crescita del reddito e dell'occupazione attraverso investimenti pubblici e privati, che mirino all'obiettivo di ridurre le emissioni di carbonio e l'inquinamento, di aumentare l'efficienza energetica e delle risorse e di prevenire la perdita di biodiversità e dei servizi ecosistemici. Il modello economico è comunque ancora basato sulla crescita: la *green growth*.

L'economia circolare prende parte agli obiettivi della *green economy* e si delinea come una sottocategoria della stessa. Se infatti quest'ultima si riferisce a una visione ampia dei temi ambientali che considera nel loro complesso gli impatti dell'azione antropica sull'ambiente e la resilienza dell'ecosistema, l'economia circolare pone come principale centro di interesse l'efficienza nell'uso delle risorse e la riduzione della produzione dei rifiuti (EEA, 2016).

L'economia circolare è "un'economia che bilancia lo sviluppo economico con la tutela dell'ambiente e delle risorse; pone l'accento sull'uso più efficiente e il riciclaggio delle risorse; mira ad un basso consumo di energia, bassa emissione di sostanze inquinanti ed alta efficienza; comporta l'applicazione della *Cleaner Production*, lo sviluppo di *Eco-Industrial Park* per lo sviluppo di industria, agricoltura e aree urbane" (UNEP, 2006).

Negli ultimi anni l'economia circolare sta assumendo un ruolo sempre più importante nell'orientare le strategie di sviluppo in ambito industriale a livello globale. La Ellen MacArthur Foundation dal 2010 incentiva l'affermazione di pratiche industriali basate sui principi di un'economia più circolare, con il supporto di molte aziende di livello internazionale. La fondazione prende come riferimento le teorie di Walter Stahel, che nel 1976 delinea la visione di un'economia in *loop*, ovvero circolare, per il risparmio di risorse e la prevenzione dei rifiuti, sottolineando l'impatto positivo della circolarità dei processi sulla creazione di posti di lavoro e sulla competitività economica, introducendo inoltre il tema di estensione della durata di vita dei prodotti. Ulteriore base teorica per la Ellen MacArthur Foundation sono gli studi della Biomimetica di Janine Benyus (1997) che assume i processi biologici della natura come fonte di ispirazione per il miglioramento delle attività produttive umane e ve-

de la natura come modello per la progettazione di tecnologie e manufatti.

L'economia circolare si fonda anche sugli studi di ecologia industriale (*industrial ecology*), ambito di ricerca che prende forza a partire dal 1989 grazie all'articolo di Nicholas E. Gallopoulos e Robert A. Frosch; tali studi trattano di quelle particolari organizzazioni del sistema industriale che mirano a creare processi a ciclo chiuso in cui i rifiuti di un processo produttivo diventano risorsa per un altro eliminando il problema dei sottoprodotti indesiderati. L'economia circolare si basa ancora sulla teoria *Cradle to Cradle*, divulgata negli anni 2000 attraverso l'omonimo libro di William McDonough e Michael Braungart. Essa rappresenta una filosofia progettuale per la quale tutto il materiale coinvolto deve tornare ad essere nutriente per la sfera biologia o tecnica. In alcuni casi, in particolare per prodotti tecnologici che sono soggetti a frequenti aggiornamenti, la durabilità non è un'ottimale strategia ed è preferibile progettare i prodotti in modo che il loro smontaggio e il recupero dei loro componenti sia facile per utilizzare le singole parti per la prossima generazione.

Sulla base di queste teorie si delineano oggi le linee fondamentali per l'affermazione di una prospettiva di economia circolare: i prodotti devono essere progettati e ottimizzati per facilitarne il disassemblaggio, il riuso e il riciclaggio, deve essere promossa la condivisione e devono essere individuate ed eliminate le esternalità negative, come l'inquinamento di aria, acqua e suolo.

L'economia circolare pone quindi le basi su teorie vicine a quelle dell'economia ambientale, non mettendo in discussione i fondamenti di crescita su cui si basa il sistema economico attuale, ma mirando a renderlo più efficiente, attribuendo molta fiducia all'innovazione tecnologica e all'efficientamento dei processi produttivi. Rimane quindi in un'ottica di risparmio delle risorse naturali e soluzione dei fattori inquinanti, risultati della crescita produttiva rivolta all'aumento dei consumi e quindi del PIL. In questa visione si può sostenere che gli obiettivi di economia circolare delle politiche attuali appartengano ad una sostenibilità debole.

### 1.3. *L'economia circolare e le politiche europee*

I principi dell'economia circolare trovano applicazione concreta in alcuni documenti di indirizzo emanati dalla Commissione Europea che, nel 2014, pubblica la comunicazione "Verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti"

(COM 398) e nel 2015 (con la nuova Commissione Junker) la comunicazione "L'anello mancante – Piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare" (COM 614) che adotta un nuovo pacchetto che prende in considerazione l'intero ciclo economico e non solo la riduzione dei rifiuti. La Commissione Europea, quindi, sostiene la transizione verso un'economia circolare per "mantenere il valore di prodotti, materiali e risorse più a lungo possibile, riducendo al minimo la generazione dei rifiuti". Gli obiettivi proposti dalla Commissione Europea mirano, infatti, a mantenere il valore delle risorse utilizzate nella produzione di un bene riportandole nel ciclo produttivo al termine dell'utilizzo del bene stesso e a creare nuovi posti di lavoro incentivando innovativi modelli di mercato.

Dalla lettura di tali comunicazioni, sono emerse le azioni di maggiore rilevanza in merito all'avvio delle politiche di conversione verso un'economia più circolare. La COM 398 mira a smuovere gli investimenti attraverso l'introduzione di piattaforme europee sull'efficienza nell'impiego delle risorse, allo scopo di individuare importanti opportunità commerciali nel reintrodurre le materie di scarto e rifiuto nel processo di produzione. La COM dichiara, infatti, che nella logica dell'economia circolare il cerchio si chiude con la trasformazione dei rifiuti in risorse, stimolando l'innovazione nei settori del riciclaggio e del riutilizzo. La COM 614, analizzando le fasi di produzione, consumo, gestione dei rifiuti e mercato delle materie prime seconde, sottolinea l'importanza di promuovere i processi industriali innovativi, ad esempio la simbiosi industriale, grazie alla quale i rifiuti o i sottoprodotti di un'industria diventano materie prime seconde per un'altra. La Commissione vuole agevolare tale prassi e intende intavolare un dialogo con gli Stati membri per garantire un'interpretazione comune delle norme sui sottoprodotti. La COM 614 inoltre sostiene che lo sviluppo dell'economia circolare può essere favorito anche da forme innovative di consumo, ad esempio la condivisione di prodotti o infrastrutture, il consumo di servizi anziché di prodotti, o l'utilizzo di piattaforme informatiche o digitali. Evidenzia, altresì, il ruolo preminente che la gestione dei rifiuti riveste nell'economia circolare, sottolineando la messa in pratica della gerarchia dei rifiuti (prevenzione, riutilizzo, riciclaggio, recupero di energia e, per ultimo, smaltimento). Di conseguenza, riacquista un ruolo fondamentale la precedente direttiva 2008/98/CE, che stabilisce la ge-



rarchia dei rifiuti, definisce il significato di sottoprodotto e la conseguente cessazione della qualifica di rifiuto e fissa soglie di riutilizzo e riciclaggio dei rifiuti provenienti dai nuclei domestici e dall'attività di costruzione e demolizione non pericolosi, entro il 2020.

È evidente, quindi, che le Direttive si muovono in prevalenza verso l'obiettivo di aiutare le imprese e i consumatori a effettuare la transizione verso un'economia più circolare, in cui le risorse vengono utilizzate/riutilizzate in modo più sostenibile attraverso un maggior ricorso al riciclaggio e al riutilizzo (anello mancante nel ciclo di vita dei prodotti). L'Europa mira quindi principalmente all'incentivazione della diminuzione dei rifiuti, favorendo le attività di riciclaggio e lo scambio di sottoprodotti tra le aziende, promuovendo, altresì, piattaforme tecnologiche informatiche e digitali al fine di stimolare opportunità commerciali. Favorire tali meccanismi, però, potrebbe comportare il rischio di incentivare il commercio dei rifiuti non ponendo nessun limite di distanza temporale per il loro trattamento, giustificando così politiche volte ad un consumo "usa e getta", che trova nella soluzione del riciclaggio l'opportunità di un aumento della velocità di produzione e consumo.

### 1.3.1. Le azioni politiche europee a confronto con il quadro mondiale

Le iniziative dell'Europa si avvicinano a quelle del Giappone e degli Stati Uniti, basate principalmente su strategie di mercato (*market based*) promosse anche da associazioni ambientali e organizzazioni non governative (approccio *bottom-up*), incentivando, quindi, i sistemi di etichettatura e il *green public procurement* (Ghisellini et al. 2016). In Cina invece l'economia circolare è un diretto risultato di una strategia politica nazionale (approccio *top-down*), in quanto si basa sull'emanazione di norme e sul relativo controllo della loro applicazione e osservanza (*command and control*). La Cina ha promosso, già dalla fine del 1990, lo sviluppo di *eco-industrial park* sia nell'ambito della ricerca e delle politiche sia a livello applicativo. A livello politico, il Chinese State Environmental Protection Administration (SEPA) ha iniziato a promuovere gli *eco-industrial park* e le simbiosi industriali come modello di sviluppo industriale e tecnologico alternativo.

Comunque a livello mondiale le normative e i piani di azione sono molto incentrati sul tema dei rifiuti e parzialmente riferibili all'economia circolare.

## 2. MATERIALI E METODI

Se l'analisi esposta sui fondamenti teorici e sulle azioni politiche ha restituito un quadro in cui l'economia circolare è vista come un'economia che mira alla cosiddetta "chiusura del cerchio", proveniente dalla corrente di pensiero dell'economia ambientale, si vuole esplorare ora il tema anche all'interno del dibattito scientifico, attraverso l'analisi delle recenti pubblicazioni a riguardo. L'obiettivo della ricerca è di capire le diverse interpretazioni che emergono in ambito scientifico, le principali leve e strategie d'incentivazione per l'economia circolare e di verificare il ruolo che rivestono gli strumenti di valutazione *life cycle*.

Si è riscontrato che il numero di pubblicazioni scientifiche sul tema dell'economia circolare sia in forte aumento: nell'arco di dieci anni, tra il 2006 e il 2016, si nota una crescita di più di dieci volte (con una preponderanza negli ultimi due anni) e con una forte maggioranza di autori che provengono dalla Cina (Geissdoerfer et al., 2016). La raccolta degli articoli da analizzare è stata condotta immettendo nel motore di ricerca *Discovery Tool SEARCH* quale parola chiave il termine *circular economy* e, attingendo esclusivamente alle riviste *peer reviewed*, si è selezionato un campione rappresentativo dei primi 50 articoli che presentassero tale dicitura all'interno del titolo, pubblicati tra il 2010 e il 2017, ordinati per rilevanza (in base ad un algoritmo che combina i dati legati alla popolarità dell'articolo, all'autore e anche all'analisi della prossimità dei termini della parola chiave di ricerca).

Attraverso la lettura degli articoli, si sono notate innanzitutto diverse altre definizioni che accompagnano generalmente il termine di *circular economy*. Il lavoro di ricerca, quindi, mira a restituire un quadro più chiaro, attraverso la classificazione delle terminologie che maggiormente si associano a tale espressione nel dibattito scientifico e attraverso una lettura interpretativa e puntuale che analizza la differenza di significato di tali termini. Ulteriore obiettivo della ricerca è stato approfondire quanto l'approccio *Life Cycle Thinking*, nel dibattito scientifico sia associato e applicato all'economia circolare. Attraverso l'analisi degli articoli suddetti, si è determinato con quale frequenza vengano applicate, o semplicemente nominate le metodologie di valutazione *Life Cycle* in merito alla quantificazione degli impatti ambientali, dei costi e degli impatti sulla sfera sociale. Inoltre l'indagine restituisce altre aree di approfondimento, seguendo un criterio di analisi che

esamini la sostenibilità delle azioni compiute lungo il ciclo di vita dei prodotti, volte a promuovere un'economia circolare. La ricerca ha voluto evidenziare, quindi, un quadro conoscitivo sulla strategia di miglioramento ambientale maggiormente applicata (tra le pratiche di riduzione, riuso, riciclo e recupero energetico); quali possano essere le maggiori leve di azione per il cambiamento verso un modello economico circolare (riduzione dei costi/riduzione degli impatti ambientali, gestione dei rifiuti/scarsità di risorse); infine si è rilevato da quale fase del ciclo di vita del prodotto/servizio provenga il rifiuto che viene trattato, e quali siano i settori più rilevanti nella produzione e nel riciclo del rifiuto.

### 2.1. Macroaree di indagine e relative sottocategorie

Durante l'analisi degli articoli selezionati si è proceduto ad una loro classificazione. Viene innanzitutto proposta una suddivisione degli articoli in due categorie: quelli che trattano il tema della *circular economy* in modo teorico, ovvero che restituiscono uno studio dello stato dell'arte, e quelli che illustrano azioni concrete (casi studio emblematici della conversione da economia lineare a circolare). In base agli obiettivi di ricerca precedentemente esplicitati sono state definite sei principali macroaree di indagine nelle quali i contributi si collocano: definizioni e interpretazioni della *circular economy*; strumenti *Life Cycle*; strategie di miglioramento ambientale; leve di cambiamento; origine del rifiuto lungo il ciclo di vita; settore di origine e destinazione del rifiuto. Per ogni macroarea sono state scelte alcune sottocategorie di indagine, che rappresentano le vere e proprie parole chiave o interpretazioni cercate all'interno del testo di ogni singolo articolo.

#### 2.1.1. Prima macroarea: definizioni e interpretazioni della *circular economy*

Per quanto concerne la prima macroarea (Tabella 1), relativa alle definizioni e interpretazioni della *circular economy* sono state selezionate le parole chiave che riguardano le principali teorie associate al tema del rapporto tra economia e ambiente quali: *ecological economics*, *environmental economics*, *cradle to cradle*, *industrial ecology*, *biomimicry*, *bioeconomy* ed infine *ecological modernization theory*. Sono state, in aggiunta, evidenziate le più comuni strategie (o obiettivi) per la transizione verso un'economia circolare, le cui parole chiave sono: *urban mining*, *eco-industrial park*, *industrial symbiosis*, *cleaner production*, *resources efficiency*, *material ef-*

*iciency*, *chain resilience/resiliency*, *externalities*. Inoltre, siccome non è raro che, all'interno dei testi che trattano casi studio, non venga utilizzata una specifica parola chiave per dichiarare il tipo di strategia, si sono definite due letture interpretative riguardo le azioni messe in atto: *network* tra le aziende (inteso come scambio di sottoprodotti o scarti di produzione tra diverse aziende) e ottimizzazione del processo produttivo (quando gli scambi avvengono all'interno dello stesso processo produttivo al fine di un efficientamento di produzione).

La scelta di questi termini/parole chiave è stata compiuta in base alla loro presenza all'interno dei testi. Se i primi cinque termini sono stati già precedentemente discussi, si vuole dare di seguito definizione anche degli altri termini emersi dalla lettura degli articoli.

La *bioeconomy*, secondo la definizione della Commissione Europea (2014a), comprende la produzione di risorse biologiche rinnovabili e la loro trasformazione in nutrienti, prodotti *bio-based* e bio-energia. Essa comprende i settori dell'economia che utilizzano le risorse biologiche rinnovabili provenienti dalla terra e dal mare, come colture, foreste, animali e microrganismi, per la produzione di alimenti, materiali ed energia. I settori della bioeconomia hanno un forte potenziale innovativo, utilizzando un'ampia gamma di scienze (agronomia, ecologia, scienze alimentari e scienze sociali) e tecnologie industriali (nanotecnologie, tecnologie dell'informazione e della comunicazione). *L'ecological modernization theory* si sviluppa nei primi anni Ottanta all'interno di un gruppo di studiosi della Free University e del Social Science Research Centre di Berlino e si riferisce al cambiamento strutturale innovativo, ovvero innovazioni di prodotto e di processo finalizzato alla gestione ambientale, tramite l'individuazione di una catena di approvvigionamento sostenibile, di tecnologie pulite e di strategie di efficienza delle risorse. *L'urban mining* è inteso come l'insieme di azioni e tecnologie volte al recupero di materie prime secondarie ed energia dai prodotti del catabolismo urbano (Baccini et al., 2012) al fine di favorire la gestione sistematica delle scorte di risorse antropogeniche (sotto forma di prodotti, edifici, spazi) e rifiuti, proponendo una prospettiva che comprende salvaguardia ambientale a lungo termine, conservazione delle risorse e vantaggi economici (Cossu et al., 2015). *L'industrial symbiosis* rappresenta la collaborazione tra aziende nell'ottica dell'*industrial ecology*, ovvero le relazioni e le azioni rivolte a ridurre rifiuti ed inquinamento, attraverso l'interscambio di materiali, sottoprodotti e scarti, energia, acqua e informazioni. Gli



Tabella 1 – Prima macroarea

		definizioni e interpretazioni dell'economia circolare																
autore	anno	Ecological economics	Environmental economics	Cradle to Cradle (C2C)	Industrial Ecology	Biomimetry	Bio economy	Ecological modernization theory	Urban mining	EcoIndustrial Park	Industrial Symbiosis	Cleaner Production	Resource efficiency	Material efficiency	Chain resiliency/resilience	Externalities	Network tra aziende	Ottimizzazione del processo produttivo
		paper casi studio																
1	Liguori et al.	2016																
2	Landaburu-Aguirre et al.	2016																
3	Abu-Ghunmi et al.	2016																
4	Park et al.	2010																
5	Smol et al.	2015																
6	Hu et al.	2011																
7	Ma et al.	2015																
8	Li et al.	2015																
9	Laso et al.	2016																
10	Jurgilevich et al.	2016																
11	Xi	2011																
12	Li et al.	2010																
13	Kun et al.	2011																
14	Zhilei et al.	2011																
15	Zhao et al.	2012																
16	Li et al. (a)	2015																
17	Ma et al.	2014																
18	Cong et al.	2017																
19	Liu et al.	2012																
		paper teorici																
20	Pomponi et al.	2017																
21	Stabel	2016																
22	Geissdoerfer et al.	2017																
23	Andrews	2015																
24	Andersen	2007																
25	Ghisellini et al.	2016																
26	Murray et al.	2015																
27	Singh et al.	2016																
28	Spring et al.	2016																
29	Lieder et al.	2016																
30	Witjesa et al.	2016																
31	Franklin-Johnson et al.	2016																
32	Zeng et al.	2016																
33	De los Rios et al.	2016																
34	Elia et al.	2017																
35	Guo et al.	2017																
36	George et al.	2015																
37	Xue et al.	2010																
38	Liu et al.	2014																
39	Jiao et al.	2017																
40	Xinan et al.	2011																
41	Qing et al.	2011																
42	Lihong et al.	2011																
43	Zeng et al.	2011																
44	Hobson	2016																
45	Zhu et al.	2010																
46	Li	2012																
47	Su et al.	2013																
48	Zhou et al.	2017																
49	Zhao et al.	2017																
50	Zink et al.	2017																

*eco-industrial park* sono aree circoscritte di parchi industriali, nelle quali sono presenti infrastrutture e organizzazioni che permettono l'interscambio e la simbiosi tra le industrie del sito stesso. Il termine *cleaner production* è definito dall'UNEP nel 1990 come l'applicazione continua di strategie ambientali integrate a processi, prodotti e servizi per incrementare l'efficienza e ridurre i rischi per l'uomo e per l'ambiente. Strettamente connesse sono quindi le strategie *resource efficiency* e *material efficiency*, che mirano ad utilizzare le risorse limitate della terra in maniera sostenibile, minimizzando anche gli impatti sull'ambiente, per poter creare "più con meno" e ottenere maggior valore con minori input. Quando invece si parla di *chain resilience* o semplicemente di *resiliency*, si intende la capacità che le imprese hanno di ritornare rapidamente alla normalità o progredire verso un migliore stato di performance operativa a seguito di un evento dirompente; ciò migliora la loro posizione sul mercato (Tukamuhabwa et al., 2015). La ricerca ha voluto inoltre capire quanto spesso le esternalità negative sull'ambiente, causate dall'attività di produzione o dal servizio, sono prese in considerazione, quindi si è cercata la parola *externalities*.

Per effettuare l'indagine, negli articoli teorici si sono cercate le parole chiave all'interno dell'intero testo, mentre in quelli sui casi studio si sono escluse quelle che compaiono nell'introduzione generale dell'articolo, così da evidenziare solo quelle utilizzate alla spiegazione del caso studio.

#### 2.1.2. Seconda macroarea: strumenti Life Cycle

Nella seconda macroarea (Tabella 2), si è indagata l'applicazione di strumenti *Life Cycle*. Nelle sottocategorie sono stati selezionati gli strumenti per la quantificazione degli impatti ambientali, economici e sociali quali *Life Cycle Assessment* (LCA), *Life Cycle Costing* (LCC), *Social Life Cycle Assessment* (SLCA), *Environmentally Extended Input-Output* (EEIO), strumenti di valutazione dell'impronta ambientale come *Water Footprint* (WF), *Carbon Footprint* (CF), strumenti di quantificazione dei flussi ovvero *Material Flow Analysis* (MFA), *Substance Flow Analysis* (SFA), e strumenti di valutazione economica quali *Cost-Benefit Analysis* (CBA), *Cost-effective Analysis* (CEA), *Material Flow Cost Accounting* (MFCA). La scelta degli strumenti deriva dalla loro presenza negli articoli analizzati, tranne LCC e SLCA inseriti per il completamento degli strumenti *Life Cycle*. Per questa indagine si è verificata la presenza delle parole chiave all'interno sia degli articoli teorici sia di quelli riguardanti casi studio.

#### 2.1.3. Terza macroarea: strategie di miglioramento ambientale

Nella terza macroarea (Tabella 2), riguardante le strategie di miglioramento ambientale, sono state analizzate le cosiddette 4R, ovvero le misure di riduzione, riutilizzo, riciclaggio e recupero energetico. In questo contesto, si è condotta un'indagine per parola chiave negli articoli generici, mettendo quindi in evidenza quale strategia sia maggiormente promossa in letteratura, e si è indicata l'azione compiuta nelle applicazioni in casi studio per capire quale effettivamente venga più praticata.

#### 2.1.4. Quarta macroarea: leve di cambiamento

Nella quarta macroarea (Tabella 3), riguardante le leve di cambiamento, si è voluto indagare se negli articoli relativi ai casi studio la leva citata come motivazione di azioni di circolarità sia stata quella di risolvere la problematica di gestione dei rifiuti o piuttosto quella di prevenire la scarsità di risorse naturali. Infatti lo smaltimento dei rifiuti sta diventando sempre più critico sia a livello ambientale, per il consumo di suolo per le discariche (ISPRA 2016), sia a livello economico, per l'aumento dei costi di smaltimento sostenuti dalle aziende. D'altra parte anche la scarsità delle materie prime sta diventando sempre più preoccupante, come per esempio nel caso dei metalli rari per prodotti elettronici (Clark, 2015). Si è quindi associata un'ulteriore analisi volta a individuare se la leva sia di tipo economico o di tipo ambientale: si vuole capire, infatti, se l'economia circolare sia maggiormente promossa in un'ottica di sostenibilità ambientale dell'intero pianeta e quindi rivolta alla diminuzione dei fattori inquinanti e alla tutela del capitale naturale, oppure in una prospettiva di vantaggio economico delle aziende per ridurre i costi di smaltimento e diminuire le spese per l'acquisto di materia prima.

#### 2.1.5. Quinta macroarea: origine del rifiuto lungo il ciclo di vita

Nella quinta macroarea di approfondimento (Tabella 3), riguardante la provenienza dello scarto/rifiuto, sono state indicate le fasi di vita del prodotto/servizio in cui si genera il rifiuto: fase di estrazione (ad esempio scarti di cava), fase di produzione (ovvero sottoprodotti, sfridi di lavorazione o ceneri di raffinazione), fase di distribuzione (come scarti di imballaggi), fase di consumo (ad esempio scarti organici), e fine vita (come prodotti non più funzionanti). In questo caso la lettura viene effettuata solo negli articoli che trat-



Tabella 2 – Seconda e terza macroarea

		strumenti Life Cycle										strategie di miglioramento ambientale				
autore	anno	Life Cycle Assessment (LCA)	Life Cycle Costing (LCC)	Social Life Cycle Assessment (S-LCA)	Environmentally Extended Input-Output (EEIO)	Water Footprint (WF)	Carbon Footprint (CF)	Material Flow Analysis (MFA)	Substance Flow Analysis (SFA)	Cost-Benefit Analysis (CBA)	Material Flow Cost Accounting (MFCA)	Cost-effective Analysis (CEA)	Recupero energetico	Riciclaggio	Riutilizzo	Riduzione
		paper casi studio										paper casi studio				
1	Liguori et. al	2016														
2	Landaburu-Aguirre et al.	2016														
3	Abu-Ghunmi et al.	2016														
4	Park et al.	2010														
5	Smol et al.	2015														
6	Hu et al.	2011														
7	Ma et al.	2015														
8	Li et al.	2015														
9	Laso et al.	2016														
10	Jurgilevich et al.	2016														
11	Xi	2011														
12	Li et al.	2010														
13	Kun et al.	2011														
14	Zhilei et al.	2011														
15	Zhao et al.	2012														
16	Li et al. (a)	2015														
17	Ma et al.	2014														
18	Cong et al.	2017														
19	Liu et al.	2012														
		paper teorici										paper teorici				
20	Pomponi et al.	2017														
21	Stahel	2016														
22	Geissdoerfer et al.	2017														
23	Andrews	2015														
24	Andersen	2007														
25	Ghisellini et al.	2016														
26	Murray et al.	2015														
27	Singh et al.	2016														
28	Spring et al.	2016														
29	Lieder et al.	2016														
30	Witjesa et al.	2016														
31	Franklin-Johnson et al.	2016														
32	Zeng et al.	2016														
33	De los Rios et al.	2016														
34	Elia et al.	2017														
35	Guo et al.	2017														
36	George et al.	2015														
37	Xue et al.	2010														
38	Liu et al.	2014														
39	Jiao et al.	2017														
40	Xinan et al.	2011														
41	Qing et al.	2011														
42	Lihong et al.	2011														
43	Zeng et al.	2011														
44	Hobson	2016														
45	Zhu et al.	2010														
46	Li	2012														
47	Su et al.	2013														
48	Zhou et al.	2017														
49	Zhao et al.	2017														
50	Zink et al.	2017														

Tabella 3 – Quinta macroarea

		leve di cambiamento				origine del rifiuto lungo il ciclo di vita					
	autore	anno	Gestione dei rifiuti	Scarsità di risorse	Riduzione dei costi	Riduzione degli impatti ambientali	Estrazione	Produzione	Distribuzione	Consumo	Fine Vita
			paper casi studio								
1	Liguori et. al	2016									
2	Landaburu-Aguirre et al.	2016									
3	Abu-Ghunmi et al.	2016									
4	Park et al.	2010									
5	Smol et al.	2015									
6	Hu et al.	2011									
7	Ma et al.	2015									
8	Li et al.	2015									
9	Laso et al.	2016									
10	Jurgilevich et al.	2016									
11	Xi	2011									
12	Li et al.	2010									
13	Kun et al.	2011									
14	Zhilei et al.	2011									
15	Zhao et al.	2012									
16	Li et al. (a)	2015									
17	Ma et al.	2014									
18	Cong et al.	2017									
19	Liu et al.	2012									

tano i casi studio specifici e viene restituita la provenienza del rifiuto/sottoprodotto trattato nell'applicazione del caso.

2.1.6. Sesta macroarea: settori di origine e di riciclo del rifiuto

Nella sesta macroarea (Tabella 4), si è voluto riscontrare se, tra i casi studio riguardanti il *network* tra le aziende, sia presente un settore prevalente rispetto alla provenienza dei rifiuti e un settore trainante nell'attuazione di strategie rivolte ad un'economia circolare. Per effettuare l'analisi si è dovuto semplificare ogni caso studio, essendo gli stessi molto differenti e specifici, attribuendo le industrie di provenienza del rifiuto e quelle di riciclo a settori generici.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

I risultati scaturiscono dalla lettura critica e dall'analisi compiuta sugli articoli selezionati. Si è riscontrato che circa il 60% degli articoli trattano il tema in modo teorico mentre il 40% argomentano l'applicazione in casi studio.

Dalla lettura della prima macroarea si può notare che negli articoli teorici la principale strategia trattata a fianco del termine *circular economy* è senz'altro quella che definisce azioni di ecologia industriale: i termini *industrial ecology*, *eco industrial park* e *industrial symbiosis* sono presenti, ciascuno, nel 50% degli articoli teorici (15 articoli su 31). A seguire, i termini *cleaner production* e *resource efficiency* sono anch'essi ricorrenti, rispettivamente nel 35% e nel 42% degli articoli teorici. Si riscontrano abbastanza menzionate anche le strategie *cradle to cradle* e *biomimicry* (nel 29% e 23% degli articoli teorici): si nota quindi l'influenza dei temi sostenuti dalla Ellen MacArthur Foundation (non a caso il riferimento più frequente è all'*environmental economics* e non all'*ecological economics*). Risulta, però, che tali terminologie, così diffuse nella trattazione teorica del tema, non vengano riprese esplicitamente nella spiegazione dei casi studio applicativi. Per quanto riguarda le parole chiave sulle strategie (o obiettivi) per la transizione verso un'economia circolare, si nota che se quelle più citate a livello teorico sono le azioni di ecologia industriale, nella descrizione dei casi studio vengono maggiormente riportate le azio-

settori di origine e di riciclo del rifiuto				
autore	anno	settore origine del rifiuto	settore di riciclo del rifiuto	
paper casi studio				
1	Liguori et. al	2016	silvicoltura, carta, agroalimentare, rifiuti solidi urbani	produzione energia
2	Landaburu-Aguirre et al.	2016	membrana per la dissalazione dell'acqua	membrana per la dissalazione dell'acqua
3	Abu-Ghunmi et al.	2016	acqua	acqua
4	Park et al.	2010	ICT	ICT
5	Smol et al.	2015	cenere da fanghi di depurazione	prodotti da costruzione (es. cemento, ceramica)
6	Hu et al.	2011	efficientamento di materia prima, acqua e energia nell'industria conciaria	
7	Ma et al.	2015	efficientamento dell'industria chimica di fosforo	
8	Li et al.	2015	industria cartaria	industria cartaria
9	Laso et al.	2016	alimentare (lavorazione acciughe)	alimentare (es. farina di pesce, pasta di acciughe), produzione energia (olio combustibile)
10	Jurgilevich et al.	2016	agroalimentare	produzione energia (biogas), fertilizzanti
11	Xi	2011	allevamento	produzione energia (biogas), fertilizzanti organici
12	Li et al.	2010	efficientamento industria chimica, metallurgica e produzione energia elettrica	
13	Kun et al.	2011	efficientamento estrazione di gas e petrolio	
14	Zhilei et al.	2011	ICT end of life	(non specificato)
15	Zhao et al.	2012	centrale elettrica a carbone (ceneri e calore)	prodotto da costruzione (cemento e mattoni), produzione energia
16	Li et al. (a)	2015	centrale elettrica a carbone	prodotti da costruzione, industria chimica
17	Ma et al.	2014	efficientamento industria ferro e acciaio	
18	Cong et al.	2017	ICT (hard disk)	(non specificato)
19	Liu et al.	2012	estrazione piombo e zinco e settore zolfo (estrazione e industria chimica)	prodotti da costruzione, produzione energia

ni di *resource efficiency* e di *cleaner production* (terminologie che comunque appaiono molto comuni anche negli articoli teorici) rispettivamente nel 47% e nel 42% degli articoli inerenti casi studio; ne consegue che si fa maggiormente riferimento a strategie che mirano all'efficienza. Analizzando solo gli articoli che trattano i casi studio, si nota che le azioni prevalentemente messe in atto mirano al *network* tra le aziende (68% dei casi studio), ovvero l'attività di scambio di sottoprodotti e flussi, avvicinandosi, di conseguenza, alle teorie dell'*industrial ecology*, ai temi dell'*eco-industrial park* e dell'*industrial symbiosis*, senza che essi vengano citati esplicitamente. Soffermandosi quindi sulla seconda macroarea, riguardante l'applicazione degli strumenti *life cycle* all'interno degli articoli scientifici, l'indagine ha evidenziato che, al momento attuale l'abbinamento tra *circular economy* e strumenti *life cycle*, è ancora molto carente. Solamente nel 20% degli articoli teorici analizzati viene citato il *Life Cycle Assessment* (LCA) e il *Material Flow Analysis* (MFA). Solo nel 10% degli articoli che trattano di casi stu-

dio compare menzionato il *Life Cycle Assessment* (LCA) e il *Cost-Benefit Analysis* (CBA). Lo strumento *Life Cycle Assessment*, di quantificazione degli impatti ambientali, è menzionato tanto quanto quello di quantificazione dei flussi (a livello teorico) e quello di valutazione dei costi e benefici economici (a livello applicativo nei casi studio). Dai risultati derivanti dall'analisi della terza macroarea, attinente le diverse strategie di miglioramento ambientale, si riscontra che negli articoli teorici viene maggiormente citata l'attività di riciclaggio (nel 97% degli articoli) e di riuso (nel 84% degli articoli), seguita da quella di recupero energetico (42%), e per ultima quella di riduzione (29%). Negli articoli concernenti casi studio, risulta assolutamente predominante l'attività di riciclaggio (citata nel 95% dei casi studio). Abbastanza presente, però è anche quella di riduzione (47% dei casi studio) legata principalmente all'obiettivo di efficienza, che mira ad utilizzare in minore quantità le risorse e i materiali necessari nella catena di produzione di beni.



In riferimento alla quarta macroarea, analizzando in maniera interpretativa le leve di azione dei casi studio descritti, si nota una preponderanza verso la risoluzione del problema dello smaltimento dei rifiuti (presente nel 58% dei casi studio), e una maggiore attenzione verso il beneficio economico interno all'azienda (58% dei casi studio) derivato da evitati costi di smaltimento in discarica ed evitati costi di acquisto della materia prima. La leva della riduzione degli impatti ambientali, anche se meno citata, detiene comunque una certa importanza (42% dei casi studi).

Rispetto alla provenienza dello scarto, nella quinta macroarea, emerge che nel 58% dei casi studio vengono trattati gli scarti di produzione (riciclaggio pre-consumo) e, nel 53% dei casi, prodotti *end-of-life* (riciclaggio post-consumo). All'interno degli articoli analizzati emergono pochi casi di rifiuti provenienti dalle altre fasi del ciclo di vita del prodotto/servizio.

Per quanto riguarda l'analisi inerente i settori di provenienza del rifiuto e i settori ai quali lo stesso è destinato, si è riscontrato che i casi studio analizzati trattano svariati settori economici e differenti tipologie di aziende. Non risulta un settore pilota o più innovativo di altri. Comunque volendo semplificare, si nota tra i settori di origine del rifiuto una leggera preponderanza dei settori agroalimentari e delle tecnologie della comunicazione (ICT, Information and Communication Technology), nel complesso pari al 43% dei casi. Tra i settori a cui è destinato il rifiuto, emerge la presenza del settore di produzione di energia (quindi ancora forte tendenza alla termovalorizzazione dei rifiuti) e il settore dei prodotti edili per il riciclo di ceneri (rappresentando ciascuno il 22% dei casi). In conclusione, però, si può dedurre che l'economia circolare è ancora applicata a livello puntuale e in ambiti molto specifici.

#### 4. CONCLUSIONI

L'analisi svolta contribuisce ad integrare gli studi sullo stato dell'arte sul tema dell'economia circolare. Tuttavia, come in altri studi a letteratura (Geisdoerfer et al. 2017; Blomsma et al. 2017), va sottolineato che l'analisi compiuta va considerata nel limite del campo di indagine, del metodo di analisi applicato e del periodo di tempo preso a riferimento. Inoltre l'analisi, essendo compiuta attraverso lo studio di articoli scientifici accademici, potrebbe non rivelare attività non oggetto di pubblicazione. Lo studio presentato si è posto l'obiettivo di restituire il quadro di riferimento teorico delle origini e

una chiara definizione dei temi inerenti l'economia circolare nonché l'applicazione di tale politica. Al contempo si è mirato ad un quadro conoscitivo del livello di applicazione delle metodologie *life cycle* di valutazione ambientale, economica e sociale nelle strategie di conversione dell'economia attuale in un'economia circolare. Dall'analisi è emerso che la visione maggiormente diffusa dell'economia circolare si allinea alle teorie dell'economia ambientale e quindi ad una sostenibilità debole. La prospettiva di crescita economica legata all'aumento dei consumi, non viene messa in discussione mentre si ripone fiducia nell'efficientamento dei processi produttivi. Si è riscontrato, inoltre, che l'economia circolare a livello politico viene sostenuta attraverso l'incentivazione della diminuzione dei rifiuti e delle attività di riciclaggio. Tali spinte, però, possono comportare il rischio di stimolare il commercio dei rifiuti e un consumo "usa e getta" che trova nel riciclaggio la giustificazione di un aumento di produzione e consumo.

Dall'analisi emerge che l'economia circolare viene ancora applicata in maniera riduttiva, prevalentemente attraverso lo scambio di sottoprodotti o scarti tra le industrie, con una visione focalizzata sul sistema produttivo e sulla riduzione dei rifiuti. Tali azioni sono quindi legate al vantaggio delle singole aziende, senza l'applicazione di alcuna valutazione dell'efficacia ambientale economica e sociale (o delle esternalità), in prospettiva *life cycle*. A conclusione simile arrivano anche altre rassegne della letteratura scientifica (Blomsma et al. 2017), sostenendo che in letteratura non è ancora chiaro il legame tra economia circolare e sostenibilità.

Le azioni compiute dovrebbero abbinarsi a una verifica della effettiva sostenibilità ambientale del processo di riciclo, riuso e recupero. Riallacciandosi alle teorie fondatrici del pensiero sul rapporto tra economia e ambiente e agli obiettivi di *de-coupling* dell'UNEP, le strategie attivate dovrebbero, dunque, mirare alla salvaguardia delle risorse in tutte le fasi di vita di un prodotto/servizio. Una visione, quindi, che miri di più all'efficacia, anziché alla sola efficienza, e al benessere dell'intera società (non solo delle aziende). In quest'ottica, le politiche dovrebbero muoversi verso una maggiore difesa delle risorse cercando di attivare meccanismi più restrittivi che limitino l'utilizzo delle risorse primarie, incentivando fenomeni di *upcycling* con verifica sulla sostenibilità attraverso l'applicazione del *Life Cycle Thinking* per la valutazione del beneficio ambientale e non puramente economico.

## 5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Abu-Ghunmi D., Abu-Ghunmi L. et. al. (2016) Circular economy and the opportunity cost of not “closing the loop” of water industry: the case of Jordan. *Journal of Cleaner Production* (131) 228-236.
- Andersen M.S. (2007) An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustain Sci* (2) 133-140.
- Andrews D. (2015) The circular economy, design thinking and education for sustainability. *Local Economy* (30,3) 305-315.
- Baccini P. e Brunner P.H. (2012) *Metabolism of the Anthroposphere: Analysis, Evaluation, Design*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge: The MIT Press.
- Benyus J.M. (1997) *Biomimicry: innovation inspired by nature*. New York: Harper.
- Boulding K.E. (1966) The Economics of the Coming Space-ship Earth. In: Jarrett H. (ed.) *Environmental Quality in a Growing Economy*. Baltimore: Resources for the Future/Johns Hopkins University Press. 3-14.
- Blomsma F. e Brennan G. (2017) The Emergence of Circular Economy. A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. *Journal of Industrial Ecology*, DOI: 10.1111/jiec.12603.
- Clark J., (2015) La tabella delle mancanze, *Materia rinnovabile* (02) 22-25.
- Clift R. e Druckman A. (2016) *Taking Stock of Industrial Ecology*. London: Springer.
- Commissione Europea (2014) COM 398 Verso un’economia circolare: programma per un’Europa a zero rifiuti. Bruxelles.
- Commissione Europea (2014a) Where next for the European bioeconomy? Brussels: Directorate-General for Research and Innovation.
- Commissione Europea (2015) Closing the loop: Commission adopts ambitious new Circular Economy Package to boost competitiveness, create jobs and generate sustainable growth, Brussels.
- Commissione Europea (2015) COM 614 L’anello mancante – piano d’azione dell’Unione europea per l’economia circolare. Bruxelles.
- Commoner B. (1971) *The closing circle: Nature, man, and technology*. New York: Alfred A. Knopf
- Cong L., Zhao F. e Sutherland J.W. (2017) Integration of dismantling operations into a value recovery plan for circular economy. *Journal of Cleaner Production* (149) 378-386.
- Cossu R. e Williams I.D. (2015) Urban mining: Concepts, terminology, challenges. *Waste Management* (45) 1-3.
- Costanza R., Cumberland J.H., Daly H. et. al. (1997) *An Introduction to Ecological Economics*. Boca Raton: CRC Press.
- Daly H. (1977) *Steady-State Economics*. San Francisco: W.H. Freeman and Co.
- De los Rios I.C. e Charnley F.J.S. (2016) Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: The changing role of design. *Journal of Cleaner Production* (in press) 1-14.
- Direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del consiglio (2008) *Gazzetta ufficiale dell’Unione europea*.
- EEA (2016) *Circular economy in Europe Developing the knowledge base*. Report No 2/2016. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Elia V., Gnani M.G. e Tornese F. (2017) Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. *Journal of Cleaner Production* (142) 2741-2751.
- Franklin-Johnson E., Figge F. e Canning L. (2016) Resource duration as a managerial indicator for Circular Economy performance. *Journal of Cleaner Production* (133) 589-598.
- Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N.M.P. et al. (2017) The Circular Economy: A new sustainability paradigm?. *Journal of Cleaner Production* (143) 757-768.
- George D.A.R., Chi-ang Lin B. e Chen Y. (2015) A circular economy model of economic growth. *Environmental Modelling & Software* (73) 60-63.
- Georgescu-Roegen N. (1971) *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Ghisellini P., Cialani C. e Ulgiati S. (2016) A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production* (114) 11-32.
- Guo B., Geng Y., Sterr T. et. al. (2017) Investigating public awareness on circular economy in western China: A case of Urumqi Midong. *Journal of Cleaner Production* (142) 2177-2186.
- Hawken P., Lovins A., Lovins L.H. (1999) *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution*. Boston: Little, Brown, 1999.
- Hobson K. (2016) Closing the loop or squaring the circle? Locating generative spaces for the circular economy. *Progress in Human Geography* (40,1) 88-104.
- Hu J., Xiao Z., Zhou R. et. al. (2011) Ecological utilization of leather tannery waste with circular economy model. *Journal of Cleaner Production* (19) 221-228.
- ISPRA (2016), Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici, Rapporti 248/2016.
- Jiao W. e Boons F. (2017) Policy durability of Circular Economy in China: A process analysis of policy translation. *Resources, Conservation and Recycling* (117) 12-24.
- Jurgilevich A., Birge T., Kentala-Lehtonen J. et. al. (2016) Transition towards Circular Economy in the Food System. *Sustainability* (8,69).
- Kun H. e Jian Z. (2011) Circular Economy Strategies of oil and Gas exploitation in China. *Energy Procedia* (5) 2189-2194.
- Landaburu-Aguirre J., García-Pacheco R., Molina S. et. al. (2016) Fouling prevention, preparing for re-use and membrane recycling. Towards circular economy in RO desalination. *Desalination* (393) 16-30.
- Laso J., Margallo M., Celaya J. et. al. (2016) Waste management under a life cycle approach as a tool for a circular economy in the canned anchovy industry. *Waste Management & Research* (34) 724-733.
- Latouche S. (2007) *Petit traité de la décroissance sereine*. Paris: Mille et une nuits.
- Li Y. e Ma C. (2015) Circular economy of a papermaking park in China: a case study. *Journal of Cleaner Production* (92) 65-74.
- Li H., Bao W., Xiu C. et. al. (2010) Energy conservation and circular economy in China’s process industries. *Energy* (35) 4273-4281.
- Li J. e Wang F. (a) (2015) How China’s Coal Enterprise Shrinks Carbon Emissions: A Case Study of Tashan Circular Economy Park. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* (37:19) 2123-2130.
- Li S. (2012) The Research on Quantitative Evaluation of Circular Economy Based on Waste Input-Output Analysis. *Procedia Environmental Sciences* 12 65-71.
- Lieder M. e Rashid A. (2016) Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production* (115) 36-51.

- Liguori R. e Faraco V. (2016) Biological processes for advancing lignocellulosic waste biorefinery by advocating circular economy. *Bioresource Technology* (215) 13-20.
- Lihong W. e Hui Z. (2011) Development of circular economy and optimization of industrial structure for Shandong Province. *Energy Procedia* (5) 1603-1610.
- Liu Y. e Bai Y. (2014) An exploration of firms' awareness and behavior of developing circular economy: An empirical research in China. *Resources, Conservation and Recycling* (87) 145-152.
- Liu D., Li H., Wang W. et. al. (2012) Constructivism scenario evolutionary analysis of zero emission regional planning: A case of Qaidam Circular Economy Pilot Area in China. *Int. J. Production Economics* (140) 341-356.
- Loiseau E., Saikku L., Antikainen R. et al. (2016) Green economy and related concepts: An overview. *Journal of Cleaner Production* (139) 361-371.
- Ma S., Hu S., Chen D., et. al. (2015) A case study of a phosphorus chemical firm's application of resource efficiency and eco-efficiency in industrial metabolism under circular economy. *Journal of Cleaner Production* (87) 839-849.
- Ma S., Wen Z., Chen J. et. al. (2014) Mode of circular economy in China's iron and steel industry: a case study in Wu'an city. *Journal of Cleaner Production* (64) 505-512.
- McDonough W. e Braungart M. (2002) *Cradle to Cradle: remaking the way we make things*. United States: North Point Press.
- Murray A., Skene K. e Haynes K. (2015) *The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context*. Springer Science+Business Media Dordrecht, DOI 10.1007/s10551-015-2693-2.
- OECD Green Growth Studies, Material Resources, Productivity and the Environment, OECD Green Growth Studies, Paris: OECD Publishing.
- Park J., Sarkis J. e Wu Z. (2010) Creating integrated business and environmental value within the context of China's circular economy and ecological modernization. *Journal of Cleaner Production* (18) 1494-1501.
- Pomponi F. e Moncaster A. (2017) Circular economy for the built environment: A research framework. *Journal of Cleaner Production* (143) 710-718.
- Ponomarov S.Y. e Holcomb M.C. (2009) Understanding the concept of supply chain resilience. *The International Journal of Logistics Management* (20) 124-143.
- Qing Y., Mingyue C. e Qiongqiong G. (2011) Research on the Circular Economy in West China. *Energy Procedia* (5) 1425-1432.
- Robert A.F. e Gallopoulos N.E. (1989) Strategies for Manufacturing: Waste from one industrial process can serve as the raw materials for another, thereby reducing the impact of industry on the environment. *Scientific American* (261,3) 144-152.
- Singh J. e Ordonez I. (2016) Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy. *Journal of Cleaner Production* (134) 342-353.
- Smol M., Kulczycka J., Henclik A. et. al. (2015) The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. *Journal of Cleaner Production* (95) 45-54.
- Spring M. e Araujo L. (2016) *Industrial Marketing Management* (in press) <http://dx.doi.org/10.1016/j.indmarman.2016.07.001>.
- Stahel W. (1976) *The Potential for Substituting Manpower for Energy In: EU Commission report, Jobs for Tomorrow*. Vantage Press, New York.
- Stahel W.R. (2016) Circular economy: A new relationship with our goods and materials would save resources and energy and create local jobs. *Nature* (531) 435-438.
- Su B., Heshmati A., Geng Y. et. al. (2013) A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. *Journal of Cleaner Production* (42) 215-227.
- Tiezzi E. e Marchettini N. (1999) *Che cos'è lo sviluppo sostenibile? Le basi scientifiche della sostenibilità e i guasti del pensiero unico*. Roma: Donzelli.
- Tukamuhabwa B.R., Stevenson M.J., Busby J. et al. (2015) Supply chain resilience: definition, review and theoretical foundations for further study. *International Journal of Production Research* (53) 5592-5623.
- UNEP (2006) *Circular Economy: An alternative for economic development*. Paris: UNEP DTIE
- UNEP (2011) *Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impact from Economic Growth*. Paris: UNEP DTIE.
- UNEP (2011a) *Toward a green economy Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*. St-Martin-Bellevue, France: UNEP DTIE.
- Venkatachalam L. (2007) Environmental economics and ecological economics: Where they can converge?. *Ecological Economics* (61) 550-558.
- Witjes S. e Lozano R. (2016) Towards a more Circular Economy: Proposing a framework linking sustainable public procurement and sustainable business models. *Resources, Conservation and Recycling* (112) 37-44.
- Xi H. (2011) Models of Circular Economy on Agriculture in Yunnan Province. *Energy Procedia* (5) 1078-1083.
- Xinan L. e Yanfu L. (2011) Driving Forces on China's Circular Economy: From Government's perspectives. *Energy Procedia* (5) 297-301.
- Xue B., Chen X., Geng Y. et. al. (2010) Survey of officials' awareness on circular economy development in China: Based on municipal and county level. *Resources, Conservation and Recycling* (54) 1296-1302.
- Zeng H., Chen X., Xiao X. et al. (2016) Institutional pressures, sustainable supply chain management, and circular economy capability: Empirical evidence from Chinese eco-industrial park firms. *Journal of Cleaner Production*, (55), 2, 54-65.
- Zeng S. e Zhang H. (2011) Promoting low-carbon development of electric power industry in China: A circular economy efficiency perspective. *Energy Procedia* (5) 2540-2548.
- Zhao H., Zhao H. e Guo S. (2017) Evaluating the comprehensive benefit of eco-industrial parks by employing multi-criteria decision making approach for circular economy. *Journal of Cleaner Production* (142) 2262-2276.
- Zhao Y., Zang L., Li Z. et. al. (2012) Discussion on the Model of Mining Circular Economy. *Energy Procedia* (16) 438-443.
- Zhilei Y. e Wei W. (2011) The Research on Pricing Strategy for Perishable High-tech Products Based on Circular Economy. *Energy Procedia* (5) 1842-1846.
- Zhou Z. e Zhao W. (2017) MFCA extension from a circular economy perspective: Model modifications and case study. *Journal of Cleaner Production* (149) 110-125.
- Zhu Q., Geng Y. e Lai K. (2010) Circular economy practices among Chinese manufacturers varying in environmental-oriented supply chain cooperation and the performance implications. *Journal of Environmental Management* (91) 1324-1333.
- Zink T. e Geyer R. (2017) Circular Economy Rebound. *Journal of Industrial Ecology* (21), 3, 593-602.





# INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2017 è sostenuta da:

**STADLER**<sup>®</sup>  
STADLER ITALIA S.r.l.



 **VEOLIA**  
Veolia Water Technologies Italia S.p.A.

*SOLV*air Solutions

 **INGEGNERIA  
DELL'AMBIENTE**



N. 3/2017

Ledizioni 



**CiAI** Consorzio  
Imballaggi  
Alluminio

  
**UNICALCE**  
*Innoviamo la tradizione*



**ecopneus**  
il futuro dei pneumatici fuori uso, oggi

  
**iren**

**VOMM**

 **RICREA** 20<sup>1997</sup>  
CONSORZIO NAZIONALE RICICLO  
E RECUPERO IMBALLAGGI ACCIAIO 2017

**ALLEGRI**  
ecologia  
trattamento acque

**KSB** 

**PASSAVANT**  
IMPIANTI   
progettazione e costruzione impianti trattamento acque, fanghi e rifiuti

 **comieco**  
Consorzio Nazionale Recupero e Riciclo  
degli Imballaggi a base Cellulosica

**conTec**

 **SEAM**  
engineering  
l'acqua e l'ambiente