



**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE**

**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

*Corso di laurea triennale in Ingegneria Gestionale*

*Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze*

*Matematiche*

**ASPETTI GESTIONALI DELL'ECONOMIA CIRCOLARE**

**MANAGEMENT ASPECTS OF THE CIRCULAR ECONOMY**

*Relatore: Prof. Maurizio Bevilacqua*

*Laureando: Alessandro Borraccini*

Anno Accademico 2020-2021

## INDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introduzione.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2. L’Economia Circolare ed i suoi aspetti principali.....</b>                               | <b>7</b>  |
| <b>3. Il framework ReSOLVE.....</b>  | <b>16</b> |
| <b>4. Connessione tra Industria 4.0 ed Economia<br/>Circolare.....</b>                         | <b>23</b> |
| <b>5. Strategie circolari e sistemi di controllo.....</b>                                      | <b>27</b> |
| <b>6. Gestione sostenibile della supply chain.....</b>   | <b>32</b> |
| <b>7. Targets dell’Economia Circolare.....</b>   | <b>40</b> |
| <b>8. Barriere e fattori critici per promuovere l’Economia<br/>Circolare (case study).....</b> | <b>44</b> |
| <b>8.1 Caso Finlandia.....</b>   | <b>44</b> |
| <b>8.2 Caso Cina.....</b>  | <b>48</b> |
| <b>9. Conclusioni.....</b>   | <b>55</b> |
| - <b>Bibliografia.....</b>   | <b>57</b> |
| - <b>Sitografia.....</b>   | <b>58</b> |

## 1. INTRODUZIONE

Recentemente, in quel di New York, è apparso un particolare orologio che mostra due numeri: il primo, in rosso, segna un timer, il quale indica quanto tempo ci rimane per agire contro il riscaldamento globale in modo da mantenere la soglia sotto l'1.5 °C ed al momento della scrittura di questa tesi il countdown segna 7 anni e 55 giorni; il secondo, in verde, traccia invece l'aumento della percentuale dell'energia del mondo che attualmente proviene da fonti rinnovabili, rappresentando il valore da raggiungere, il 100%, entro lo scadere del timer in rosso ed attualmente stiamo raggiungendo il 28%. Questo dimostra quanto il tema della sostenibilità ambientale sia diventato rilevante negli ultimi anni. Perciò si è andato in cerca di diversi modi per creare una società sempre più "green", tra cui spicca il sistema dell'Economia Circolare. La Circular Economy (CE) è un sistema economico che emerge per opporsi al sistema lineare aperto (produrre, consumare, smaltire), con l'obiettivo di realizzare uno sviluppo sostenibile, creando contemporaneamente qualità ambientale, prosperità economica ed equità sociale a vantaggio di generazioni attuali e future. Un effetto collaterale della crescente popolarità del concetto di economia circolare tra le comunità politiche, industriali e accademiche è la mancanza di coerenza intorno alla sua definizione e al suo ambito di azione. Consapevole delle opportunità di business che l'economia circolare può procurare, la Commissione europea compie sforzi significativi per sostenere la transizione verso un'economia più sostenibile, a basse emissioni di carbonio, efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva. In questa tesi si andranno a trattare vari aspetti gestionali dell'Economia Circolare cercando di creare una visione generale e complessiva dei vari ambiti in cui può essere applicata, andando ad esplicitare quali possono essere le cause e gli effetti delle problematiche rivolte alla sua implementazione e come

superarle. Nel primo capitolo viene fornita una overview sul concetto di Economia Circolare, spiegando i temi principali ed i loro ambiti di applicazione, ovvero: la logistica inversa e la gestione dei rifiuti; dal riciclaggio del prodotto al riciclaggio delle materie prime; by-products e co-products; sostenibilità, emissioni di gas serra e consumo di energia; l'attuazione di supply chain su più livelli e la metrica per misurare la transizione verso la CE. Nel secondo capitolo mi sono soffermato su di un framework in particolare, ReSOLVE, utile per assistere le organizzazioni, spiegando come esso organizza i principi di circolarità in sei azioni fondamentali: Regenerate, Share, Optimize, Loop, Virtualize ed Exchange. Nel terzo sono andato ad esplorare la connessione che si presenta tra l'Economia Circolare e l'Industria 4.0, essendo anche quest'ultima ancora in fase di transizione ma che già presenta considerevoli vantaggi nell'ecosostenibilità, quali l'utilizzo dell'Internet of Things, l'analisi dei big data e l'automazione dei processi, e come questi riescono ad integrarsi nel framework ReSOLVE discusso precedentemente. Nel quarto vado ad analizzare le strategie circolari, come queste si adattino al loro modello di business e come adattare i sistemi di controllo di gestione appropriati, esplicitando quali sono i controlli e come essi si adattino alla CE. All'interno del quinto capitolo andrò ad approfondire il tema della gestione sostenibile della supply chain, differenziando i concetti di Weak Sustainability e Strong Sustainability, Closed Loop Supply Chain ed Open Loop Supply Chain e chiarire i concetti di Circular Business Model e Circular Supply Chain con allegati abilitatori organizzativi per poterli attuare, quali facilitatori di processo e la narrativa organizzativa persuasiva. Con il sesto capitolo ho evidenziato il concetto di "Target" e quali essi sono all'interno dell'Economia Circolare, specificando 10 strategie della CE, numerate da R0 a R9, e quali sono i target per ognuna di esse. Nel settimo ed ultimo capitolo andrò ad analizzare due casi di studio effettuati in due paesi, uno interno all'interno dell'Unione Europea, la Finlandia, e l'altro esterno ma molto collegato alla

CE, la Cina, in quanto uno dei primi attuatori della stessa; in questi due casi si tratterà principalmente quali sono i fattori critici per promuovere la transizione verso l'Economia Circolare e quali invece sono le barriere che la ostacolano maggiormente. Si può notare dunque come il concetto di Economia Circolare sia ancora lontano dall'essere completamente inglobato all'interno della società attuale, ma anche che sta compiendo dei passi in avanti sia nella letteratura che a livello di applicazione.

## 2. L'ECONOMIA CIRCOLARE ED I SUOI ASPETTI PRINCIPALI

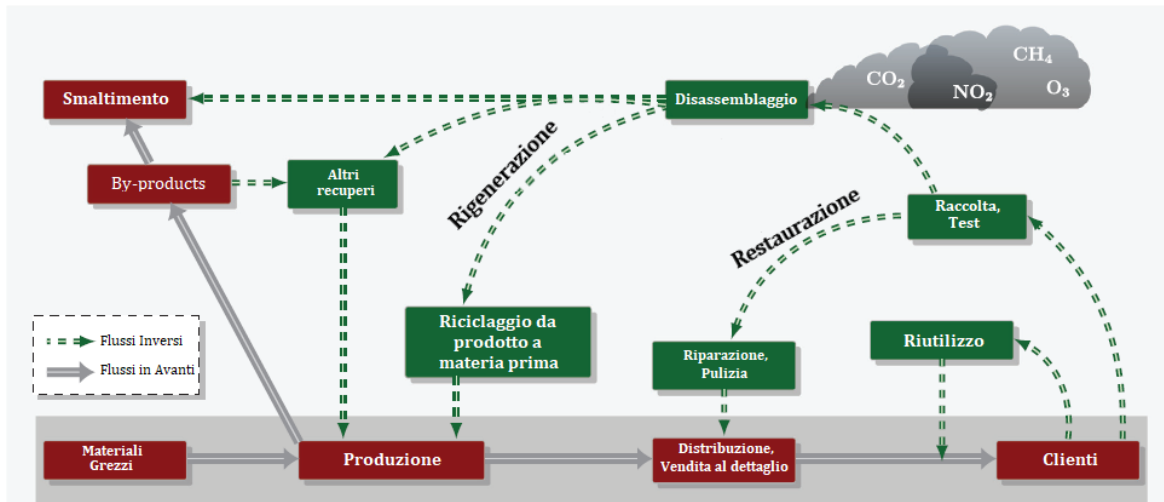


Fig. 1. Overview sull'Economia Circolare

Poiché i processi di produzione hanno un forte impatto durante tutta la vita del prodotto sull'approvvigionamento, sull'uso delle risorse e sulla generazione di rifiuti, possiamo distinguere quattro temi principali che trattano dell'economia circolare e delimitarne l'ambito:

- Logistica inversa e gestione dei rifiuti, smontaggio per riciclaggio: si riferiscono a tutte le operazioni rispettose dell'ambiente legate al riutilizzo di prodotti e materie prime. Il riutilizzo rappresenta l'utilizzare ancora senza modifiche strutturali i prodotti che non sono rifiuti per lo scopo originario. Il primo passaggio cruciale nella maggior parte delle operazioni di elaborazione dei prodotti a fine vita / utilizzo è lo smontaggio. Da un punto di vista ingegneristico, il disassemblaggio può essere definito come un processo sistematico e selettivo di separazione di un articolo in componenti, sottoinsiemi o altri raggruppamenti. Nell'ambito della gestione delle operazioni, i problemi di disassemblaggio quantitativo possono essere classificati in quattro tipi generici di problemi:
  - Smontaggio su ordinazione: determinare la dimensione del lotto di un mix di diversi tipi di prodotti a fine vita / uso da

smontare per soddisfare la domanda di parti o componenti. Due criteri di ottimizzazione sono la riduzione al minimo del numero di prodotti da smontare o la somma dei costi relativi al processo di smontaggio. I prodotti a fine vita / utilizzo possono avere parti in comune. La comunanza delle parti significa che i prodotti o i sottoinsiemi condividono le loro parti o componenti.

- Dimensionamento lotto smontaggio: programmare, per una data struttura di disassemblaggio, la quantità di prodotti smontati a fine vita / uso e loro componenti in ogni periodo di un orizzonte di pianificazione al fine di soddisfare la domanda delle loro parti o componenti. Il criterio di ottimizzazione considerato cerca comunemente di ridurre al minimo la somma di una combinazione di costi: installazione, penalità, sovraccarico, vendite perse e conservazione delle scorte. Si noti che la pianificazione dello smontaggio include una tempistica dello smontaggio, a differenza dello smontaggio su ordinazione.
- Sequenza di smontaggio: trovare il miglior ordine delle operazioni di smontaggio, ottimizzando i costi legati al ciclo di vita dei prodotti a fine vita / utilizzo.
- Bilanciamento della linea di smontaggio: assegnare compiti di smontaggio a postazioni qualificate, nel rispetto dei rapporti di precedenza. L'obiettivo di solito mira a ridurre al minimo il numero di postazioni di lavoro, il tempo di inattività delle postazioni di lavoro, il tempo di ciclo, ecc., oppure una combinazione di questi parametri.

- Dal riciclaggio del prodotto al riciclaggio delle materie prime: il termine riciclaggio significa: "qualsiasi operazione di recupero mediante la quale i materiali di scarto vengono ritrattati in prodotti, materiali o sostanze sia per gli scopi originali che per altri scopi". Nella letteratura sulla pianificazione della produzione spiccano principalmente due termini per il riciclaggio: il rinnovamento, emerge come un processo di recupero attraverso il quale i rifiuti vengono raccolti, testati, riparati, puliti e rivenduti come prodotti usati funzionanti, senza essere stati smontati; la rigenerazione, invece, è più frequentemente identificata come un'operazione di recupero di prodotti usati, inclusa la raccolta, la riparazione, lo smontaggio e la sostituzione di componenti usurati per la ricostruzione dei prodotti al livello di qualità di quelli di nuova fabbricazione e la sua principale particolarità risiede nello smontaggio dei prodotti.

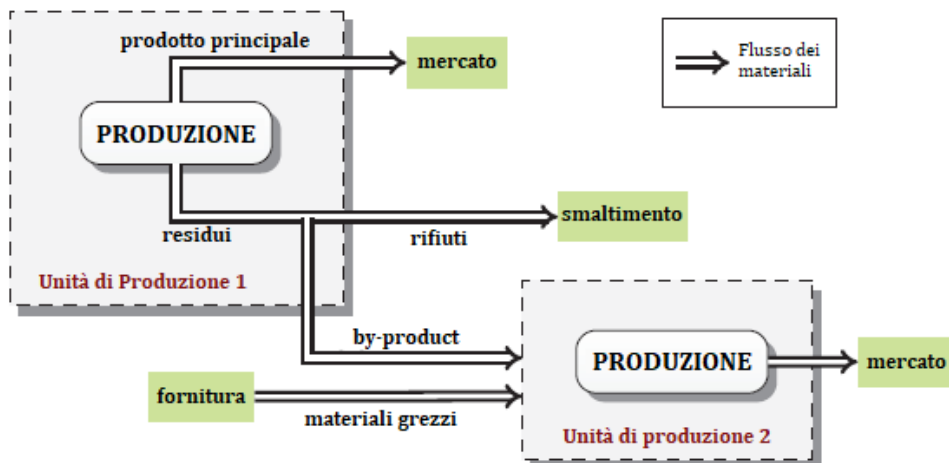


Figura 2. Sistema di produzione con inclusa la rigenerazione

Nel concetto di rigenerazione rientrano due operazioni di recupero: la conversione di merci usurate in nuove o come nuove, e il ritorno di materiale ottenuto durante lo smontaggio in produzione come materiale di valore. Anche se non c'è una chiara distinzione tra i vari termini come rigenerazione, è chiaro che questo termine è diventato un termine standard per un processo di recupero industriale di



prodotti restituiti, che richiede diverse operazioni di lavorazione, tra cui spesso l'operazione di smontaggio. La produzione e la rigenerazione sono due modalità di produzione alternative e concorrenti, che condividono lo stesso ambiente industriale e spesso portano agli stessi prodotti riutilizzabili. Di conseguenza, i sistemi di pianificazione della produzione per la rigenerazione sollevano nuove domande per la produzione e la gestione delle scorte, la cui buona posizione dipende fortemente dalle impostazioni del sistema.

- By-products e Co-products: avendo importanza simile ad un prodotto principale, i coprodotti (Co-products) sono generati insieme ad un prodotto principale e hanno una propria domanda, mentre i sottoprodotti (By-products) sono solitamente prodotti inaspettati emessi da un processo di fabbricazione e hanno un valore economico inferiore rispetto ad output di produzione controllabili. Un'ampia gamma di processi di produzione industriale genera più prodotti in un unico ciclo di produzione con diversi livelli di qualità, valori economici, impatti ambientali e status di rifiuto o non rifiuto. Questo fenomeno è noto in letteratura come coproduzione e può essere deliberato o non deliberato, controllato o incontrollato. L'esaurimento delle scarse risorse naturali e l'abbondanza dell'accumulo di rifiuti nelle discariche portano le nostre generazioni e quelle future a cercare percorsi per convertire gli inevitabili output di produzione in prodotti utili e ad alto valore aggiunto, ma nessuna distinzione chiara e universale tra non rifiuti e prodotti di scarto può essere disegnata a causa delle specificità industriali che variano tra i settori e della tecnologia di produzione in continua evoluzione. Per quanto riguarda i by-products, l'articolo 3 del Waste Framework Directive (Europe) specifica: "una sostanza o un oggetto, risultante da un processo di produzione, il cui scopo principale non è la produzione di tale articolo, può essere considerato come non rifiuto,

[...] Ma come by-product solo se sono soddisfatte le seguenti condizioni: (a) l'ulteriore utilizzo della sostanza o dell'oggetto è certo; (b) la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza ulteriori trattamenti diversi dalla normale pratica industriale; (c) la sostanza o l'oggetto è prodotto come parte integrante di un processo di produzione; e (d) l'ulteriore utilizzo è lecito... ". Altre definizioni chiariscono la distinzione tra rifiuti e sottoprodotti:

- Un prodotto è tutto il materiale legale creato deliberatamente in un processo di produzione. Il termine include i co-products.
- Un residuo di produzione è un materiale non prodotto deliberatamente in un processo di produzione ma può o non può essere considerato un rifiuto.
- Un by-product è un residuo di produzione che non è uno scarto. Per definizione, i by-product sono output di produzione leciti, il cui ulteriore utilizzo è sostenibile dal punto di vista economico e ambientale.

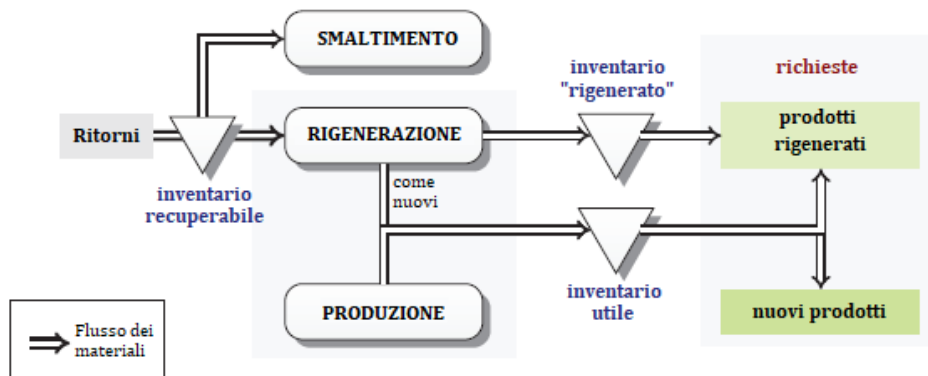


Figura 3. Diagramma di flusso dei processi della sinergia dei by-products

- Sostenibilità ed i suoi tre pilastri (economico, ambientale e sociale), emissioni di gas serra (Green House Gasses, GHG) e consumo di energia: l'economia circolare racchiude lo sviluppo sostenibile, definito come lo "sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza

compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni” (Keeble, 1988). Il pilastro economico è implicitamente considerato per mezzo di funzioni oggettive orientate all'economia dei problemi di dimensionamento dei lotti relativi alla CE, che includono parametri economici come costi, profitti, redditi. I ricercatori hanno iniziato a interessarsi seriamente alla riduzione dei gas serra integrando le emissioni di carbonio generate durante le operazioni di produzione, trasporto e rigenerazione nei loro modelli. Per quanto riguarda la riduzione delle emissioni di GHG, le politiche più comuni sono le seguenti:

- Soglia di emissione: una politica normativa la quale impone una quantità massima di emissioni di carbonio, che non può essere violata. Lo svantaggio principale di questa politica è la mancanza di incentivi per ridurre le emissioni oltre il limite di emissioni gratuite richiesto. Le aziende possono decidere di raggiungere la soglia imposta anche se potrebbero soddisfare le loro esigenze emettendo meno gas serra.
- Prezzo del carbonio: questo strumento normativo impone e penalizza le emissioni di GHG in base alla loro quantità.
- Scambio di carbonio / emissioni: uno strumento di mercato per ridurre i gas serra. Questa forma di regolamentazione rappresenta un compromesso tra le due precedenti politiche discusse e si riferisce a: i limiti della quantità di emissioni di GHG su un determinato orizzonte temporale e le aziende che concedono i cosiddetti permessi per emettere una determinata quantità di GHG.
- La politica di compensazione delle emissioni di carbonio consente alle aziende di investire nei cosiddetti compensi. Una compensazione del carbonio è un credito per le riduzioni

di GHG ottenute da una parte, che può essere acquistata e utilizzata per compensare le emissioni di un'altra parte.

A livello di gestione operativa, le preoccupazioni relative alle emissioni di carbonio sono sempre più prese in considerazione nell'ambito di varie applicazioni, comprese le scelte di ubicazione delle strutture nei problemi di progettazione della rete della catena di approvvigionamento (Supply Chain), la programmazione della produzione e problemi di trasporto merci su strada / marittimo, problemi di gestione dell'inventario, pianificazione della produzione.

Le interferenze tra il flusso inverso e quello diretto influiscono sul processo di pianificazione della produzione, che comprende: la pianificazione del recupero e dell'approvvigionamento delle materie prime, e la pianificazione delle attività di produzione necessarie per trasformare i materiali in ingresso in prodotti finiti per soddisfare le richieste del cliente, coprendo sia i prodotti nuovi che quelli rigenerati. I flussi inversi influenzano i livelli decisionali dei sistemi di produzione in diverse proporzioni:

- I problemi di pianificazione della produzione operativa si riferiscono a decisioni a breve termine, come il bilanciamento o la pianificazione della linea. Una volta determinate le esigenze a medio termine, questi problemi decisionali possono, nella maggior parte dei casi, assimilare i flussi di produzione inversa senza vincoli o costi aggiuntivi nelle funzioni oggettive.
- I problemi di pianificazione della produzione a medio termine cercano di assistere i manager / le imprese a livello tattico nel decidere quanto e quando: produrre e ordinare nuovi beni, montare o smontare e produrre o rigenerare. Tutti i flussi orientati alla CE cambiano la struttura del tradizionale percorso di produzione lineare, aggiungendo un ulteriore livello di complessità alla pianificazione della produzione a medio termine.

- Più in generale, i problemi di pianificazione strategica operano a livello di supply chain, integrando le decisioni di approvvigionamento, distribuzione e recupero. Sebbene le decisioni strategiche nella CE siano di cruciale importanza e investimento, la loro posa e presa sono meno frequenti e avvengono a monte della costituzione della supply chain.

I flussi orientati nella CE rompono la struttura dei problemi decisionali tattici ben studiati basati su un approccio di produzione lineare. I flussi inversi non possono essere assimilati come tali e richiedono di essere esplicitamente integrati e considerati negli ambienti di produzione reali. Oltre agli impatti economici e ambientali, le decisioni di dimensionamento dei lotti influenzano anche la salute e la sicurezza dei lavoratori in termini di implicazioni umane come il numero di ore di lavoro, la fatica umana e il recupero, gli effetti di apprendimento / dimenticanza, consumo di energia metabolica e indennità di riposo. L'integrazione dei fattori umani e dell'ergonomia nella pianificazione della produzione è un argomento particolarmente attuale sottolineato dalla crescente preoccupazione per una pianificazione della produzione human-friendly.

Le nuove dosi di investimenti in un sistema CE devono provenire dalla rigenerazione delle risorse e devono ottimizzare le risorse e la sostenibilità ambientale all'interno del sistema a circuito chiuso nelle supply chain. Per realizzare e massimizzare gli effetti moltiplicatori della CE, il tradizionale sistema di supply chain a circuito chiuso dovrebbe essere riconsiderato come un sistema di supply chain a più circuiti (supply chain multilivello) in cui i materiali riciclati e riutilizzati da un ciclo di vita precedente vengono ringiovaniti con nuovi valori e funzionalità. Esistono lacune nella ricerca in quest'area da entrambe le prospettive di risorse / materiali, limitazione tecnologica e modelli di consumo:

- Risorse o materiali: sistemi di supply chain multipla a circuito chiuso devono coordinarsi e cooperare per massimizzare il riutilizzo e il potenziale di riciclaggio e per acquisire valori aggiuntivi integrando tutte le attività della supply chain.
- Limiti tecnologici: i limiti tecnologici rappresentano un ostacolo per i nuovi cicli di vita dei prodotti o dei rifiuti che potrebbero riformare i materiali o le risorse in un nuovo prodotto riciclato e portare alla riprogettazione del sistema di servizio del prodotto.
- Modello di consumo: tutti i prodotti o il sistema prodotto-servizio nelle supply chain a ciclo chiuso multi-periodo possono essere riprogettati e diventare materie prime o risorse del successivo ciclo di vita del nuovo prodotto, aggiungendo così valore alle risorse o ai materiali.

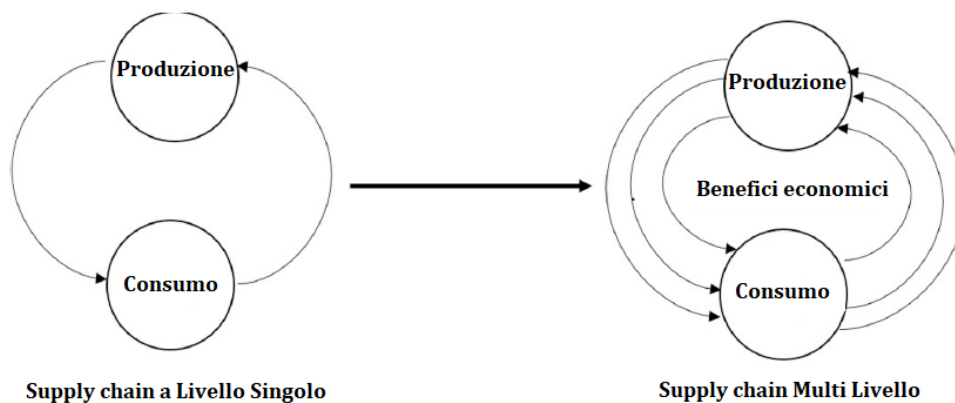


Figura 4. Supply chain da livello singolo a multilivello

Pertanto, la supply chain multipla a ciclo chiuso presenta limitazioni sulle prospettive di risorse / materiali, tecnologia e modelli di consumo, mentre il sistema di catene di approvvigionamento multilivello aumenta l'effetto moltiplicatore perché aiuta a massimizzare le risorse o i materiali, superare la limitazione della tecnologia e comprendere il modello di consumo. Tuttavia, è necessario monitorare gli effetti del sistema della supply chain

multilivello sulla diffusione della CE utilizzando strumenti di valutazione del ciclo di vita.

Una metrica principale per misurare la transizione verso un'economia circolare è il tasso di riciclaggio, uno standard prevalente a causa della legislazione attuale e quindi incorporato nelle serie di rapporti a lungo termine. La letteratura scientifica include un ricco set di metriche per valutare l'economia circolare. Si va dai semplici tassi di riciclaggio e di smaltimento dei rifiuti alla produttività delle risorse, fattori di sostituzione, disponibilità di magazzino, tempo di ritenzione del materiale e fattori di complessità del prodotto, che tentano tutti di catturare i molteplici aspetti del ciclo di vita del prodotto all'interno di un'economia circolare. Le metriche per misurare e valutare la transizione verso un'economia circolare si sono rivelate più efficaci se possono essere calcolate e comunicate in modo diretto e semplice. Le misure privilegiate dovrebbero essere indirizzate al raggiungimento degli obiettivi generali di un'economia circolare, che comporta una riduzione dei rifiuti e una diminuzione della domanda di materie prime primarie poiché entrambi sono associati a impatti ambientali significativi e devono affrontare limiti globali. Diventa chiaro che il tasso di riciclaggio contiene alcuni punti deboli nell'affrontare gli aspetti principali di questi obiettivi. Quindi, ricordare le ragioni per cui puntiamo a un'economia circolare – la riduzione dello smaltimento dei rifiuti, il risparmio delle risorse primarie e gli impatti ambientali associati – suggerisce che oltre a un indicatore di riciclaggio basato sui rifiuti, è necessaria anche una metrica orientata alle risorse.

### 3. IL FRAMEWORK ReSOLVE

Sono stati sviluppati diversi framework e nuove pratiche per assistere le organizzazioni nell'implementazione di prodotti e processi circolari. Uno dei framework più utilizzati è ReSOLVE. Questo framework organizza i principi di circolarità e li applica attraverso sei azioni fondamentali: Regenerate (Rigenera), Share (Condividi), Optimize (Ottimizza), Loop (Cicla), Virtualize (Virtualizza) ed Exchange (Scambia).

- **Regenerate:** un'ampia serie di azioni che mantengono e migliorano la capacità biologica della Terra. Ciò include la transizione dai combustibili fossili limitati alle energie rinnovabili. Comprende anche il recupero del suolo e il ripristino o la protezione degli ecosistemi.
- **Share:** la condivisione sfrutta in modo efficiente l'uso dei beni. In questo modo, la proprietà non è necessaria per godere del valore di un prodotto.
- **Optimize:** miglioramenti nell'efficienza di risorse, componenti e materiali, sia nel ciclo tecnico che biologico. Inoltre, vengono applicati strumenti derivati da big data, automazione e rilevamento, al fine di ridurre gli sprechi senza modificare il prodotto o la tecnologia.
- **Loop:** mira a mantenere componenti e materiali in circuiti chiusi. Ciò significa promuovere la rigenerazione e il riciclaggio, nonché il riutilizzo e il compostaggio (per il materiale organico). Il principio è quello di evitare il più possibile la messa in discarica o l'incenerimento e di promuovere il ritorno dei rifiuti all'economia, sfruttandone il valore internamente o in un'altra supply chain.
- **Virtualize:** il processo di virtualizzazione mira a fornire valore senza la necessità di materializzarlo come risorsa fisica.
- **Exchange:** vengono adottate nuove tecnologie, migliorando il modo in cui la società produce beni e servizi. Tra le tecnologie che possono



supportare questo modello circolare ci sono nuovi materiali rinnovabili e metodi di riciclaggio e processi più efficienti dal punto di vista energetico.

Ma quali attività dovrebbero essere ulteriormente sviluppate per supportare un particolare modello di business?

I progressi nella progettazione ecocompatibile contribuiscono direttamente al modello di business “Regenerate”, stimolando l’uso di materiali ed energia da fonti rinnovabili, nonché l’uso di materiali biodegradabili. Nuove capacità e procedure di lavoro sono necessarie affinché le decisioni di sviluppo del design del prodotto nella gestione operativa (Operation Management, OM) seguano il modello di business rigenerato. I progettisti dovrebbero essere aperti ai prodotti riciclati, con conseguente spostamento verso l’uso di risorse rinnovabili, nonché l’adozione di approcci di design circolare o di design del ciclo di vita, ripristinando la capacità degli ecosistemi.

Per quanto riguarda il modello di business “Share”, le pratiche di progettazione come la flessibilità del prodotto consentono di adattare rapidamente i prodotti per garantire l’utilità per più di un utente. Mantenendo la proprietà dei prodotti, i produttori controllano la manutenzione e lo scambio di parti, gli aggiornamenti, lo smontaggio e il riciclaggio quando necessario; pertanto, è importante porre l’accento sul design del prodotto. Nuove capacità e procedure di lavoro, relazioni e tecnologia saranno tutte necessarie affinché le decisioni di sviluppo del design del prodotto in OM siano conformi al modello di business condiviso. La progettazione incentrata sull’utente è una capacità richiesta per il modello di condivisione, che incoraggia le organizzazioni a progettare prodotti allineati con più utenti, nonché l’orientamento al servizio. Pertanto, stretti rapporti con i clienti sono fondamentali per progettare prodotti versatili e comprendere i fattori che portano all’obsolescenza del prodotto, spostandosi verso un livello ridotto dello stesso. L’analisi dei big data è una

tecnologia che può aiutare i progettisti a realizzare prodotti intelligenti, consentendo un miglioramento continuo della produzione dei cicli di vita.

Logistica e pianificazione e controllo della produzione (PCP) possono supportare il modello di “Optimize” modificando gli indicatori di prestazione utilizzati per l’eco-efficienza e una produzione più pulita. Questi indicatori includono misure di circolarità e misure di recupero dei rifiuti necessarie per ottenere un processo “zero rifiuti”. C’è una tendenza nell’impiego delle tecnologie Industria 4.0 (I4.0) per un utilizzo ottimale delle risorse, con benefici economici e ambientali. L’utilizzo di tecnologie come l’Internet of Things (IoT), sensori incorporati, big data e cloud computing favorisce l’affidabilità dei processi, grazie a piani e pianificazioni di produzione accurati che, a loro volta, favoriscono la minimizzazione degli sprechi. La simbiosi industriale e gli eco-parchi integrati aiutano anche a coordinare le attività di riutilizzo e rigenerazione, che rimuovono direttamente i rifiuti attraverso un’intera catena. Nuove capacità e procedure di lavoro, relazioni e tecnologia saranno tutte necessarie nel PCP e nel processo decisionale logistico / della supply chain in OM al fine di conformarsi al modello di business Optimize. Per questo modello sono necessari adeguati sistemi di indicatori relativi all’efficienza del “verde” e della circolarità, nonché nuove procedure incentrate su una produzione più pulita e sugli acquisti “verdi”. Ulteriori relazioni all’interno dei parchi eco-industriali migliorerebbero l’ottimizzazione del flusso di materiali ed energia. Le tecnologie IT (Information Technology), compresa l’automazione dei processi, consentirebbero una migliore connessione tra macchine, ordini di produzione e dipendenti per monitorare il flusso dei materiali.

Il modello “Loop” richiede una forte integrazione tra le varie aree decisionali nelle operazioni. Il modello circolare amplia la portata di questa ripresa attraverso un maggiore coordinamento tra le organizzazioni partner. In questo senso, il prodotto dovrebbe essere progettato per ridurre l’uso delle risorse e incoraggiare il riutilizzo e il riciclaggio sia all’interno

dell'organizzazione che nei suoi partner nella catena di fornitura. La PCP dovrebbe essere pronta a incorporare l'uso di materiali recuperati nella pianificazione dei materiali, assicurando che le operazioni abbiano una capacità sufficiente per conciliare la produzione convenzionale con la rigenerazione. L'integrazione nella supply chain dipende da una politica di manipolazione, trasporto e stoccaggio che supporti il flusso inverso. Perciò, la logistica inversa porta a importanti progressi scientifici grazie all'adozione del modello circolare. Gli eco-parchi industriali possono anche facilitare la generazione di anelli nella supply chain consentendo l'integrazione geografica tra i livelli. Nuove capacità e procedure di lavoro, relazioni e tecnologia saranno tutte necessarie affinché la progettazione del prodotto, il PCP e le decisioni di logistica / supply chain nell'OM raggiungano il modello di business del ciclo. La progettazione di prodotti flessibili, integrata con la produzione di ritiro, nonché il coordinamento all'interno di simbiosi industriali, sarà necessaria affinché le organizzazioni seguano il modello Loop. Le procedure di lavoro relative allo smontaggio e alla pianificazione flessibile della produzione, inclusa la pianificazione degli ordini che deve tenere conto dell'incertezza nella fornitura di componenti smontati e ricostruiti, sono importanti anche per le organizzazioni che mirano a un modello Loop. Il coinvolgimento delle parti interessate con le cooperative di riciclaggio e i clienti è un rapporto che deve essere sviluppato dalle organizzazioni nel modello Loop al fine di migliorare il tasso di prodotti post-consumo, che possono essere reintrodotti nella supply chain. Le tecnologie possono agire come fattori abilitanti per il riutilizzo di rifiuti e by-products all'interno delle supply chain, così come la progettazione di prodotti intelligenti, che possono essere tracciati e seguiti per facilitare la raccolta dopo il consumo.

L'essenza del modello di "Virtualize" è la dematerializzazione. La personalizzazione di massa ha reso possibile questo tipo di attività e questo modello riduce le scorte di materiale superflue. Il Product-Service Systems

(PSS) orientato ai risultati favorisce una maggiore dematerializzazione, poiché l'attenzione non è più sull'elemento fisico. La dematerializzazione è una nuova capacità per le organizzazioni che mira a raggiungere il modello Virtualize, che richiederà una personalizzazione di massa. Devono essere messe in atto anche ulteriori procedure di lavoro, come le decisioni PCP riguardanti la variabilità degli ordini di elaborazione e il tempo di elaborazione. L'uso di stampanti 3D e la manifattura additiva saranno necessarie poiché le nuove tecnologie consentono alla PCP di allinearsi con il modello Virtualize.

Nuove tecnologie di produzione saranno necessarie affinché le decisioni di PCP in OM siano in linea con il modello di business "Exchange". La sostituzione delle pratiche tradizionali di modellazione dei materiali con le tecnologie di produzione additiva contribuisce ad un migliore utilizzo dei materiali, riduce le fasi di produzione e consente una strategia di personalizzazione di massa. Allo stesso modo, le tecnologie di produzione digitale, come quelle basate sulla stampa 3D, incoraggiano la decentralizzazione della produzione e l'uso dell'automazione dei processi

aumenta l'accuratezza della previsione della domanda e l'efficienza dei livelli di produzione.

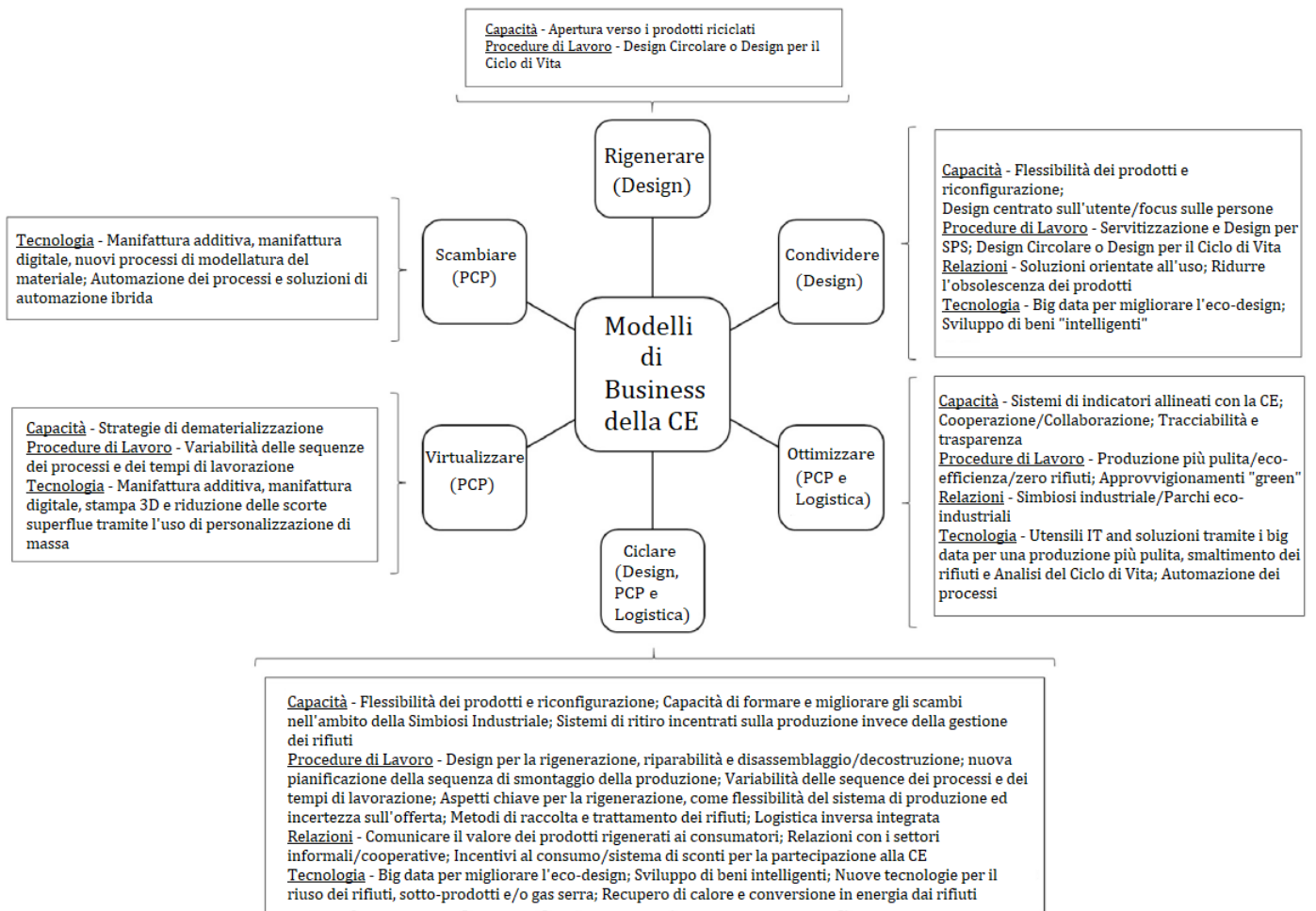


Figura 5. Modi in cui il decision-making del OM può supportare ogni modello di business della CE

Per riassumere, il modello di business "Loop" è quello che influenza il processo decisionale OM nel suo complesso. Le decisioni di progettazione del prodotto, PCP e logistica / supply chain sono necessarie per cambiare il modo tradizionale di implementare le decisioni. Pertanto, le organizzazioni che mirano a adottare modelli di Loop dovrebbero pianificare attentamente la loro transizione verso l'adozione dei principi CE. Il modello "Optimize" richiede anche cambiamenti significativi nelle decisioni di PCP e logistica / supply chain. I cambiamenti nella tecnologia supportano questo modello di business attraverso il processo decisionale OM. I modelli di business

"Regenerate" e "Share" tendono a richiedere più modifiche nella progettazione del prodotto, mentre il modello "Share" richiede profondi cambiamenti nell'area di progettazione. I modelli di "Virtualize" e "Share" richiedono cambiamenti nelle decisioni PCP e le procedure di lavoro e la tecnologia giocano un ruolo importante in queste decisioni. Il PCP richiederà un ulteriore sviluppo di nuove competenze per supportare i modelli di business CE rispetto alle altre due aree del processo decisionale. Quattro dei sei modelli di business CE richiedono il supporto PCP. Le decisioni sulla logistica / supply chain richiederanno anche lo sviluppo di nuove competenze nel contesto della CE, ma possono utilizzare le conoscenze e gli strumenti esistenti, come la cooperazione e la collaborazione. Inoltre, solo due dei sei modelli di business CE richiedono veramente cambiamenti nel processo decisionale logistico / della supply chain. Pertanto, il PCP, la progettazione del prodotto e le decisioni di logistica / supply chain - in questo ordine - richiederanno il miglioramento e lo sviluppo delle competenze per supportare le organizzazioni nel loro viaggio verso la CE.

## **4. CONNESSIONE TRA INDUSTRIA 4.0 ED ECONOMIA CIRCOLARE**

Nel sistema operativo contemporaneo, l'I4.0 e la sostenibilità giocano un ruolo significativo. La sinergia di entrambi ha il potenziale per spostare ulteriormente la società sostenibile. Le questioni ambientali ed economiche relative alla gestione delle operazioni delle organizzazioni vengono affrontate potenzialmente attraverso lo sviluppo simultaneo di I4.0 e sostenibilità. Nel processo decisionale di operazioni sostenibili che sono influenzate dall'ambiente, coinvolgono la progettazione "verde" di prodotti e processi e operazioni della supply chain guidate dall'ambiente. L'internet consente la condivisione delle risorse operative creando uno spazio virtuale utilizzando la tecnologia di cloud manufacturing. Lo sviluppo della base di servizi per tutti gli attori di un'interazione della supply chain per la progettazione, la produzione e l'assemblaggio è la ragione alla base della cloud manufacturing. La condivisione delle informazioni nelle supply chain contemporanee è un esempio significativo del contributo delle capacità I4.0. Si parla quindi di Logistica Intelligente (Smart Logistic, SL), ovvero un sistema logistico che ha l'abilità di comunicare autonomamente e trasmettere informazioni attraverso l'organizzazione ai singoli responsabili del dato processo. Essa usa l'Internet of Things e sistemi basati sulle Intelligenze Artificiali per pianificare il carico delle macchine, controllare i flussi di produzione, pianificare i percorsi dei veicoli, programmare le consegne e lo spostamento dei veicoli. Le applicazioni basate sull'IoT giocano un ruolo chiave nel permettere al mondo fisico di essere integrato nel, ed essere gestito dal, mondo virtuale o digitale. I dati creati dall'IoT sono utili per le decisioni gestionali e sono studiate dagli analitici per ottenere informazioni chiave da essi. Ciò ha migliorato le decisioni di gestione delle operazioni sostenibili. Pertanto, l'implementazione di un approccio integrato di I4.0 e i principi di CE possono fornire una leva per la gestione

delle operazioni sostenibili. La loro gestione richiede una comprensione delle operazioni di produzione che influiscono sull'ambiente e deve concentrarsi anche sull'efficienza e l'efficacia della gestione delle operazioni. Pertanto, considerando la gestione delle operazioni sostenibile, discutiamo i principi della CE allineati con le tecnologie I4.0:

- **Regenerate:** basato sulla conversione dei rifiuti in una fonte di energia per diverse operazioni lungo la catena del valore. Si allinea con I4.0 prendendo decisioni di produzione sostenibile basate sull'adattamento dei dati ricevuti tramite IoT.
- **Share:** basato sulla condivisione delle risorse per estendere il ciclo di vita attraverso operazioni di recupero dal punto di vista economico. Si allinea con I4.0 utilizzando sia risorse basate sul cloud e l'IoT. Il potenziale di questo componente di CE potrebbe essere realizzato attraverso la condivisione di informazioni relative alla gestione dell'inventario, all'offerta e alla domanda lungo la supply chain e anche ai consumatori. Queste tecnologie possono raccogliere informazioni sul comportamento dinamico della società in modo che l'organizzazione possa migliorare sia i parametri operativi che l'utilizzo delle risorse per le prestazioni ambientali ed economiche.
- **Optimize:** basata su una strategia incentrata sulla tecnologia, che richiede all'organizzazione di utilizzare la tecnologia di produzione digitale come i principi di I4.0 per ridurre gli sprechi nel sistema operativo lungo le supply chain. È in linea con I4.0 supportato da Cyber-Physical Systems (CPS) e IoT. Queste tecnologie possono raccogliere informazioni sotto forma di dati da processi e varie risorse per consentire l'identificazione dell'inventario work-in-process, che aiuta a calcolare la dimensione ottimale dell'ordine. I fornitori aiutano a gestire sia la propria supply chain che la pianificazione della produzione



della supply chain a livello di sistema e la conformità ai problemi ambientali tramite tag RFID (Radio-Frequency Identification) e IoT.

- Loop: basata sul ripristino del valore dei prodotti tramite operazioni di recupero. Si allinea con I4.0 supportato da IoT, CPS e servizi cloud. Rappresenta un obiettivo generale della circolarità dei materiali e dell'energia. Le operazioni nella logistica inversa come il monitoraggio e la tracciabilità dei prodotti e le modalità di trasporto potrebbero essere migliorate utilizzando sensori, tag RFID, ecc. Di conseguenza, potrebbero essere eseguiti i processi di recupero come il riutilizzo, la rigenerazione e il riciclaggio dei componenti. I servizi cloud potrebbero supportare l'organizzazione utilizzando la tecnologia di manifattura additiva (Additive Manufacturing, AM) quando il carico di lavoro è distribuito lungo la supply chain.
- Virtualize: basata sulla strategia service-focus che consente prodotti virtuali e dematerializzati. È in linea con I4.0 supportato dalle tecnologie cloud manufacturing, IoT e AM. Queste tecnologie consentono la relazione tra organizzazioni, fornitori e clienti in modo tale che il mondo fisico venga sostituito dal mondo virtuale utilizzando modelli di simulazione collegandosi ai dati dei sensori. La tecnologia AM consente prodotti personalizzati basati sulle interazioni tra produttori, fornitori e clienti.
- Exchange: basato sull'introduzione di beni avanzati e rinnovabili invece di beni vecchi e non rinnovabili. Si allinea con I4.0 adottando la manifattura additiva e l'IoT. L'AM consente una produzione sostenibile attraverso un uso ridotto di materiali e operazioni di recupero.

È, quindi, evidente che le associazioni tra operazioni sostenibili dal punto di vista ambientale e I4.0 sono preziose, a causa del significato della tecnologia nello svolgimento di operazioni orientate alla sostenibilità ambientale.

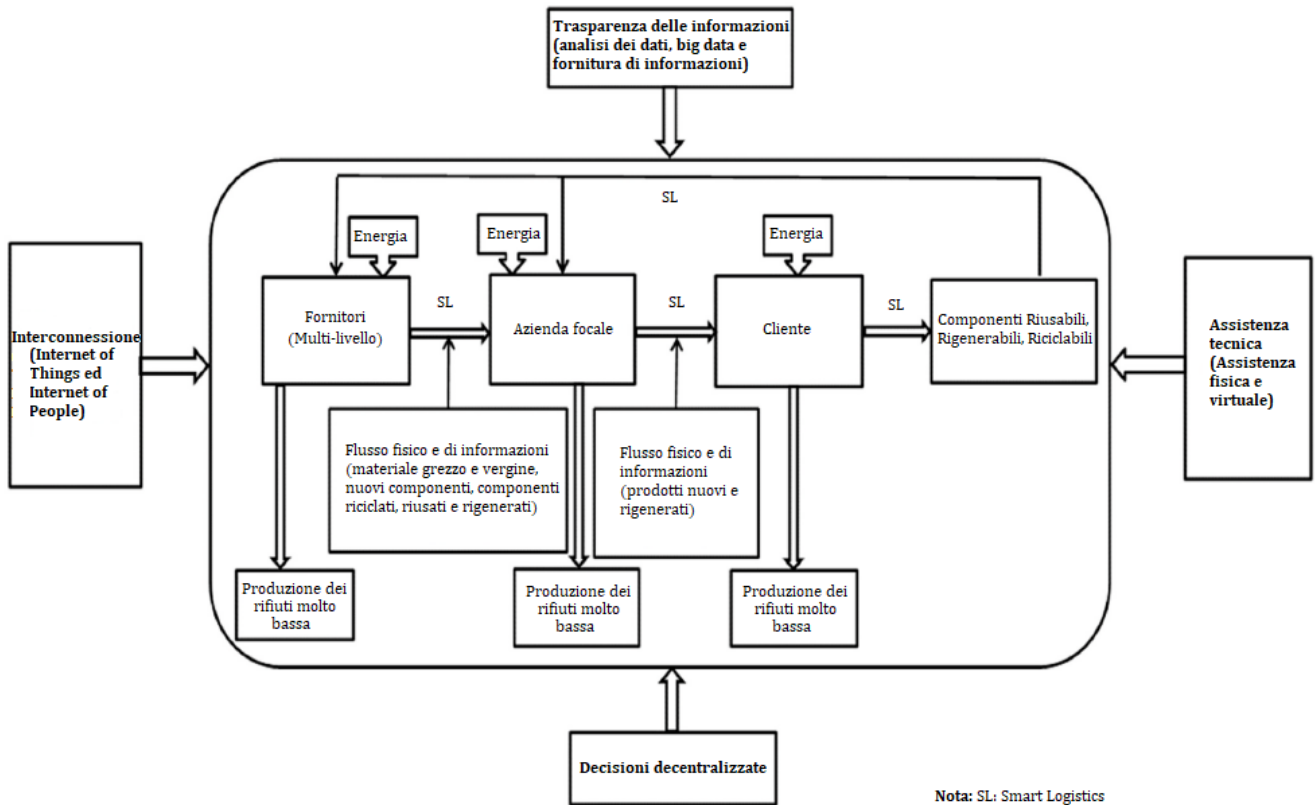


Figura 6. L'industria 4.0 e la Smart Logistic guidano la catena di rigenerazione e di produzione green

## 5. STRATEGIE CIRCOLARI E SISTEMI DI CONTROLLO

Il focus di questo capitolo è capire come le organizzazioni lavorano con principi circolari e come il controllo di gestione si adatta al modello di business, al fine di trarre conclusioni sulle possibilità e le sfide dell'implementazione della CE in un'organizzazione. La CE può essere vista come una situazione in cui tutti gli output possono essere descritti come input per qualcos'altro correlato al concetto di sistema ciclico a circuito chiuso. Pertanto, la CE si occupa di rallentare o gestire il flusso nei cicli biogeochimici, nonché di "progettare i rifiuti" concentrandosi sulle tre R di Riduzione, Riutilizzo e Riciclo. La CE deve verificarsi a tre livelli: macro, meso e micro. Mentre la prospettiva macro evidenzia la necessità di adattare la composizione industriale e la struttura dell'intera società, la prospettiva meso si concentra sui parchi eco-industriali come sistemi e simbiosi industriali. La micro-prospettiva considera i prodotti o le singole imprese e come la circolarità può aumentare a questo livello. I modelli di business incentrati sulla progettazione, il riutilizzo, il riciclaggio e le riparazioni di prodotti sostenibili utili al consumo collaborativo possono essere classificati come modelli di business circolari poiché svolgono attività circolari. I modelli di business circolari possono essere suddivisi in cinque strategie:

- La prima strategia, Circular Suppliers (fornitori circolari), cambia la produzione per utilizzare materiale rinnovabile e riciclabile come input di risorse. Le aziende che adottano questa strategia riducono gli sprechi e rimuovono l'inefficienza eliminando gradualmente l'uso di risorse scarse.
- Lo scopo della seconda strategia, Resource Recovery (recupero delle risorse), è aumentare il valore alla fine del ciclo di vita di un prodotto alimentandone un altro. La strategia promuove i flussi di ritorno e trasforma i rifiuti in valore attraverso il riciclaggio innovativo e l'up-cycling. Le risorse seguiranno flussi di ritorno diversi a seconda che la

risorsa possa essere riciclata istantaneamente o se debba essere elaborata prima del recupero.

- La terza strategia, Product Life Extension (estensione della vita del prodotto), estende il ciclo di vita del prodotto riparandolo, aggiornandolo, rigenerandolo o rimettendolo in vendita. Il processo può essere descritto come circolarità all'interno del ciclo tecnico.
- La quarta strategia, Share (condivisione) o piattaforme collaborative, promuove la condivisione di prodotti e risorse tra individui o organizzazioni. Ciò facilita un maggiore utilizzo della capacità, produttività e creazione di valore per l'utente.
- L'ultima strategia, Product as a Service (prodotto come servizio), è un'alternativa al modello tradizionale di acquisto e possesso di un prodotto. Le organizzazioni che adottano questa strategia mantengono la proprietà del prodotto consentendo a uno o più clienti di noleggiarlo.

Va notato che le strategie di business circolare discusse sopra si concentrano sulla circolarità all'interno dei confini stessi dell'organizzazione. Pertanto, la figura non riesce a visualizzare il ruolo degli stakeholder e la circolarità come simbiosi industriali o a livello sociale.

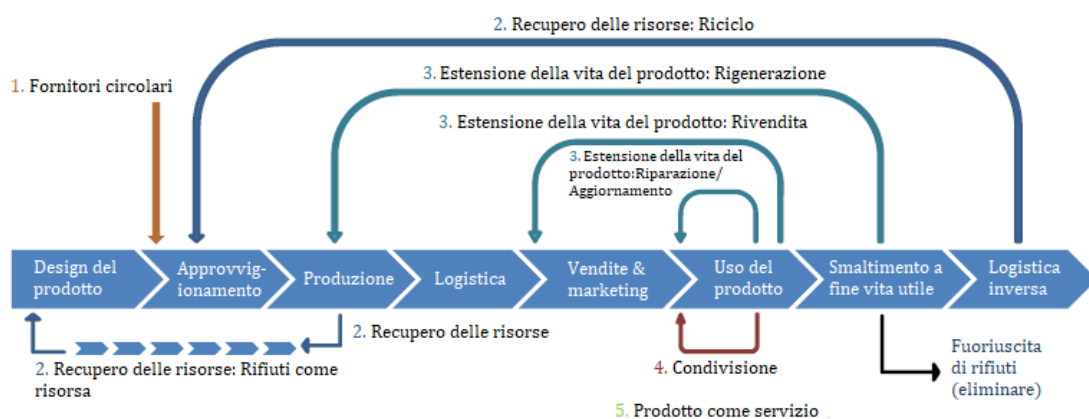


Figura 7. Strategie circolari

Il passaggio successivo consiste nell'adattare i sistemi di controllo di gestione appropriati. Il modo moderno di guardare al controllo di gestione è stato

fondato da Robert Anthony che ha descritto un collegamento tra pianificazione strategica e controllo operativo. Definisce inoltre il controllo di gestione come “i processi attraverso i quali i manager assicurano che le risorse siano ottenute e utilizzate in modo efficace ed efficiente nel raggiungimento degli obiettivi dell'organizzazione”. Due compiti del controllo di gestione sono quindi sviluppare, analizzare e rispondere alle informazioni per situazioni decisionali; e per guidare il comportamento dei dipendenti nella direzione desiderata per garantire che il comportamento e le decisioni dei dipendenti siano coerenti con la strategia e gli obiettivi dell'organizzazione. Per ridurre la frammentazione, concentrarsi sull'ampia agenda del controllo di gestione ed essere più orientati alla pratica, Malmi e Brown (2008) propongono un quadro costituito da un pacchetto di cinque tipi di meccanismi di controllo di gestione:

- Controlli culturali: espressi come comunicazione di valori e visioni, reclutamento e socializzazione dei dipendenti e linee guida e procedure.
- Pianificazione: espressa come pianificazione strategica e pianificazione delle azioni.
- Controlli cibernetici: per misurare e valutare le prestazioni dell'organizzazione. I controlli cibernetici sono costituiti da budget, conteggio dei costi e sistemi di misurazione.
- Premi e compensi: per motivare i dipendenti.
- Controlli amministrativi: come la divisione delle responsabilità e il processo decisionale.

Diverse organizzazioni possono basare le loro strategie sul tipo di servizio / prodotto che forniscono e sul materiale che gestiscono. La CE può anche apparire a diversi livelli. Per alcune organizzazioni è possibile praticare la CE in produzione, a livello micro. In altri casi, il coinvolgimento di più stakeholder diventa una preconditione per la realizzazione di cicli circolari a

livello meso o macro. Concentrandoci ora su come i diversi controlli si adattano alla CE, dai casi studiati (Svensson e Funck, 2019):

- La funzione di controllo culturale può essere vista come base per garantire che i dipendenti siano coinvolti e lavorino secondo strategie circolari a livello micro in un'organizzazione. Inoltre, attraverso il controllo culturale esterno, le idee di CE possono essere diffuse nella società e ampliare la domanda di prodotti e servizi sostenibili nella società. Tuttavia, ciò non significa che il controllo formale sia meno sviluppato.
- Oltre al controllo culturale, i controlli di pianificazione strategica a lungo raggio appaiono importanti, indipendentemente dal tipo di lavoro circolare, al fine di stabilire gli obiettivi strategici e alla fine suddividere questi obiettivi in piani d'azione e misurazioni delle prestazioni. Gli obiettivi di questi controlli sono la comunicazione interna ai dipendenti, ma indirizzano anche l'attenzione alle attività a supporto dei piani a lungo termine dell'organizzazione per la CE. Poiché la pianificazione strategica viene tradotta in piani d'azione concreti, le attività svolte all'interno di queste organizzazioni si rivolgono al raggiungimento degli obiettivi della CE.
- La valutazione della sostenibilità ambientale può essere supportata da metodi incentrati sull'analisi del ciclo di vita e sull'analisi del flusso di materiali. La pianificazione a breve termine ed i controlli cibernetici sono fortemente influenzate dall'introduzione di strategie circolari. L'introduzione di strategie circolari richiede piani d'azione dettagliati, rendicontazione che evidenzia i flussi di materiali e processi decisionali adattati a orizzonti temporali più lunghi.
- Le strategie circolari richiedono la valutazione delle nuove prospettive di un'organizzazione. Per il pacchetto di controllo di gestione ciò significa che i controlli cibernetici vengono estesi con nuove misurazioni delle prestazioni. Tuttavia, le strategie circolari

non sono sempre coerenti con il guadagno economico, il che indica che possono sorgere divergenze tra i diversi obiettivi.

Oltre all'adattamento dei controlli culturali ai modelli di business circolari, lo studio illustra come sia la pianificazione a lungo termine che i piani d'azione si adattino al lavoro circolare al mutare degli obiettivi strategici e la pianificazione strategica si traduce in piani d'azione concreti orientati al raggiungimento degli obiettivi della CE. Inoltre, i controlli cibernetici sono influenzati dall'adattamento dei budget, vengono aggiunte nuove misurazioni delle prestazioni e in alcuni casi vengono costruiti sistemi di ricompensa e compensazione sull'esecuzione del lavoro circolare. Di conseguenza, i risultati indicano che l'adattamento e l'applicazione della CE a livello organizzativo influenzerà l'intero pacchetto di controllo di gestione.

## 6. GESTIONE SOSTENIBILE DELLA SUPPLY CHAIN

La gestione sostenibile della supply chain (Sustainable Supply Chain Management, SSCM) è definita come “la gestione dei flussi di materiali, informazioni e capitali, nonché la cooperazione tra le aziende lungo la supply chain, prendendo in considerazione gli obiettivi da tutte e tre le dimensioni dello sviluppo sostenibile, ovvero economica, ambientale e sociale, che derivano dai requisiti del cliente e degli stakeholder”. La letteratura SSCM si è concentrata maggiormente sulla riduzione al minimo dell'impronta ambientale delle attività della supply chain. Pratiche sostenibili dal punto di vista ambientale come l'approvvigionamento ecologico, la progettazione di prodotti ecologici, la produzione ecologica e la logistica ecologica consentono alle organizzazioni di essere più efficienti in termini di risorse sostituendo input dannosi per l'ambiente con materiali e risorse energetiche rispettosi dell'ambiente. La letteratura CE definisce la produzione più pulita e l'efficienza delle risorse come "Sostenibilità debole" (Weak Sustainability, WS) a causa del presupposto implicito che le risorse siano abbondantemente disponibili, pertanto, l'enfasi di WS è sulla riduzione dell'utilizzo delle risorse restringendo il flusso di materiale nel sistema. Al contrario, la “Sostenibilità forte” (Strong Sustainability, SS) richiede cambiamenti fondamentali nel modo in cui beni e servizi vengono prodotti e consumati per preservare l'insieme finito di risorse a disposizione dell'umanità. I principi CE di "rallentamento e chiusura dei cicli di risorse" consentono il passaggio da WS a SS dando la priorità al riutilizzo e al recupero delle risorse. Il rallentamento del ciclo delle risorse è consentito dalla progettazione dei prodotti che consentono la riparazione e la rigenerazione, rallentando quindi il flusso delle risorse. Tuttavia, l'obiettivo finale di ottenere un sistema CE riparativo e rigenerativo è facilitato dal riciclaggio delle risorse che chiude i circuiti di materiale ed energia. La sovrapposizione tra SSCM e CE si verifica principalmente nelle attività di riciclaggio verso le operazioni a valle di una supply chain. Le catene di fornitura a ciclo chiuso (Closed Loop Supply Chain,



CLSC) hanno esteso il tradizionale concetto di logistica inversa per includere rigenerazione, riutilizzo, riparazione, ricondizionamento e riciclaggio (5R) per ripristinare il valore del prodotto all'interno della stessa supply chain. Le supply chain ad anello aperto (Open Loop Supply Chain, OLSC) estendono il circuito chiuso per le 5R ai sistemi di produzione al di fuori della supply chain. Una simbiosi industriale efficace si riferisce allo scambio di materiali, acqua e flussi di energia tra partner industriali per ridurre al minimo l'utilizzo delle risorse collettive e l'impatto ambientale. WS indica paradigmi di gestione ambientale che si concentrano sulla riduzione al minimo dell'impronta ambientale mentre le SS richiedono cambiamenti più strutturali nel modo in cui la società e le organizzazioni creano valore.

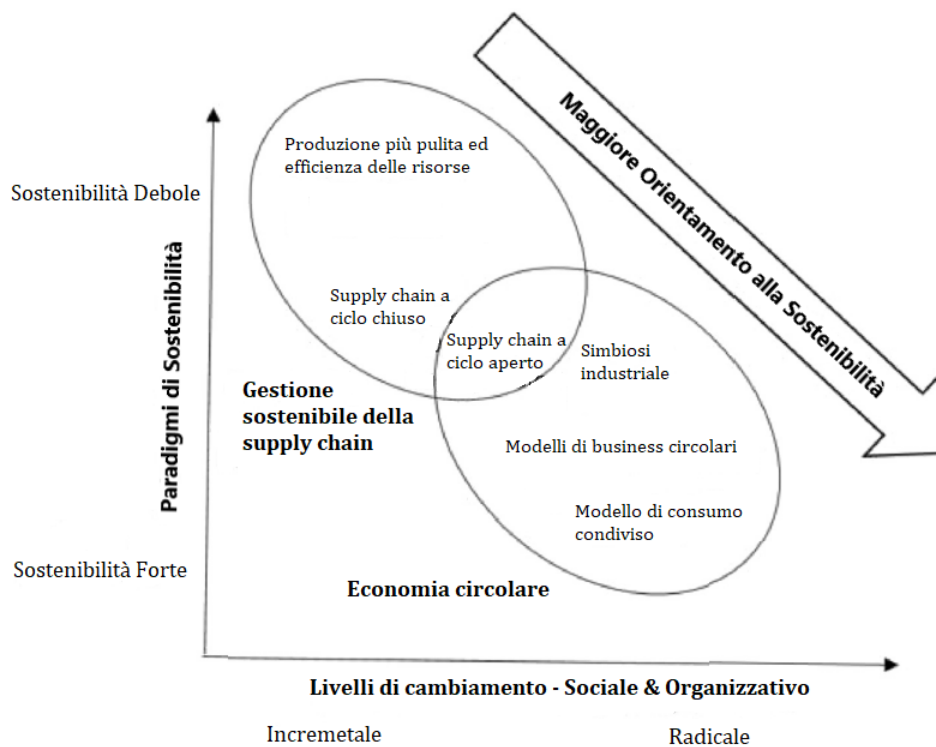


Figura 8. Sovrapposizione fra la gestione sostenibile della supply chain e l'Economia Circolare

L'emergere di CLSC e OLSC avvicina la SSCM alla CE, ma ancora non coglie gli obiettivi filosofici del sistema di produzione CE di essere sia riparatore che rigenerativo come un modo più proattivo per bilanciare lo sviluppo economico e la sostenibilità ecologica. Un sistema CE ristorativo promuove

il recupero allo stato originale mentre un sistema CE rigenerativo mira al recupero a un nuovo stato di valore solitamente più elevato. In altre parole, le CLSC e le OLSC mirano al recupero del valore nelle supply chain, mentre un sistema di produzione CE mira a opportunità di creazione di valore aggiuntivo dal materiale recuperato. La letteratura chiama l'iniziativa che identifica le opportunità di creazione di valore per rallentare, restringere e chiudere i cicli di risorse come Modelli di Business Circolari (Circular Business Models, CBM). Dopo le CBM arriva un'espansione della tradizionale prospettiva della supply chain verso una più ampia "rete supply chain" o "ecosistemi industriali" in cui le supply chain collaborano e riconfigurano le loro reti per condividere rifiuti a bassa entropia per un potenziale utilizzo come input per i processi di produzione di altre supply chain. Ciò ha portato al concetto di Supply Chain Circolare (Circular Supply Chain, CSC), definita come "la configurazione e il coordinamento delle supply chain per chiudere, restringere, rallentare, intensificare e smaterializzare i loop delle risorse". Le CSC sono abilitate stabilendo la collaborazione all'interno della rete della supply chain e la loro riconfigurazione per la simbiosi industriale e una narrativa organizzativa persuasiva che racchiude un orientamento più forte verso la sostenibilità.

Due serie di abilitatori organizzativi sono i facilitatori di processo e l'aver una narrativa organizzativa persuasiva, utilizzata per implementare un cambiamento strategico nel modo in cui le organizzazioni operano. I facilitatori del processo sono quelle azioni e pratiche tangibili che facilitano il passaggio verso nuovi obiettivi organizzativi. La formazione di nuove relazioni fornitore-acquirente in una rete di catena di fornitura collaborativa (Collaborative supply chain network, COL) e la riprogettazione delle configurazioni della supply chain (Supply Chain Configurations, SCC) per consentire il flusso fisico di risorse per la simbiosi industriale sono i due facilitatori di processo essenziali che abilitano le CSC. La nascente letteratura sulla sovrapposizione di CE e SSCM può anche essere classificata in tre grandi

categorie di fattori organizzativi: collaborazione nella rete della supply chain, riprogettazione delle configurazioni della supply chain per condividere i rifiuti a bassa entropia con le industrie partner e la CE come cambiamento strategico che chiede l'allineamento di tutti gli atteggiamenti e comportamenti degli attori dell'organizzazione.

- Facilitatori di processo nelle CSC:
  - Collaborazione in una rete di supply chain (COL): il costrutto di collaborazione è centrale per la gestione della supply chain in generale. La collaborazione nella catena di fornitura che comprende cooperazione, comprensione reciproca e sforzi comuni influisce sia sul mercato che sulle prestazioni di sostenibilità di un'organizzazione. La costruzione di collaborazione all'interno del regno delle SSCM costituisce principalmente le relazioni tra i partner a monte e a valle come l'assunzione dei fornitori, la loro formazione e sviluppo e la collaborazione ambientale con i clienti. Tuttavia, l'enfasi collaborativa delle simbiosi industriali relative alle OLCS ed alla CE assume una prospettiva di rete della supply chain più ampia in cui le catene di approvvigionamento di più industrie condividono i loro rifiuti e by-products a bassa entropia da utilizzare come materiale di input. Una transizione alle CSC è abilitata quando le tradizionali interazioni collaborative a monte e a valle vengono ampliate per includere organizzazioni oltre i confini industriali immediati di una catena di fornitura. In genere, ci sono opportunità in più fasi di una supply chain per raccogliere e condividere i rifiuti e i by-product nella più ampia rete della catena di approvvigionamento. Quindi, la responsabilità di identificare e stabilire simbiosi industriali deve essere distribuita in tutte le fasi della catena di fornitura. Inoltre, le tecnologie avanzate

e la condivisione delle informazioni lungo la catena del valore sono classificate come una manifestazione di simbiosi industriali efficaci. L'identificazione delle opportunità di simbiosi industriali richiede nuove scoperte di processo e mappatura input-output di più fasi di una supply chain all'interno dell'ecosistema industriale, che può essere facilitata dalla maggiore condivisione e coordinamento delle informazioni all'interno della più ampia rete della catena di approvvigionamento. Anche il passaggio finale nella creazione di partnership di simbiosi industriali è fortemente dipendente dalla tecnologia. L'uso di rifiuti e by-product a bassa entropia in sostituzione delle risorse vergini di solito richiede processi di trasformazione nuovi ed innovativi che garantiscono notevoli sforzi di ricerca e sviluppo. L'adozione di tecnologie innovative come l'IoT e l'analisi dei big data aiuta anche a monitorare, tracciare e automatizzare il flusso inverso dei prodotti. Le relazioni di collaborazione all'interno della catena del valore per sviluppare la base di conoscenza e le competenze sia nell'identificazione che nell'implementazione di opportunità di simbiosi industriali sono un facilitatore chiave del processo per la transizione alle CSC.

- Configurazione della Supply Chain (SCC): il COL ha lo scopo di identificare opportunità per simbiosi industriali, ma nella maggior parte dei casi, le configurazioni esistenti della catena di fornitura devono essere riprogettate per implementare la condivisione di rifiuti industriali e by-product. L'introduzione della logistica inversa consente alle CSC di utilizzare le 5R per la conservazione delle risorse con la stessa supply chain. Tuttavia, gli OLSC comportano una gestione dei rifiuti

intersettoriale e l'utilizzo dei sottoprodotti che richiedono un cambiamento sistemico nella rete della catena di approvvigionamento per garantire il recupero e la consegna sostenute delle risorse. Bressanelli et al. (2018) hanno esaminato la riprogettazione della supply chain per la CE ed hanno concluso che l'incertezza dei flussi di ritorno sulla quantità, il mix, i tempi e l'ubicazione di prelievi e consegne di risorse limitava la capacità dei flussi inversi di raggiungere una scala economica. Un aspetto importante della progettazione della catena di approvvigionamento che consente la transizione alle CSC è la flessibilità intrinseca delle strutture esistenti della catena di approvvigionamento per introdurre ed estendere il flusso inverso del prodotto alla più ampia rete della supply chain. Le supply chain globali di grandi aziende con ubicazione geografica dispersa trovano la logistica inversa particolarmente impegnativa, ma gli OLSC aprono la possibilità di condividere i rifiuti e i by-product a bassa entropia all'interno dell'ecosistema industriale che possono essere in stretta vicinanza fisica. Tuttavia, è più probabile che le CSC vengano sviluppate da nuove start-up che stanno ancora stabilendo la loro catena di approvvigionamento. Quindi, SCC può essere visto come un facilitatore del processo progettando / ridisegnando e ristrutturando le catene di approvvigionamento per connettersi fisicamente con i partner negli ecosistemi industriali per condividere le risorse, riducendo così l'impronta ambientale delle supply chain.

- Narrativa Organizzativa della CE: anche se la letteratura ha evidenziato i benefici delle CSC, meno si sa riguardo alle norme, ai valori e alle narrazioni organizzative che supportano la CE. È stata

trovata una relazione ricorsiva tra il cambiamento organizzativo e una narrativa organizzativa persuasiva. Quando i leader influenzano gli atteggiamenti e i comportamenti dei dipendenti nei confronti di una causa, i dipendenti apportano cambiamenti ai propri ruoli e pratiche. Questo aiuta anche gli altri spiegando la visione e co-costruendo modi che aiutano a plasmare la narrativa organizzativa persuasiva. La letteratura CE ha anche affermato di riconoscere il ruolo delle costruzioni sociali per consentire le transizioni alle CSC.

Dal caso di studio di Hussain e Malik (2020), le interazioni collaborative tra i vari membri della supply chain sono state collegate a delle prestazioni superiori e stabiliscono una forte relazione tra la collaborazione nella più ampia rete della catena di fornitura con una prestazione ambientale anch'essa superiore; inoltre, il secondo facilitatore di processo, SCC, che hanno ipotizzato influenzare le prestazioni ambientali delle catene di approvvigionamento, è risultato statisticamente significativo, confermando la flessibilità strutturale della supply chain come elemento chiave della costruzione di loop di materiale circolari attorno alle catene di approvvigionamento lineari. È stato osservato che la riprogettazione della supply chain è la leva principale attraverso la quale è possibile realizzare più catene di approvvigionamento per implementare simbiosi industriale. La riprogettazione della supply chain è stata anche descritta come un fattore abilitante per l'inclusione del recupero del prodotto a fine vita e per l'uso efficace dei by-products. Un elemento chiave del processo di creazione del senso organizzativo è la co-costruzione di una narrativa collettiva per il cambiamento. È più probabile che una narrativa organizzativa radicata su basi normative sia ampiamente condivisa da tutti gli attori organizzativi. Dallo stesso caso di studio citato in precedenza, la consapevolezza dal punto di vista delle organizzazioni della CE, approfondimenti sulla sostenibilità e il potenziale economico della CE sono stati identificati come fattori che possono fornire le basi normative per la transizione alle CSC. Ciò porta una

nuova e più proattiva prospettiva sulla letteratura CE perché si concentra sui suoi benefici economici, mentre alcuni dei moventi per l'attuazione della CE identificati in precedenza includevano la minimizzazione del rischio della supply chain ed il disaccoppiamento dello sviluppo economico ed ecologico.

## 7. TARGETS DELL'ECONOMIA CIRCOLARE

Prima di tutto, bisogna chiarire la differenza tra "Goals" e "Targets": i Goals tendono ad essere obiettivi ampi, non operativi verso una condizione desiderata, mentre i Targets denotano risultati operativi che realizzano quella condizione. Forniscono una direzione specifica e richiedono un impegno per raggiungere risultati predeterminati. Inoltre, i Targets vengono utilizzati per motivare gli attori a lottare per i risultati e monitorare i progressi fornendo una guida per la misurazione. Questi Targets possono essere raggruppati in cinque aree di applicazione principali: efficienza, riciclo, recupero, riduzione e progettazione. Possono verificarsi sovrapposizioni tra di loro a causa del loro alto livello di interconnessioni. I Targets attualmente esistenti sono concentrati in poche aree, in particolare il riciclaggio, il recupero e l'efficienza delle risorse. I Target della CE possono essere esaminati in diversi modi, come: settori economici, modelli di business, flussi di materiali, categorie di materiali, tipologia di obiettivi, obiettivi / risultati CE a lungo termine, aree del ciclo di vita, metriche / indicatori CE e strategie CE.

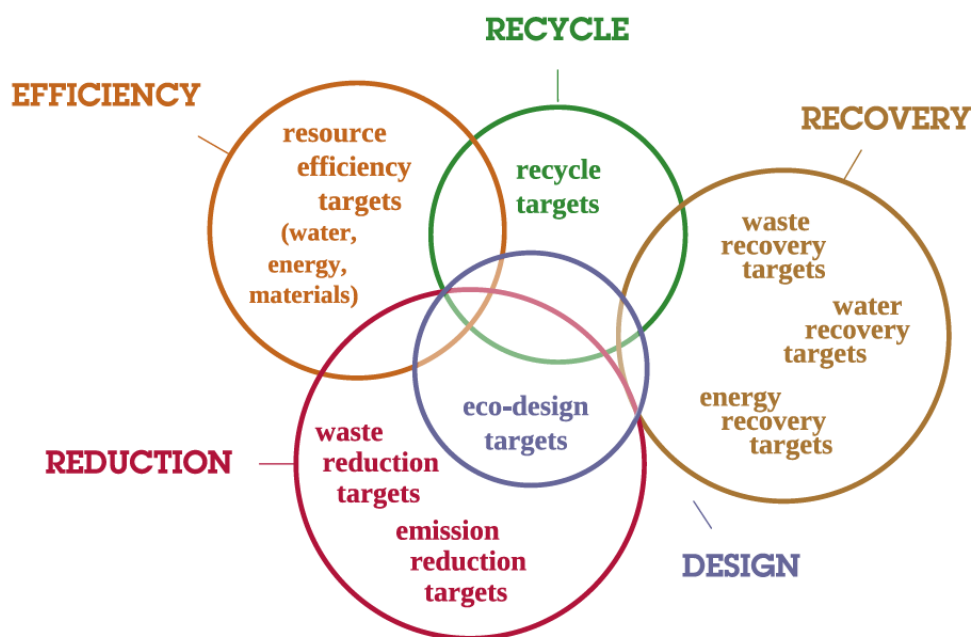


Figura 9. Principali targets della CE esistenti per area di applicazione



Il framework preso in considerazione è quello di Potting et al. (2017), che prende in esame una serie di dieci strategie CE esistenti (R0-R9) che possono essere raccolte in tre gruppi:

- Uso e fabbricazione più intelligenti: questo gruppo ha luogo quando i prodotti sono concepiti, progettati e sviluppati. Queste strategie sono precursori, perché si verificano prima di altre strategie CE, abilitanti, perché favoriscono tutte le altre strategie, e trasformative, perché possono rendere il sistema economico veramente circolare se applicate in modo estensivo. Di conseguenza, R0-R2 possono portare alla transizione a una CE prima che abbia luogo la produzione.
  - R0 – Refuse: rendere ridondante il prodotto abbandonando la sua funzione o offrendo la stessa funzione con un prodotto radicalmente diverso.
  - R1 – Rethink: rendere l'uso del prodotto più intenso.
  - R2 – Reduce: aumentare l'efficienza nella fabbricazione o nell'uso del prodotto consumando meno risorse naturali.
- Estendere la durata del prodotto e delle sue parti: questo gruppo elabora strategie per trattenere i prodotti finiti e le loro parti nell'economia più a lungo, mantenendo o migliorando il loro valore. Per funzionare, le strategie R3-R7 richiedono ricettività del mercato, logistica inversa ben funzionante, redditività per le parti coinvolte e l'implementazione di queste strategie variando i modelli di business. I prodotti relativi a R3-R7 sono stocasticamente incerti in termini di condizioni di quantità / qualità.
  - R3 – Reuse: riutilizzo da parte di un altro consumatore di un prodotto scartato che è ancora in buone condizioni e adempie alla sua funzione originaria.

- R4 – Repair: riparazione e manutenzione del prodotto difettoso in modo che possa essere utilizzato con la sua funzione originale.
- R5 – Refurbish: ripristinare un vecchio prodotto ed aggiornarlo.
- R6 – Remanufacture: utilizzare parti del prodotto scartato in un nuovo prodotto con la stessa funzione.
- R7 – Repurpose: utilizzare prodotti scartati od una sua parte in un nuovo prodotto con una funzione diversa.
- Utile applicazione dei materiali: questo gruppo di strategie si riferisce a rifiuti solidi altrimenti destinati alla discarica o bruciati senza recupero di calore. Dall'elaborazione dei nutrienti, queste strategie ottengono energia (R9) o materiali (R8). R8-R9, nonostante abbiano spesso tassi di rendimento estremamente bassi, trattamenti costosi e integrità dei prodotti distrutta, sono attualmente dove si concentrano la maggior parte delle politiche (e degli obiettivi) circolari.
  - R8 – Recycle: elaborare i materiali per ottenere la stessa qualità (alta qualità) o inferiore (bassa qualità).
  - R9 – Recovery: incenerimento di materiale con recupero energetico.

Seguendo il caso studio di Morselletto (2019), nelle seguenti due immagini possiamo vedere gli obiettivi per ciascuna R-strategy e la correlazione tra loro:

| STRATEGIE CE     | targets esistenti   | principali nuovi targets  |    |
|------------------|---|---|----|
| R9 Recovery      | Pochi target (riguardo la gestione dei rifiuti)   | Targets al più basso livello fisiologico; e.g. target tra lo 0 e 10% (più vicino allo 0, meglio è); target come incentivi per ridurre la sovraccapacità di incenerimento  | R9 |
| R8 Recycle       | Molti target (riguardo la gestione dei rifiuti)   | Riduzione dell'impatto ambientale come principio guida. Target alternativi su: riciclo di alta qualità; riciclo in loco; contenuto riciclato nei prodotti. Target antiteco/antagonista in relazione alle altre strategie di CE.   | R8 |
| R7 Repurpose     | Nessun target   | Come target residui in relazione alle strategie R3-R6   | R7 |
| R6 Remanufacture | Pochi target, principalmente applicati al corporate level (intrecciati con altri target ambientali) | Target temporali: estensione della garanzia + affidabilità e Repair targets. Target sull'efficienza del ciclo/perdita del ciclo; Target per:<br>- riduzione dei costi e.g. parti di ricambio, ingegneria, organizzazione, processi di business;<br>- miglioramento del design e.g. design per longevità, affidabilità, disassemblaggio;<br>- (target indiretti) per cambiamento culturale e.g. nessun target per alcuni usa e getta; I target devono evitare l'effetto di rimbalzo. | R6 |
| R5 Refurbish     |   |   | R5 |
| R4 Repair        |   |   | R4 |
| R3 Reuse         | Pochi target principalmente per prodotti specifici  | I target possono essere per: bassi costi di transazione; aumento Product Service System; modularità/standardizzazione; efficienza predittiva; concetti/atteggiamenti e.g. raccolta parziale; cicli interni.   | R3 |
| R2 Reduce        | Per le risorse (non necessariamente per la CE)  | I target possono essere fissati al livello o alla produzione; i campioni possono essere dei target nel lightweight design, negli scarti e negli usi dissipativi.  | R2 |
| R1 Rethink       | Nessun target   | Target sull'intensità dell'uso o su un più efficiente uso dei prodotti, e su: livello di circolarità; su elementi costitutivi della CE; sul design ed ingegneria per altre R-strategies.  | R1 |
| R0 Refuse        | Pochi phase-out target (molti pochi prodotti)   | Possibili target possono essere legati a prodotti (phase out), materiali o processi di produzione che danneggiano l'ambiente.   | R0 |

Figura 10. Targets per le R-strategies

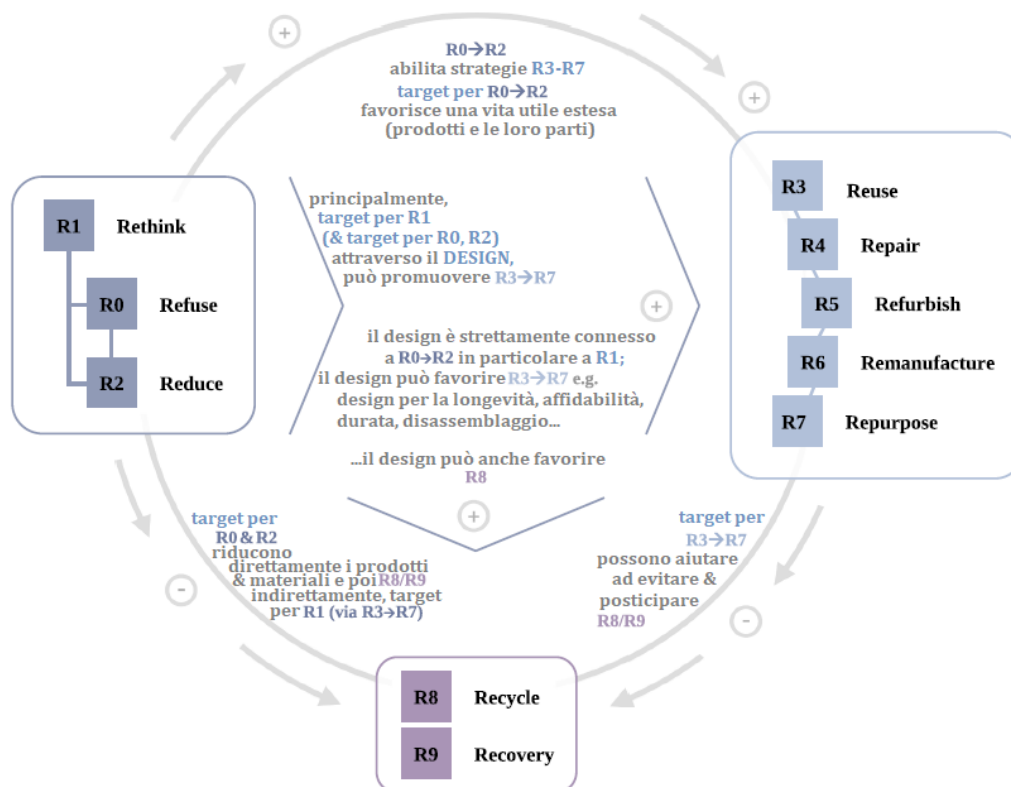


Figura 11. Correlazione tra i targets

## **8. BARRIERE E FATTORI CRITICI PER PROMUOVERE L'ECONOMIA CIRCOLARE (CASE STUDY)**

### **8.1 CASO FINLANDIA**

Alcune definizioni della CE la scambiano come limitata esclusivamente al riciclaggio. L'obiettivo principale della CE è ripristinare e rigenerare i cicli dei materiali, vale a dire mantenere il valore dei materiali in ogni punto della vita di un prodotto, ridurre al minimo la generazione di rifiuti ed eventualmente chiudere il ciclo dei materiali attraverso il riciclaggio di alto valore. Diversi studi enfatizzano una serie di diversi fattori critici per migliorare la CE. In generale, viene fatta una distinzione tra fattori economici, tecnologici, normativi e socioculturali. Spesso questi driver sono interconnessi e il tipico spostamento verso la CE non è ostacolato da un solo fattore, ma piuttosto da una miscela di fattori di facilitazione e vincoli derivanti da particolari condizioni locali. Sottolineano inoltre che le attuali pratiche di gestione dei rifiuti possono anche ostacolare la transizione verso essa. L'obiettivo di lavorare verso circuiti chiusi include molte perdite di residui in fasi diverse, il che porta all'inefficienza attraverso il riciclaggio. La transizione verso una CE è facilitata da sviluppatori come aziende e organizzazioni di ricerca e sviluppo che creano soluzioni pratiche, nonché organizzazioni intermedie come incubatori di imprese, think tank o organizzazioni pubbliche che supportano gli sviluppatori con mezzi come la promozione di reti e partenariati, mobilitando risorse, sostenere con la commercializzazione o creare e promuovere visioni e strategie comuni. Nella transizione verso un sistema sociotecnico sostenibile, gli attori intermedi sono stati identificati come catalizzatori chiave che accelerano il processo. Uno studio di ricerca condotto da Salmenperä, Pitkänen, Kautto e Saikku (2020) ha osservato i risultati del LIFE IP CIRCWASTE-Finland (2019), un progetto per implementare il Piano nazionale dei rifiuti della Finlandia e indirizzare la Finlandia verso una CE. Il consorzio del progetto comprende 20

partner con sede in tutta la Finlandia che svolgono in totale 25 progetti pilota. Questi progetti pilota pratici rappresentano una vasta gamma di attività che mirano alla gestione sostenibile dei rifiuti e ad una CE. I piloti rappresentano diverse funzioni per migliorare l'uso di materiali circolari, sia rigenerativi che restaurativi. I risultati hanno mostrato quattro diversi tipi di barriere:

- Barriere economiche e legate al mercato: sia gli sviluppatori che gli intermediari hanno percepito le barriere economiche chiave come connesse alla redditività economica, alla funzionalità del mercato dei riciclabili e al prezzo dei materiali vergini. È stato affermato che i costi di raccolta sono elevati, i materiali raccolti non sono abbastanza preziosi o i loro prezzi sono troppo volatili. Inoltre, è stato riscontrato che i mercati sottosviluppati per i materiali secondari combinati con gli elevati costi di investimento per gli impianti di riciclaggio creano barriere significative per gli attori del biogas che utilizzano rifiuti biodegradabili, ad esempio. Gli intermediari ritengono che le lunghe distanze nella raccolta dei rifiuti comportino un aumento delle tariffe di gestione dei rifiuti urbani. Gli sviluppatori hanno espresso preoccupazione per la perdita di vantaggi sia economici che ambientali a causa di una logistica inefficiente nella raccolta dei rifiuti.
- Barriere tecnologiche e relative alle informazioni: la maggior parte degli intervistati non ha identificato la tecnologia come un ostacolo significativo alla CE. Tuttavia, sviluppatori e intermediari hanno sottolineato che l'adeguamento tecnico dei processi e la ricerca di combinazioni di materiali adeguate sono fasi inevitabili per l'industria manifatturiera e la costruzione. Invece di grandi sfide per gli adeguamenti tecnologici, la mancanza di informazioni è stata considerata una barriera critica sia dagli sviluppatori che dagli

intermediari. Hanno convenuto che mancano dati per valutare i vantaggi del business e delle operazioni circolari.

- • Barriere istituzionali e normative: rispetto agli intermediari, gli sviluppatori hanno indicato le barriere istituzionali e normative come meno critiche. Inoltre, le barriere identificate variavano molto tra sviluppatori e intermediari. Gli intermediari hanno espresso molte preoccupazioni su come le diverse normative potrebbero ostacolare le operazioni circolari. Tuttavia, la preoccupazione principale sia degli sviluppatori che degli intermediari era il cambiamento della legislazione e in particolare le responsabilità frammentate nella gestione dei rifiuti.
- • Barriere socioculturali: un insieme significativo di barriere connesse a fattori socioculturali è stato identificato sia dagli sviluppatori che dagli intermediari. Il secondo ha evidenziato che ci sono diverse idee sbagliate e una mancanza di comprensione riguardo alle operazioni CE, come i benefici della produzione di biogas. Potrebbe non esserci abbastanza know-how per differenziare le informazioni corrette dalle false percezioni. Ciò può avere un impatto negativo sulla mentalità delle parti interessate. Gli intermediari avevano anche osservato una certa stanchezza nei confronti di nuovi concetti come la CE.

Quindi, analizzando come superare le barriere identificate, gli intervistati hanno ritenuto che le normative e i termini locali necessitassero un'armonizzazione per evitare confusione tra le parti interessate e hanno chiesto norme più rigorose sul riciclaggio. Inoltre, è stato sottolineato che il supporto istituzionale promuove fortemente il riciclaggio, ma che manca il supporto per altre azioni CE come il riutilizzo. Tuttavia, anche le barriere in relazione al supporto istituzionale al riciclaggio possono ostacolare lo sviluppo della CE. È stato considerato impegnativo promuovere pratiche circolari di gestione dei rifiuti per i responsabili delle decisioni locali e le

autorità pubbliche. Sviluppatori e intermediari hanno entrambi concordato che una migliore identificazione del chiaro potenziale di business e dei vantaggi economici dell'attività CE aiuta a reperire soluzioni aziendali e clienti in tutti i settori. In generale, si è ritenuto che il marchio del prodotto sia importante quando si tratta di utilizzare i rifiuti come materia prima. La mancanza di dati sui rifiuti porta a difficoltà nel fissare requisiti normativi e nel calcolare e valutare la redditività di modelli di business innovativi. Allo stesso tempo, l'incertezza sulle normative imminenti complica la collaborazione tra gli operatori della gestione dei rifiuti e solleva dubbi sulla redditività degli investimenti in soluzioni innovative. Questi ostacoli economici si riflettono da parte loro nelle difficoltà nel superare le mentalità "lineari" esistenti. Mentre alcune di queste interconnessioni sono collegate all'incertezza su come promuovere la circolarità, altre possono essere collegate a lock-in creati da soluzioni precedenti, come gli investimenti nell'incenerimento dei rifiuti. Quindi, il nuovo ruolo della gestione dei rifiuti nelle filiere dei materiali è legato alla prevenzione dei rifiuti. C'è bisogno di dialogo tra i progettisti di prodotto e gli operatori di gestione dei rifiuti per facilitare il riciclaggio, a partire dalle scelte dei materiali. L'integrazione della CE nella gestione della supply chain è vantaggiosa per migliorare la sostenibilità non solo nei sistemi di produzione ma anche nella gestione dei rifiuti. Le barriere percepite sono strettamente legate all'offerta e alla domanda di materiali a base di rifiuti, nonché alla mancanza di informazione e cooperazione. Pertanto, gli operatori dovrebbero adottare un approccio più ampio verso le attività che promuovono la CE, osservando così il ciclo di produzione, consumo, raccolta / smistamento, trattamento dei rifiuti e riciclaggio, mentre gli intermediari supportano e facilitano il progresso.

## 8.2 CASO CINA

La crescente quantità di rifiuti e la sua gestione sono preoccupazioni importanti per molte città e regioni, a causa delle operazioni inefficaci e inefficienti di raccolta e gestione dei rifiuti. Tuttavia, le città smart si stanno concentrando sempre di più sullo sviluppo di soluzioni per risolvere questi problemi utilizzando tecnologie abilitanti intelligenti. Il termine gestione smart dei rifiuti è definito come l'utilizzo di tecnologie abilitanti intelligenti per operazioni più efficienti, efficaci e sostenibili di gestione dei rifiuti utilizzando tecnologie abilitanti intelligenti come IoT, analisi dei big data, cloud computing, sistemi cyber-fisici ed IA. Aiutano a monitorare lo stato di carico del camion / cestino, ottimizzare i percorsi dei camion e mettere a punto il programma di raccolta utilizzando modelli dinamici. Ci sono alcuni problemi, come la sicurezza dei dati, che possono attualmente imporre limitazioni alle capacità dei sistemi di gestione dei rifiuti intelligenti. In questo capitolo seguiremo la ricerca fatta da Zhang, Venkatesh, Liu, Wan, Qu e Huisingsh (2019), basata sull'esplorazione delle barriere alla gestione smart dei rifiuti a livello operativo. Le relazioni di causa-effetto osservate hanno fornito una visione olistica delle barriere all'implementazione di soluzioni intelligenti per la gestione dei rifiuti. I risultati forniscono approfondimenti a tutte le parti interessate, inclusi fornitori di servizi tecnologici, utenti, governi, istituzioni di monitoraggio, associazioni di settore e il pubblico per superare le barriere.

La gestione dei rifiuti è strategica per mantenere le risorse in circolazione. In linea con gli obiettivi della CE, una migliore gestione dei rifiuti si concentra principalmente sull'esplorazione delle strade per controllare o diminuire la produzione di rifiuti. Le decisioni importanti sulla gestione dei rifiuti sono complesse a causa degli schemi intricati alla base dei rifiuti solidi. Inoltre, le sue strutture operative coinvolgono più parti interessate, tra cui la gestione della proprietà, i governi locali, i comuni, gli impatti ed il coinvolgimento dei cittadini, il coinvolgimento di esperti tecnici e le sue strutture, che



influenzano direttamente la sostenibilità degli ecosistemi urbani. La gestione dei rifiuti deve includere la gestione degli input tecnici, la valutazione delle decisioni costi-benefici a breve e lungo termine e nell'affrontare i conflitti sociali e nel quadro concettuale della CE, in cui i rifiuti sono considerati risorse. Le pratiche di gestione dei rifiuti stanno subendo una trasformazione da una procedura estremamente semplificata di raccolta e smistamento a un sistema sostenibile che bilancia la progettazione di sistemi di prodotti / servizi, il recupero di materiale / energia e la gestione di fine vita delle risorse attualmente sprecate attraverso pratiche di riduzione dei rifiuti, biologiche e processi termici e pratiche di riciclaggio dei materiali. Le pratiche di gestione dei rifiuti influenzano le decisioni operative richiedendo un focus sulla progettazione del prodotto e sulle attività di ripristino in varie fasi della supply chain. Le tecnologie abilitanti intelligenti nel regno della CE utilizzano elettronica, software, sensori e attuatori per elaborare e scambiare dati per ottenere risultati migliori. Sono state riconosciute quattro categorie di tecnologie per sistemi smart di gestione dei rifiuti: lo sviluppo di tecnologie di acquisizione dati e basate su sensori, tecnologie di comunicazione e trasmissione dati, tecnologia di sperimentazione sul campo e tecnologie per l'impostazione e la pianificazione dei percorsi dei camion. Utilizzando tecniche di intelligenza artificiale tra cui deep learning e machine learning, questi componenti intelligenti elaborano un grande volume di dati per fornire informazioni in tempo reale e per supportare un processo decisionale efficace con meno coinvolgimento umano. Facilitano il monitoraggio della raccolta dei rifiuti e l'ottimizzazione dei carichi dei container e dei percorsi dei veicoli utilizzando un sistema di supporto decisionale. Questo tipo di flusso di informazioni trasparente rende i clienti più propensi a partecipare al processo di gestione dei rifiuti. Nonostante alcune applicazioni di successo, nel complesso, l'uso di sistemi di gestione dei rifiuti intelligenti è ancora limitato a causa degli alti costi di investimento, dei processi divergenti nel flusso dei rifiuti e della mancanza di sostegno politico. In

questo caso di studio, la Cina, la debolezza del sistema di riciclaggio è stata principalmente attribuita a infrastrutture inadeguate. Inoltre, le politiche e le tecnologie importate da altri paesi non sono state adattate in modo efficace nel contesto nazionale, soprattutto a causa dei rifiuti organici, che non possono essere trattati in discarica o incenerimento.

La ricerca ha documentato dodici barriere importanti (B1-B12), scelte in base al contributo degli intervistati:

- B1 – Mancanza di conoscenza della gestione intelligente dei rifiuti: le tecnologie abilitanti intelligenti, compreso l'IoT, sono relativamente nuove e le loro applicazioni nella gestione dei rifiuti sono state appena avviate in alcune organizzazioni. Molte organizzazioni non hanno conoscenze o competenze nella gestione smart dei rifiuti. Di conseguenza, non vedono la necessità o non sono consapevoli del potenziale per migliorare le operazioni di gestione dei rifiuti implementando tecnologie abilitanti intelligenti.
- B2 – Mancanza di pressioni normative: le debolezze nelle normative ambientali e nell'applicazione sono state identificate come barriere chiave. Raramente ci sono conseguenze per chi inquina e genera / scarica rifiuti. A causa di questa mancanza di pressioni normative, le organizzazioni tendono a mantenere lo status quo della gestione dei rifiuti, che è spesso una parte trascurata della gestione delle operazioni della supply chain. Non si sentono obbligati a investire nelle più recenti tecnologie abilitanti intelligenti per migliorare le operazioni di gestione dei rifiuti.
- B3 – Mancanza della capacità di innovazione: le tecnologie abilitanti intelligenti sono relativamente nuove e in rapida evoluzione. I leader delle organizzazioni hanno bisogno di capacità sufficienti per innovare in modo da poter implementare con successo queste tecnologie nella gestione dei rifiuti e per aggiornarle quando necessario, possibilmente in collaborazione con i fornitori di

tecnologia. Molti leader non hanno la capacità di innovazione richiesta o non hanno una cultura dell'innovazione che consenta loro di svilupparla. Ciò rende difficile convincerli della necessità di fornire le risorse economiche e umane richieste ed esplorare nuove opportunità per l'uso di tecnologie abilitanti intelligenti nella gestione dei rifiuti.

- B4 – Difficoltà nelle tecnologie e nelle loro applicazioni: le tecnologie abilitanti intelligenti hanno un grande potenziale, ma la loro applicazione solleva molteplici sfide tecnologiche. Uno degli ostacoli più comuni è la "difficoltà nell'integrazione tecnologica". È una difficoltà particolarmente formidabile quando una supply chain o un'azienda utilizza più piattaforme tecnologiche incompatibili tra loro. Un'altra difficoltà risiede nel breve ciclo di vita dei prodotti tecnologici. A causa del rapido ritmo di innovazione nel settore della tecnologia, è difficile per gli utenti tenere il passo con gli aggiornamenti senza fine dei prodotti. Inoltre, manca una tecnologia automatizzata di classificazione e riconoscimento dei rifiuti.
- B5 – Mancanza di pressioni e richieste di mercato: la mancanza di pressioni e richieste di mercato è un serio ostacolo in Cina, dove la maggior parte del pubblico non si preoccupa molto della protezione dell'ambiente. Anche se molte persone affermano di interessarsene, il loro comportamento parla diversamente: i rifiuti sono all'ordine del giorno in molte parti del paese. Dati gli incerti benefici economici, è improbabile che le organizzazioni implementino pratiche di sostenibilità senza pressioni da parte degli stakeholder. Lo stesso vale per migliorare la gestione dei rifiuti investendo in tecnologie abilitanti intelligenti.
- B6 – Costi e sfide finanziarie: molte organizzazioni hanno difficoltà a garantire risorse finanziarie per migliorare la gestione dei rifiuti. Inoltre, un'organizzazione produce spesso molti tipi di rifiuti, il che

rende difficile trattarli adeguatamente per il recupero del valore. In parte a causa della mancanza di economia di scala nel trattamento dei rifiuti, è proibitivo per le singole organizzazioni investire in tecnologie abilitanti intelligenti per la gestione dei rifiuti.

- B7 – Mancanza di educazione ambientale e di cultura della protezione ambientale: negli ultimi anni la Cina ha incorporato l'educazione ambientale nei suoi programmi di studio nazionali. Tuttavia, le generazioni adulte non hanno ricevuto molta educazione ambientale. Le loro mentalità, abitudini e comportamenti spesso non hanno alcun riguardo per la protezione ambientale e il loro comportamento continua a influenzare negativamente le giovani generazioni e ad annullare i benefici della loro educazione ambientale a scuola.
- B8 – Mancanza di cooperazione con le parti interessate, inclusa la cooperazione con i fornitori di servizi: non c'è abbastanza cooperazione con le parti interessate nella catena di fornitura per incoraggiare i manager a adottare una gestione smart dei rifiuti. La cooperazione con le parti interessate include non solo l'integrazione a livello tecnologico, ma anche a livello di responsabilità condivise e incentivi e premi allineati. C'è anche una mancanza di fornitori di servizi intelligenti, anche tra gli appaltatori governativi, nel settore della gestione dei rifiuti.
- B9 – La ricerca della redditività a breve termine invece della sostenibilità a lungo termine: implementare tecnologie abilitanti intelligenti nella gestione dei rifiuti richiede investimenti sostanziali, ma il frutto della sostenibilità ambientale può richiedere anni. È un compromesso tra redditività a breve termine e sostenibilità a lungo termine. Molte decisioni di compromesso delle imprese sono di natura a breve termine. L'adozione della gestione smart dei rifiuti

non è favorita quando le organizzazioni perseguono solo i propri interessi economici a breve termine.

- B10 – Mancanza di effetto cluster: una gestione efficiente dei rifiuti richiede un'economia di scala. L'implementazione di una gestione smart dei rifiuti tra un gruppo di organizzazioni può aiutare a creare un'economia di scala. Al contrario, è difficile per le singole organizzazioni implementare da sole soluzioni smart per la gestione dei rifiuti. La mancanza dei benefici degli effetti cluster rimarrà un ostacolo fino a quando l'implementazione di soluzioni intelligenti per la gestione dei rifiuti non sarà diffusa.
- B11 – Mancanza di impegno nella leadership: la mancanza di impegno nella leadership è un ostacolo comune a molte iniziative per il miglioramento dei processi aziendali. I leader devono essere impegnati non solo a garantire risorse per gli investimenti in tecnologie abilitanti intelligenti, ma anche a riprogettare i processi aziendali, che è richiesto nella fase di implementazione. La mancanza di impegno di leadership, quindi, potrebbe portare la barca della gestione smart dei rifiuti nel suo viaggio verso una CE.
- B12 – Mancanza di standard adeguati alla gestione dei rifiuti: esistono molti tipi di rifiuti, ad esempio alimentari, elettronici, di plastica, pericolosi, ecc., che richiedono una varietà di metodi di trattamento per il recupero del valore e una corretta gestione nella CE. Molte agenzie e organizzazioni governative sono coinvolte nella gestione del trattamento dei rifiuti e hanno requisiti diversi. Di conseguenza, la mancanza di standard adeguati alla gestione dei rifiuti costituisce una sfida nell'uso di tecnologie abilitanti intelligenti per automatizzare le attività rilevanti.

Dall'analisi delle risposte di tre tipi di parti interessate, fornitori di tecnologia, utenti di tecnologia e agenzie governative, tutti hanno ritenuto che B1, B2 e B7 fossero importanti barriere causali. L'utente ha dato più peso

a B3 e B4, mentre gli intervistati delle agenzie governative hanno dato più credito a B5. Sia l'utente della tecnologia che il personale dell'agenzia governativa hanno identificato B4 come l'ostacolo più evidente. Al contrario, il fornitore di tecnologia ha valutato la stessa barriera come una barriera ad effetti, rendendola meno importante e di fatto non l'ha giudicata affatto prominente. Invece, ha classificato B7 come il più importante, il che significa che le sfide tecnologiche non sono un problema, ma piuttosto la mancanza della domanda e la sua causa principale, la mancanza di educazione ambientale, sono barriere più importanti. Anche la sanzione relativa a B6 merita attenzione perché è stata identificata come una barriera prominente dall'utente della tecnologia e una barriera causale dall'agenzia governativa.

Le barriere importanti richiedono un'attenzione immediata, poiché avranno i maggiori effetti complessivi sul sistema a breve termine. Nel complesso, le difficoltà tecniche (B4) impediscono agli utenti, effettivi e potenziali, di soluzioni di gestione dei rifiuti smart di implementarle. I mercati per la gestione smart dei rifiuti sono ancora agli inizi, quindi c'è una grave mancanza di conoscenze rilevanti (B1) da parte degli utenti effettivi e potenziali. Per superare queste barriere, i fornitori di tecnologia devono impegnarsi efficacemente nell'educazione dei potenziali clienti sui vantaggi e sulle basi delle soluzioni smart per la gestione dei rifiuti. I costi e altre sfide finanziarie (B6) sono altri ostacoli alla diffusione di soluzioni intelligenti per la gestione dei rifiuti che è importante affrontare a breve termine.

## 9. CONCLUSIONI

Dal lavoro di tesi e dalle analisi effettuate è emerso che, essendo il concetto di Economia Circolare stesso ancora in fase di evoluzione e divulgazione, anche i suoi aspetti gestionali sono non del tutto definiti chiaramente e sono presenti diversi approcci e framework per cercare di arrivare ad ottenere un sistema circolare a tutti gli effetti. Si può affermare che lo sviluppo dell'Economia Circolare ha subito grandi passi in avanti, anche a causa dell'aumentare della consapevolezza verso il nostro pianeta e dell'aumentare delle preoccupazioni riguardo ad esso, le quali a loro volta portano i vari paesi, industrie ed imprenditori a cercare metodi alternativi per continuare a generare valore senza però danneggiare ulteriormente l'ambiente. Per quanto riguarda gli aspetti puramente gestionali, un maggior riguardo è stato dato verso la creazione e la gestione di supply chain eco-sostenibili, utilizzando appunto metodologie quali la logistica inversa, la gestione smart dei rifiuti sfruttando l'attuale sviluppo dell'Industria 4.0 e concetti come rinnovamento, rigenerazione, riciclo e riuso. La letteratura a riguardo presenta molti spunti su cui riflettere, come le skill necessarie ai manager per poter trasformare il proprio business in e adattarlo alla CE oppure come sorpassare le barriere createsi a causa del modo di pensare opposto a quello preso in esame, ovvero quello lineare. Altre barriere da tenere in considerazione, oltre a quelle che prima vengono in mente come quella economica, ovvero se risulta effettivamente conveniente puntare ad un sistema più "green", o quello tecnologico, sono quelle socioculturali, in quanto l'innovazione ed il cambiamento non sempre vengono visti di buon occhio dagli attori già presenti nel settore da diverso tempo. Studi futuri potrebbero andare ad approfondire ancora di più gli aspetti riguardanti la divulgazione del tema in modo da rendere più facile l'implementazione dell'Economia Circolare in sempre più aziende ed organizzazioni e favorirne l'utilizzo in tutto il mondo.





## BIBLIOGRAFIA

- E. Suzanne, N. Absi, V. Borodin, 2020, Towards circular economy in production planning: Challenges and opportunities, *European Journal of Operational Research*, 287 (2020), 168-190.
- J. Fellner, J. Lederer, 2020, Recycling rate – The only practical metric for a circular economy?, *Waste management*, 113 (2020), 319-320.
- Ming-Lang Tseng, Anthony S.F. Chiu, Gang Liu, Tatre Jantaralolica, 2019, Circular economy enables sustainable consumption and production in multi-level supply chain system, *Resources, Conservation & Recycling*, 154 (2020), 104601.
- Ana Beatriz Lopes de Sousa Jabbour, et al, 2019, Circular economy business models and operation management, *Journal of Cleaner Production*, 235 (2019), 1525-1539.
- N.K. Dev, R. Shankar, F.H. Qaiser, 2019, Industry 4.0 and circular economy: Operational excellence for sustainable reverse supply chain performance, *Resources, Conservation & Recycling*, 153 (2020), 104583.
- S. Bag, G. Yadav, L.C. Wood, P. Dhamija, S. Joshi, 2020, Industry 4.0 and the circular economy: Resource melioration in logistics, *Resources Policy*, 68 (2020), 101776.
- N. Svensson, E.K. Funck, 2019, Management control in circular economy. Exploring and theorizing the adaptation of management control to circular business models, *Journal of Cleaner Production*, 233 (2019), 390-398.
- M. Hussain, M. Malik, 2020, Organizational enablers for circular economy in the context of sustainable supply chain management, *Journal of Cleaner Production*, 256 (2020), 120375.
- Piero Morselletto, 2019, Targets for a circular economy, *Resources, Conservation & Recycling*, 153 (2020), 104553.

- H. Salmenperä, K. Pitkänen, P. Kautto, L. Saikku, 2020, Critical factors for enhancing the circular economy in waste management, Journal of Cleaner Production, 280 (2021), 124339.
- A. Zhang, V.G. Venkatesh, Y. Liu, M. Wan, T. Qu, D. Huisingh, 2019, Barriers to smart waste management for a circular economy in China, Journal of Cleaner Production, 240 (2019), 118198.

## **SITOGRAFIA**

- <https://www.sciencedirect.com/>