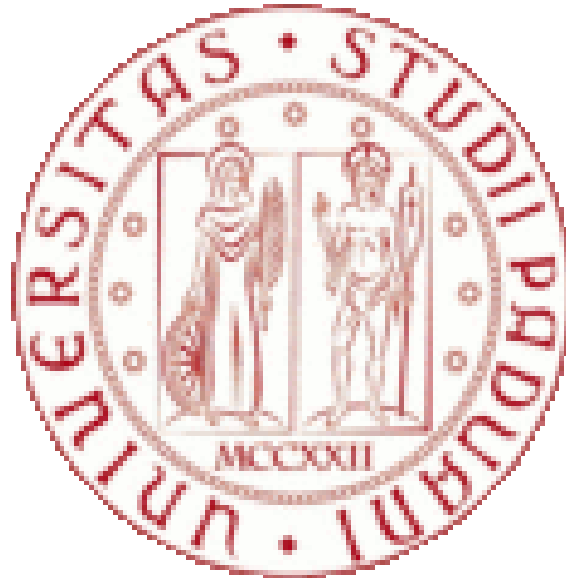


Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Scienze Statistiche

Corso di Laurea magistrale in Scienze Statistiche



Relazione Finale:

**Statistical Evaluation of the Level of Development of Circular Economy in European Union Member Countries**

Relatore Prof.ssa [Francesca Bassi](#)  
Dipartimento di Scienze Statistiche

Laureanda/o: Elena Gambato  
Matricola N. 2054520

Anno Accademico 2025 – 2026



# Indice

|  |            |
|--|------------|
| <b>INTRODUZIONE</b>  | <b>5</b>   |
| <b>1. Circular Economy: Inquadramento teorico e Contesto Europeo</b>   | <b>7</b>   |
| 1.1 <i>Economia lineare ed economia circolare a confronto</i>  | 8          |
| 1.2 <i>Evoluzione storica del concetto di economia circolare</i>   | 15         |
| 1.3 <i>Modelli di riferimento e principi fondamentali dell'economia circolare</i>  | 19         |
| 1.4 <i>Il quadro normativo e politico nell'Unione Europea</i>  | 21         |
| <b>Capitolo 2 - Dati e fonti statistiche</b>   | <b>27</b>  |
| 2.1 <i>Descrizione dei dataset e delle fonti</i>   | 28         |
| 2.2. <i>Trattamento dei dati mancanti</i>  | 31         |
| 2.3. <i>Tecnica di imputazione</i>   | 37         |
| 2.4 <i>Imputazione multipla con MICE</i>   | 39         |
| <b>3. Metodologia Statistica</b>   | <b>41</b>  |
| 3.1 <i>Analisi descrittiva e visualizzazioni</i>   | 42         |
| <b>CAPITOLO 4</b>  | <b>59</b>  |
| 4.1 <i>Evoluzione temporale della misura sintetica generale (MSiG)</i>   | 60         |
| 4.2 <i>Valutazione della similarità dell'ordinamento lineare tra il 2016 e il 2022</i>                                       | 65         |
| 4.3 <i>Analisi dell'evoluzione temporale dei ranking</i>   | 67         |
| 4.4 <i>Confronto con i risultati dell'articolo di riferimento (periodo 2010–2016)</i>  | 70         |
| 4.5 <i>Classificazione dei paesi dell'Unione in base alla misura sintetica generale</i>                                      | 74         |
| 4.6 <i>Generazione delle mappe coropletiche</i>  | 76         |
| 4.7 <i>Classificazione dei Paesi UE per Area Tematica</i>  | 80         |
| 4.7.1 <i>Classificazione dei Paesi UE secondo il livello di sviluppo nell'Area Tematica I (Produzione e Consumo)</i>         | 81         |
| 4.7.2 <i>Classificazione dei Paesi UE secondo il livello di sviluppo nell'Area Tematica II (Gestione dei rifiuti)</i>        | 84         |
| 4.7.3 <i>Classificazione dei Paesi UE secondo il livello di sviluppo nell'Area Tematica III (Materiali secondari)</i>        | 88         |
| 4.7.4 <i>Classificazione dei Paesi UE secondo il livello di sviluppo nell'Area Tematica IV (Competitività e innovazione)</i> | 90         |
| 4.8 <i>Discussioni Finali</i>  | 92         |
| <b>CAPITOLO 5 – CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE</b>   | <b>94</b>  |
| 5.1 <i>Verifica delle Domande di Ricerca</i>   | 96         |
| 5.2 <i>Limiti</i>  | 100        |
| 5.3 <i>Miglioramenti</i>   | 102        |
| 5.4 <i>Implicazioni Politiche</i>  | 104        |
| <b>CONCLUSIONE</b>   | <b>108</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>  | <b>110</b> |



# INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni le sfide ambientali, economiche e sociali che caratterizzano il contesto globale contemporaneo, come la scarsità di risorse, i cambiamenti climatici e la crescente pressione sugli ecosistemi, hanno messo in discussione la sostenibilità del modello economico lineare, fondato sulla sequenza “*take, make, use, dispose*” (Ellen MacArthur Foundation, 2013). In risposta a tali criticità è stato sviluppato il modello circolare. Si tratta di un nuovo modello economico orientato alla riduzione degli sprechi e alla valorizzazione delle risorse tramite strategie di durabilità, riuso, riparazione e riciclo dei materiali.

La transizione dal modello economico lineare al modello economico circolare è essenziale per il raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile (SDGs) definiti dall’Agenda 2030 delle Nazioni Unite, in particolare per quanto concerne il consumo responsabile (SDG 12) e l’azione climatica (SDG 13) (United Nations, 2015). In tale prospettiva, l’Unione Europea si colloca in prima linea riconoscendo già dal 2015 l’importanza dell’economia circolare per la propria competitività e per gli obiettivi di neutralità climatica (European Commission, 2015). Infatti, con il *Circular Economy Action Plan* del 2020, parte integrante dell’*European Green Deal*, l’Unione Europea ha rafforzato il proprio impegno verso la transizione circolare, puntando a diventare il primo continente a impatto climatico neutro entro il 2050. Il piano promuove un modello economico più efficiente e sostenibile, definendo obiettivi concreti — come il raddoppio del tasso di circolarità dei materiali al 24% entro il 2030 e la diffusione di design ecologici per prodotti durevoli — e introducendo misure di monitoraggio basate su indicatori statistici comparabili tra Paesi (European Commission, 2020). Tali iniziative hanno consolidato la necessità di strumenti statistici capaci di misurare e confrontare, in modo sintetico e omogeneo, il livello di sviluppo dell’economia circolare nei diversi Stati membri all’interno dell’Unione Europea.

Questo è quello che viene evidenziato nello studio “*Statistical Evaluation of the Level of Development of Circular Economy in European Union Member Countries*”, che costituisce il punto di partenza del presente lavoro di ricerca (Fura et al., 2020).

La tesi, infatti, mira ad aggiornare e approfondire l’analisi di Fura (2020) in relazione al nuovo contesto europeo: si vuole estendere l’indagine a dati Eurostat più recenti (2016 – 2022) includendo l’impatto della pandemia e delle riforme del Green Deal così da poter descrivere in modo più completo l’evoluzione dello sviluppo circolare nei Paesi dell’UE.

A tal proposito, al fine di delineare in maniera esaustiva gli obiettivi proposti, si possono osservare le seguenti domande di ricerca che il presente elaborato intende esplorare:

- D1. Nel periodo 2016 – 2022, qual è stato l’andamento complessivo del livello medio di sviluppo dell’economia circolare nei Paesi dell’Unione Europea, riflesso attraverso la misura sintetica generale ( $MS_i^C$ ) e quelle parziali distinte per Aree Tematiche?

- D2. Nel periodo 2016 – 2022, permangono le disparità nel livello di sviluppo dell'economia circolare tra i Paesi UE osservate nell'articolo di riferimento? Se sì, come variano in funzione delle diverse Aree Tematiche?
- D3. Nel periodo 2016 – 2022, come si comporta la misura sintetica generale ( $MS_i^G$ ) dei Paesi di più recente adesione (“nuovi” Stati membri) rispetto ai Paesi di più antica adesione (“vecchi” Stati membri)? Come si distribuisce il tasso di miglioramento?

Per poter dare una risposta a queste domande si è pensato di suddividere il lavoro in 5 capitoli. Il primo capitolo, attraverso un'analisi critica della letteratura andrà a presentare l'inquadramento teorico e il contesto europeo approfondendo le basi concettuali dell'economia circolare, i modelli chiave e le politiche europee soffermandosi su quali sono stati i principali benefici della transizione lineare – circolare. Viene inoltre proposto un breve riassunto della letteratura che contestualizza il lavoro di Fura e introduce gli aspetti innovativi del presente studio. Nel secondo capitolo vengono illustrate le fonti statistiche utilizzate e vengono anche presentati i dati Eurostat. In particolare, in questo capitolo vengono presentati gli indicatori che sono stati selezionati, le trasformazioni che sono state applicate a questi indicatori al fine di poterli analizzare e i limiti che si possono verificare, ponendo le basi per l'analisi. Con il terzo capitolo verrà fatto un focus sulle principali statistiche descrittive dei Paesi europei negli anni 2016 e 2022 e sulla metodologia statistica utilizzata per l'analisi, presentando nel dettaglio la procedura di costruzione dell'indice sintetico, basata sulla normalizzazione zero-unitarization, e la clusterizzazione, accompagnate da dei test di validazione volti a verificare la robustezza della classificazione riprendendo integralmente il lavoro di Fura et al. (2020). Nel capitolo quattro vengono presentati i risultati dell'analisi. In particolare, viene riportata l'evoluzione temporale dell'indice della misura sintetica generale ( $MS_i^G$ ) con la relativa valutazione della similarità e la conseguente valutazione dell'evoluzione temporale del ranking, confrontando anche i risultati di questa tesi con quelli dall'articolo di Fura et al. del 2020, e la classificazione che viene supportata dalle mappe coropletiche. Viene inoltre presentata la classificazione per area tematica sempre basata sulla misura sintetica. Infine, il capitolo 5 conclude il lavoro sintetizzando i risultati principali, discutendo le implicazioni politiche e delineando i limiti dello studio, insieme a possibili sviluppi futuri.

In definitiva, l'obiettivo di questa ricerca è quello di fare della statistica non solo un mezzo di analisi, ma un motore di progresso per un cambiamento ormai necessario per l'Europa. Infatti, la tesi non si limita a un esercizio di replica, ma evolve l'approccio di Fura verso un modello più dinamico, sensibile ai cambiamenti recenti e orientato all'impatto in modo da poter valutare l'efficacia delle iniziative UE e individuare le aree che richiedono interventi mirati.

# 1. Circular Economy: Inquadramento teorico e Contesto Europeo

Viene riciclato solo il 7.2% del totale che viene consumato complessivamente a livello globale: è questo il principale indice di circolarità fornito dal *Circularity Gap Report 2023*<sup>1</sup> che testimonia come più del 90% delle risorse utilizzate dall'uomo non vengano reinserite all'interno del ciclo produttivo. Tale indicatore, di per sé allarmante, ha registrato un costante peggioramento negli ultimi cinquant'anni, riconducibile principalmente all'incremento dell'attività estrattiva di materie prime vergini dal sottosuolo. In tale prospettiva, il tradizionale modello economico lineare si rivela inadeguato a garantire lo sviluppo sostenibile e il benessere sociale; appare invece necessario l'adozione di nuovi paradigmi di business capaci di minimizzare gli sprechi e di accrescere l'efficienza dell'intera catena del valore. Sarà proprio il modello economico circolare il tema centrale del seguente capitolo, in cui verranno illustrati non solo i potenziali vantaggi e fattori abilitanti, ma anche quelle che sono le limitazioni allo sviluppo di strategie circolari, in modo da dare un quadro generale prima di approfondire le normative vigenti nel contesto europeo. Il pieno dispiegamento delle potenzialità di tale modello richiede un ruolo propulsivo da parte degli attori istituzionali. Come già evidenziavano da Porter e Van der Linde nel 1995, politiche ambientali e regolamentazioni opportunamente concepite possono infatti stimolare processi innovativi, generando efficienza attraverso la riduzione dei rifiuti e il recupero delle risorse, e favorendo, in ultima analisi, un incremento della competitività sistemica.

L'approccio metodologico utilizzato in questo primo capitolo è stato un'attenta analisi qualitativa della letteratura in tema di circolarità sfruttando le piattaforme online di "Fondazione per lo sviluppo sostenibile" e "Ellen MacArthur Foundation", entrambe ritenute due fonti di rilevanza primaria in tema di circolarità. Per quanto riguarda il primo paragrafo, è stata effettuata un'analisi della letteratura scientifica in tema di economia circolare presentando i contributi che nel corso del tempo hanno portato all'evoluzione del concetto. Essendo importante il quantitativo di articoli rinvenuti (più di 200), è stata fatta una scrematura dei contributi più rilevanti, soffermandosi sui principali benefici e sui fattori limitanti che l'adozione di un approccio circolare comporta in termini di vantaggio strategico. Dopo aver fornito un quadro completo sull'evoluzione del concetto di economia nel tempo, si è cercato di presentare in modo chiaro e sintetico quello che è il quadro normativo vigente a livello europeo, e brevemente a livello internazionale, evidenziando le potenziali criticità e le prospettive per spingere il settore verso una migliore gestione ambientale. Oltre alle fonti sopra citate, la ricerca si è arricchita delle piattaforme online della Commissione Europea, del Parlamento Europeo nonché di recenti direttive e aggiornamenti sulla gestione dei rifiuti.

---

<sup>1</sup> Il *Circularity Gap Report*, redatto dal think tank Circle Economy, ha lo scopo di evidenziare il divario tra la quantità di risorse utilizzate e la quantità che viene reinserita all'interno dell'economia, in modo da esaminare potenziali opportunità e sfide in termini di circolarità.

## 1.1 Economia lineare ed economia circolare a confronto

Le crisi climatiche sempre più frequenti, il progressivo deterioramento della biodiversità e l'aumento delle temperature globali mettono in discussione in modo inequivocabile la sostenibilità dei modelli di crescita economica che hanno caratterizzato gli ultimi 150 anni. Il paradigma lineare su cui tali modelli si basano, “*take – make – dispose*” (estrarre – produrre – smaltire), fondato sull'estrazione delle risorse, sulla loro trasformazione in beni e servizi e sul successivo smaltimento come rifiuti, presuppone implicitamente una disponibilità limitata di risorse naturali un'assenza di esternalità ambientali generate dal processo produttivo. Il modello lineare si articola in un processo produttivo unidirezionale e sequenziale: le risorse naturali vengono estratte, trasformate in beni e servizi, consumate e, al termine del loro ciclo di vita, eliminate sotto forma di rifiuto. Emerso con la Rivoluzione Industriale, esso ha rappresentato il principale motore dello sviluppo economico moderno, favorendo un aumento della produzione, dei consumi e del benessere materiale. Secondo un rapporto dell'OCSE (2018), se si prosegue sulla traiettoria attuale di estrazione e consumo dei metalli, minerali ed energia, entro il 2060 la domanda di risorse raddoppierà. A fronte di queste sfide socio-economiche e ambientali (vedi Tabella 1.1). Istituzioni e organizzazioni di tutto il mondo hanno progressivamente orientato la propria attenzione verso modelli alternativi capaci di preservare il valore dei prodotti e delle risorse lungo l'intero ciclo di vita, superando la logica puramente lineare del sistema produttivo (EU Commission, 2014).

Nel corso del tempo, tuttavia, sono emerse con crescente evidenza le criticità strutturali dell'economia lineare. L'uso intensivo di risorse naturali finite, l'accumulo di rifiuti e l'incremento delle emissioni inquinanti hanno messo in luce i limiti di un sistema economico fondato su flussi produttivi lineari e non rigenerativi. L'intensificazione dei processi produttivi e l'aumento dei livelli di consumo hanno determinato una pressione crescente sugli ecosistemi, rendendo necessario un ripensamento dei modelli di sviluppo tradizionali.

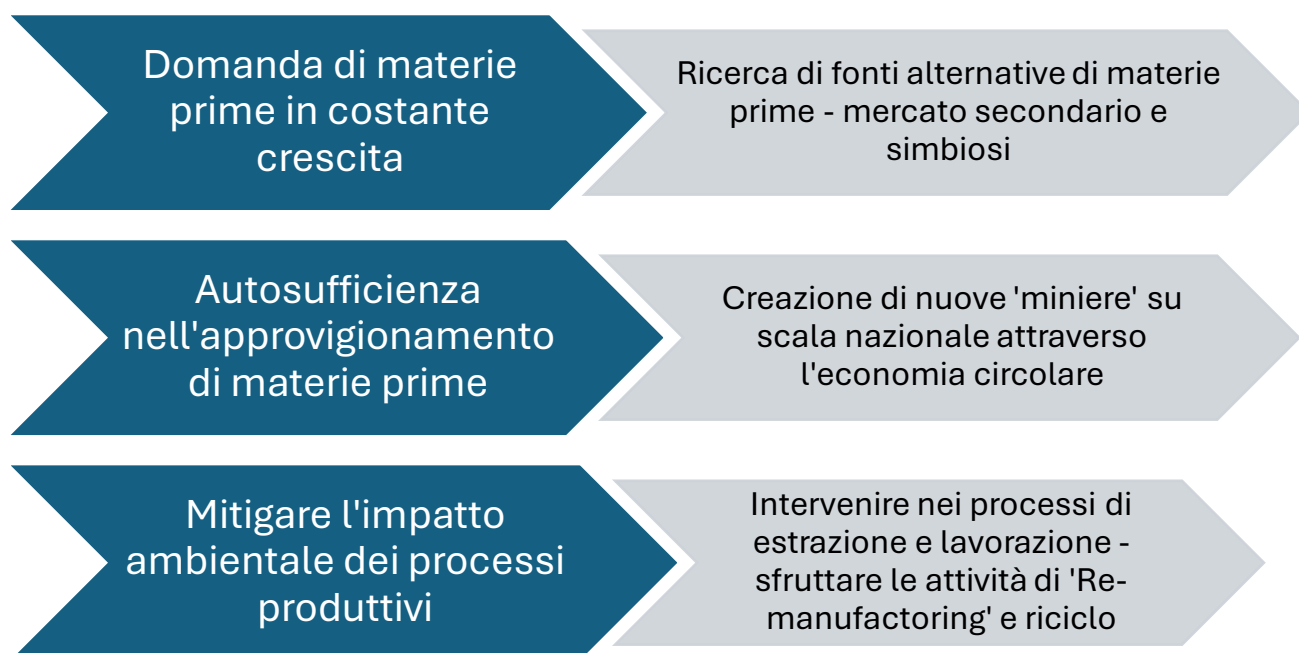
L'insostenibilità del modello lineare è da attribuirsi alle logiche economico-produttive che lo caratterizzano, logiche fondate su interessi prettamente economici che fanno dell'obsolescenza programmata<sup>2</sup> il loro principio guida. Ne deriva che il paradigma alla base del modello lineare può essere sintetizzato in tre fasi (Waleed Ahmed Shaikh et al., 2022):

1. *Take* – estrazione intensiva di materie prime vergini indipendentemente dalla loro effettiva sostenibilità nel lungo termine
2. *Make* – le materie prime estratte sono trasformate in beni di consumo, i quali vengono utilizzati fino a quando non sono più necessari o funzionali.
3. *Dispose* – Alla fine del suo ciclo di vita, il prodotto viene relegato in discarica, senza alcun tentativo di recupero delle materie prime potenzialmente ancora riutilizzabili.

---

<sup>2</sup> Concetto che nasce negli anni Cinquanta da Victor Lebow, ma successivamente analizzato da Serge Latouche nel suo saggio “Usa e getta” (2013), il quale afferma “Bisogna smettere di produrre merci durevoli, che rasentano l'indistruttibilità come la mitica Ford T, accorciando in qualche modo la loro durata”.

**Tabella 1.1** – Sfide principali per la transizione da un modello lineare a uno circolare



Fonte: Elaborazione personale su informazioni del Parlamento europeo (2021)

Sostanzialmente nel contesto di un modello economico lineare, come evidenziato dalla Figura 1.1, gli impatti ambientali associati al ciclo di vita di un bene non sono adeguatamente considerati o integrati nelle prime fasi decisionali della progettazione. Al fine di superare tali criticità, l'Economia circolare si è imposta come un modello economico in grado di adottare un approccio olistico per lo sviluppo di strategie che comprendano l'intero ciclo di vita del prodotto: dalla progettazione alla costruzione, dalla manutenzione allo smaltimento (vedi Figura 1.1). Il modello circolare trova applicazione in ambiti estremamente diversificati, dai singoli prodotti alla progettazione urbana, mantenendo tuttavia come obiettivo costante lo sviluppo sostenibile, inteso come una combinazione equilibrata di benessere ambientale, economico e sociale, a beneficio delle generazioni presenti e future. Esso pone l'accento sull'adozione sistematica di strategie di riduzione, riutilizzo, riciclo e riprogettazione dei materiali e dei processi produttivi. Entrando nel dettaglio di questo nuovo modello di business, i cinque principi che lo guidano sono così riassunti:

1. Sostenibilità delle risorse: la priorità dovrebbe essere rivolta verso l'utilizzo di fonti e materiali rinnovabili, riciclabili o riutilizzabili in più cicli di vita.
2. Produttore come fornitore di servizi: questo approccio suggerisce che il produttore mantenga la proprietà del bene, fornendo manutenzione ma concedendolo in locazione. Questa modalità facilita l'estensione del ciclo di vita del bene, poiché, al termine del periodo di utilizzo da parte del consumatore, può essere reintrodotta nel sistema produttivo.
3. Piattaforme di condivisione e sensibilizzazione: l'adozione di piattaforme che facilitano la connessione tra proprietari e utilizzatori di beni consente una maggiore

ottimizzazione dei costi e delle risorse necessarie per la loro realizzazione, promuovendo un consumo più consapevole ed efficiente.

4. Prolungamento del ciclo di vita del prodotto: il prodotto dovrebbe essere concepito e realizzato con l'intento di estenderne la durata, rendendolo facilmente riparabile e rigenerabile, allo scopo di minimizzare l'impiego di nuovi materiali ed energia.
5. Strategie di recupero e riciclo: i processi produttivi dovrebbero essere progettati per ridurre al minimo gli scarti, e quelli che inevitabilmente si producono dovrebbero essere facilmente riciclabili o riutilizzabili.

Nell'ambito delle potenzialità offerte dall'economia circolare, si evidenzia come le imprese che aderiscono a tale paradigma siano inclini a restaurare componenti usati o a rifondere i materiali allo scopo di riportarli alla loro condizione primaria, anziché orientarsi verso la produzione di beni usa e getta. Tuttavia, secondo l'analisi proposta dal framework *ReSOLVE*, articolato dalla prestigiosa Ellen MacArthur Foundation, sono individuabili sei azioni strategiche essenziali per concretizzare i principi dell'economia circolare:

1. Rigenerare la salute degli ecosistemi passando ad energia e materiali rinnovabili;
2. Condivisione, volta a estendere la longevità del prodotto, garantendo loro manutenzione, riparazione e un design orientato alla durata;
3. Ottimizzazione, focalizzata sull'accrescimento delle performance produttive e sulla minimizzazione degli sprechi lungo l'intero processo produttivo e la catena di approvvigionamento
4. Ciclicità (mantenere i componenti all'interno di un loop chiuso);
5. *Virtualize* che privilegia l'erogazione di un servizio o un'utilità in forma digitale piuttosto che materiale;
6. *Exchange* attraverso la sostituzione di vecchi materiali con materiali avanzati non rinnovabili o sull'applicazione di nuove tecnologie.

È opportuno sottolineare come l'implementazione di questo paradigma circolare conduca a una gamma di vantaggi concreti e diffusi a livello intersettoriale. Di seguito si intende esporre in maniera sistematica i vantaggi associati all'adozione di un modello circolare, al fine di delineare un quadro completo delle potenzialità evolutive e prospettive che esso offre alle economie contemporanee:

- Riduzione dell'impatto ambientale e ottimizzazione dei costi operativi: il riutilizzo, il riciclo e la rigenerazione di materiali già presenti nel sistema produttivo consentono di diminuire drasticamente il ricorso a risorse primarie vergini, generando al contempo una significativa contrazione dei costi di approvvigionamento e di produzione per le imprese
- Razionalizzazione dei costi di fine vita dei materiali: la progettazione di prodotti e componenti pensati per essere facilmente smontati, riparati o riciclati determina una sensibile diminuzione delle spese legate alla gestione dei rifiuti, al trattamento dei residui e alle operazioni di dismissione.

- Maggiore sicurezza degli approvvigionamenti di materie prime: la riduzione della dipendenza da materie prime vergini estratte in contesti geopoliticamente instabili, quali Cina e Congo, favorisce una maggiore resilienza delle catene di fornitura e una stabilità a lungo termine nell'accesso alle risorse strategiche.
- Stimolo all'innovazione e alla crescita economica: l'economia circolare genera nuovi mercati e modelli di business (rigenerazione di componenti, mercati di seconda mano), incentivando l'innovazione tecnologica e organizzativa e contribuendo alla creazione di valore economico aggiuntivo.
- Rafforzamento del valore del marchio e della reputazione aziendale: le organizzazioni imprenditoriali che integrano principi circolari nei propri processi si distinguono per la loro responsabilità ambientale, possono accrescere l'attrattività al loro marchio presso consumatori e stakeholder sempre più sensibili alle tematiche di sostenibilità.
- Agevolazione della conformità normativa: in un quadro regolatorio europeo in costante evoluzione e sempre più stringente, volto a tutelare l'ambiente, l'adozione di pratiche circolari consente alle imprese di anticipare e soddisfare con maggiore facilità i requisiti legislativi, riducendo il rischio di sanzioni e favorendo l'accesso a incentivi e finanziamenti pubblici.

Accanto ai benefici settoriali, l'economia circolare produce anche effetti positivi di natura economica, ambientale e sociale. Sul piano economico, la Commissione Europea stima la possibilità di generare fino a 700.000 nuovi posti di lavoro entro il 2030 (European Commission, 2015), evidenziando il potenziale occupazionale connesso alla diffusione di modelli produttivi circolari. Dal punto di vista ambientale, la transizione verso un uso più efficiente delle risorse potrebbe contribuire a una riduzione delle emissioni di gas serra fino al 45% entro il 2050 (European Commission, 2019), rafforzando il contributo della CE agli obiettivi climatici europei. Non meno rilevanti sono le implicazioni sociali, che si manifestano in una maggiore resilienza delle catene di approvvigionamento e in una più equilibrata distribuzione delle opportunità a livello territoriale.

Tale insieme di benefici costituisce il necessario presupposto per comprendere il crescente interesse istituzionale verso l'economia circolare e motiva l'analisi statistica del suo livello di sviluppo nei Paesi membri dell'Unione Europea che verrà condotta nei paragrafi successivi, in linea con l'approccio metodologico proposto nell'articolo di riferimento.

Pur riconoscendo la serie di benefici tangibili derivanti dall'adozione del paradigma dell'economia circolare che è stata appena presentata, risulta essenziale considerare anche le principali complessità di natura tecnologica, culturale e regolatoria che ne ostacolano l'implementazione su scala generale e che spesso sono riconducibili all'inerzia strutturale del modello lineare tradizionale (Jouni Korhonen et al., 2018). Tra le principali problematiche si evidenziano:

- Investimenti iniziali elevati: la transizione verso un modello economico circolare richiede spesso consistenti investimenti per la riprogettazione di prodotti, processi e infrastrutture se si vuole ridurre l'impatto ambientale. Tali oneri possono risultare particolarmente gravosi per le piccole e medie imprese o per le organizzazioni con asset produttivi consolidati secondo modelli lineari.
- Approvvigionamento e disponibilità di materiali: l'adozione su larga scala di una matrice produttiva circolare impone la disponibilità di materiali rigenerati o riciclati in quantità significative. A fronte della specificità regionali e dei distretti industriali, potrebbe emergere una carenza di materiali riciclati di pregio, o una limitata infrastruttura per un riciclaggio adeguato e qualificato.
- Degrado della qualità dei materiali: il processo di riciclo continuo può determinare una progressiva riduzione delle proprietà fisiche e meccaniche di alcuni materiali, fenomeno noto come *downcycling*, che complica il mantenimento di elevati standard di performance nei nuovi prodotti. Questa tendenza potrebbe riflettersi negativamente sulla sicurezza e sulla longevità degli stessi veicoli.
- Barriere culturali: tra consumatori e imprese permane spesso una percezione culturale negativa nei confronti del concetto di prodotti o componenti «riciclati» o «rigenerati», associati all'idea di minore qualità o affidabilità, ostacolando così la domanda di mercato.
- Inerzie normative e regolamentari: il quadro istituzionale non sempre favorisce la circolarità. In diversi casi, normative concepite per il modello lineare o procedure burocratiche complesse finiscono per disincentivare pratiche circolari. Come rilevato da Preston (2012) “il processo di riciclaggio di determinati materiali viene spesso tralasciato poiché risulta meno remunerativo rispetto alla produzione da materia prima vergine”<sup>3</sup>.
- Complessità logistica e di *supply chain*: l'adozione di un modello circolare implica inevitabilmente una maggiore complessità operativa e organizzativa, necessaria per la raccolta, il riciclo, il trattamento e la redistribuzione di materiali e componenti preesistenti. Tale complessità può tradursi in oneri economici supplementari e nella necessità di una gestione avanzata e sofisticata della catena di approvvigionamento.

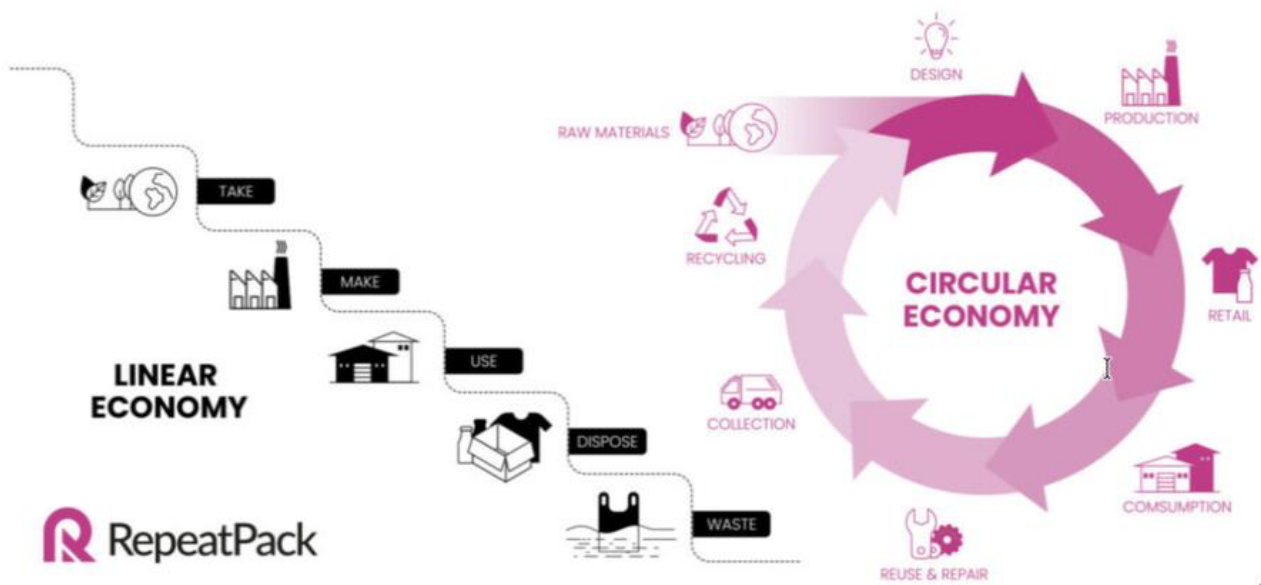
Incorporando i principi dell'economia circolare all'interno dei processi interni, le imprese possono non solo creare valore aggiunto, ma anche consolidare una posizione competitiva nel mercato. Le catene di fornitura ripensate in ottica circolare possono sviluppare nuove opportunità di mercato, ad esempio attraverso l'offerta di prodotti rinnovati, e simultaneamente minimizzare i costi operativi reintegrando i materiali dai beni al termine del loro ciclo di vita. Al di là dei benefici tangibili, un approccio circolare offre vantaggi intangibili

---

<sup>3</sup> Emerge chiaramente dalla letteratura che le dinamiche decisionali del consumatore sono spesso strettamente correlate alle variabili economiche: Pheifer (2017) sottolinea infatti come la sensibilità al prezzo rivesta un ruolo cruciale nelle scelte d'acquisto dei consumatori. Tale predisposizione al confronto costi-benefici potrebbe caratterizzare un accresciuto interesse verso prodotti circolari, inducendo, per riflesso, le imprese a ponderare con maggiore enfasi tali opportunità.

come una migliore immagine aziendale, una maggiore distinzione sul mercato attraverso servizi innovativi e una cooperazione amplificata con i vari stakeholder. Per sfruttare appieno i benefici offerti dall'economia circolare, la governance aziendale è chiamata a compiere decisioni ponderate. Indubbiamente, la transizione verso la circolarità porta con sé delle complessità, in quanto presupporrebbe una revisione radicale dei processi esistenti. In tale scenario, emerge l'esigenza di una leadership forte, che sappia valorizzare i principi della circolarità e stimolare sia i consumatori verso modelli di consumo alternativi (servitizzazione) sia gli stakeholder verso una maggiore produttività nel processo di creazione del valore.

**Figura 1.1:** Economia Lineare ed economia circolare a confronto



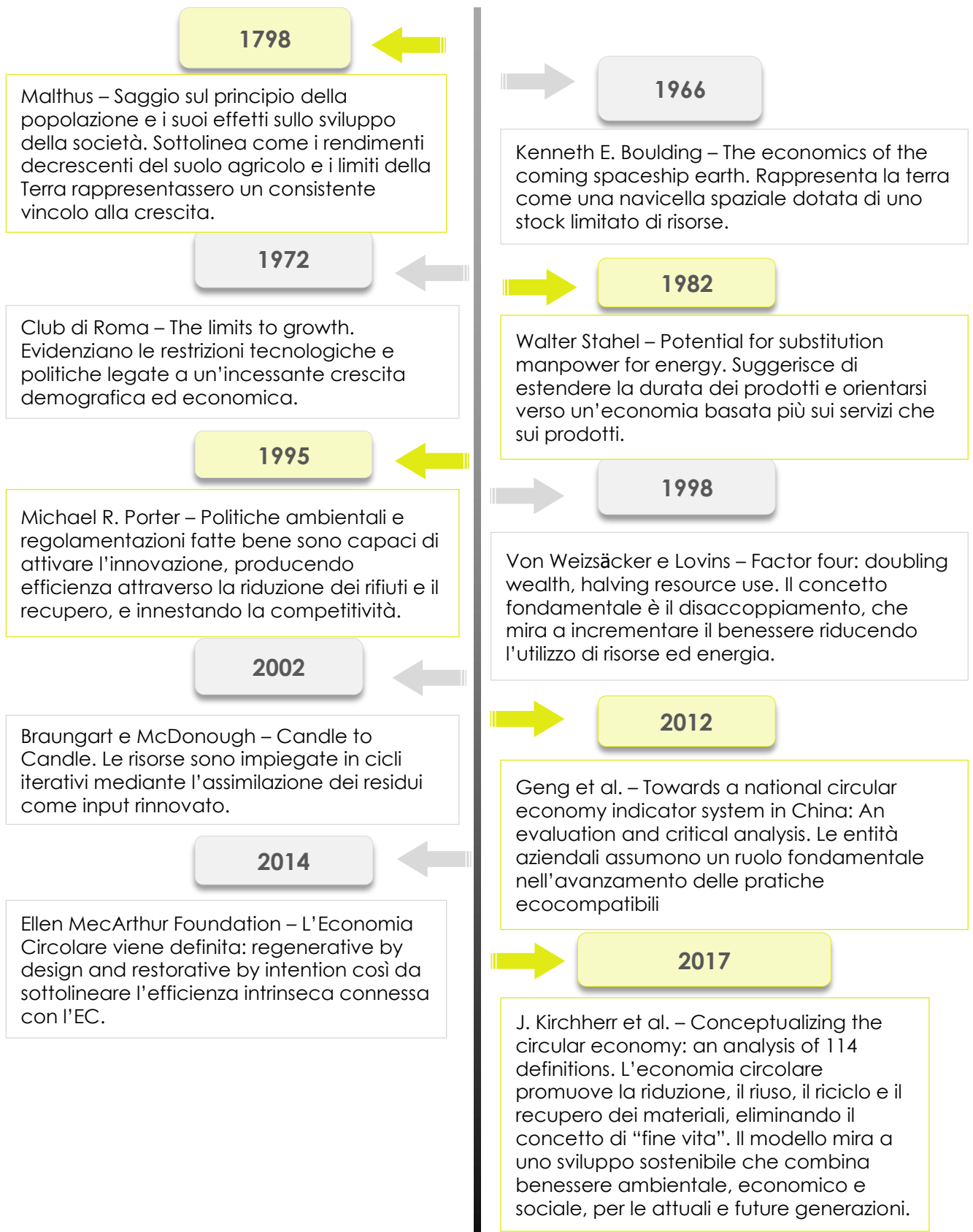
Fonte: RepeatPack.



## 1.2 Evoluzione storica del concetto di economia circolare

Tuttavia, quale definizione si può attribuire al concetto di “economia circolare” nel panorama accademico e professionale? L’economia circolare viene spesso confusa con concetti di portata piuttosto ampia come sostenibilità, riciclaggio o economia verde, nonostante sempre più studiosi, politici, accademici ne abbiano approfondito il significato delimitandone i confini. Un’analisi approfondita della letteratura corrente rivela che l’adozione di un approccio circolare si concentra prevalentemente in fase di progettazione dei prodotti. L’obiettivo è assicurare che i prodotti siano facilmente smontabili, riadattabili o rinnovabili, rendendoli così, se necessario, prontamente riutilizzabili o riciclabili. Questo presuppone che il costo di queste attività di *‘Re-manufacturing’* sia economicamente competitivo, incentivando così un allontanamento dalle pratiche correnti che favoriscono l’acquisto di un nuovo prodotto come opzione più conveniente dal punto di vista economico. Nel corso degli anni le interpretazioni e le definizioni associate all’Economia Circolare (EC) sono state sottoposte ad un’approfondita analisi a partire da correnti di pensiero che hanno rivolto la loro attenzione alla tutela dell’ecosistema e alle strategie attuative per mitigare l’impatto antropogenico sull’ambiente. A partire da Malthus nel 1798 in *“Saggio sul principio della popolazione e i suoi effetti sullo sviluppo della società”*, dove viene messa in luce la problematica dei rendimenti decrescenti del suolo agricolo e dei limiti fisici intrinseci del nostro pianeta come fattori restrittivi all’avanzamento economico, si assiste ad un primo passo verso la concettualizzazione di quella che, anni dopo, verrà definita come Economia Circolare. Infatti, prima di arrivare alle moderne definizioni di EC analizzate da Ellen MacArthur Foundation (2012), Stahel (1976, pp. 435 – 438), Murray et al. (2017, pp. 369 – 380), Geng et al. (2012, pp. 216 – 224) e molti altri, un primo avvicinamento alla definizione si assiste con il lavoro di Walter Stahel (1976) intitolato *“The Potential for substitution manpower for energy”*. In quest’opera, Stahel Avanza la proposta di prolungare il ciclo di vita dei prodotti, dotare di valore proprio i rifiuti e ampliare la responsabilità delle imprese estendendola alla fase di post-vendita. Sottolinea, inoltre, l’importanza di una transizione verso un modello economico orientato più alla fornitura di servizi piuttosto che alla produzione di beni materiali, promuovendo così un utilizzo più efficiente delle risorse. Una delle interpretazioni più sofisticate e aggiornate sull’Economia Circolare è quella proposta da Murray et al. (2017), che delineano come un “modello economico in cui la pianificazione, l’approvvigionamento, la produzione e il riciclaggio sono progettati e gestiti, sia come processo che come output, per massimizzare il funzionamento dell’ecosistema e il benessere umano”, mentre secondo le analisi condotte da Geng et al. (2012), le aziende assumono un ruolo fondamentale nello sviluppo di pratiche ecocompatibili. In relazione all’effettiva implementazione di tali pratiche, emergono principalmente due approcci strategici: l’eco-progettazione e la produzione orientata alla sostenibilità. L’approccio dell’eco-progettazione si focalizza sull’integrazione delle dimensioni ambientali all’interno della concezione di prodotto o servizio.

**Figura 1.2 – Evoluzione storica del concetto di economia circolare.**



Elementi salienti di questo modello includono l'estensione del ciclo di vita del prodotto, la chiusura del ciclo produttivo, l'ottimizzazione nell'utilizzo di risorse, la predilezione per materiali a basso impatto ecologico e l'efficienza energetica. Parallelamente, la strategia orientata alla produzione sostenibile pone l'accento sulla prevenzione delle esternalità negative, sulla diminuzione dell'utilizzo di composti nocivi e nella progettazione per l'ambiente. Di conseguenza, questo modello produttivo mira a potenziare l'efficienza economica, integrando nei flussi produttivi, nei beni e nei servizi soluzioni innovative in sintonia con i principi della sostenibilità ambientale. Ma ciò che emerge dall'analisi della letteratura è che gli ambiti di particolare interesse legati all'Economia Circolare riguardano le catene di approvvigionamento a ciclo chiuso (Guide e Van Wassenhove, 2009) e i modelli di business circolari (Bocken et al., 2016). Prima di esaminare le motivazioni che hanno spinto verso la transizione a un modello di business circolare, si presenta una sintesi (Figura 1.1) dei principali apporti che hanno contribuito alla definizione dell'economia circolare nel corso degli anni.



### 1.3 Modelli di riferimento e principi fondamentali dell'economia circolare

L'economia circolare non si configura come un modello teorico unitario, bensì come un insieme di approcci concettuali e operativi che condividono l'obiettivo di superare il paradigma lineare (Geissdoerfer et al., 2017). La letteratura evidenzia come il concetto di economia circolare derivi da contributi provenienti da ambiti disciplinari diversi, quali l'economia ecologica, l'ecologia industriale e la teoria dei sistemi (Frosh et al., 1989).

Tra i modelli di riferimento più rilevanti si colloca il paradigma *cradle to cradle* (McDonough et al., 2002) che enfatizza la progettazione di prodotti concepiti fin dall'origine per essere reinseriti in cicli biologici o tecnici senza perdita di valore, eliminando così il concetto stesso di rifiuto. Un ulteriore approccio è rappresentato dall'ecologia industriale, che analizza i sistemi produttivi come ecosistemi artificiali in cui gli scarti di un processo possono diventare input per altri processi (Graedel et al., 1995). In questa prospettiva si inserisce anche la *Blue Economy* (Pauli, 2010), che propone l'imitazione dei meccanismi degli ecosistemi naturali al fine di generare benefici economici, ambientali e sociali multipli attraverso l'uso efficiente delle risorse locali.

Una sintesi autorevole di tali contributi è proposta dalla Ellen MacArthur Foundation nel 2025, che articola l'economia circolare attorno a tre principi fondamentali e interconnessi:

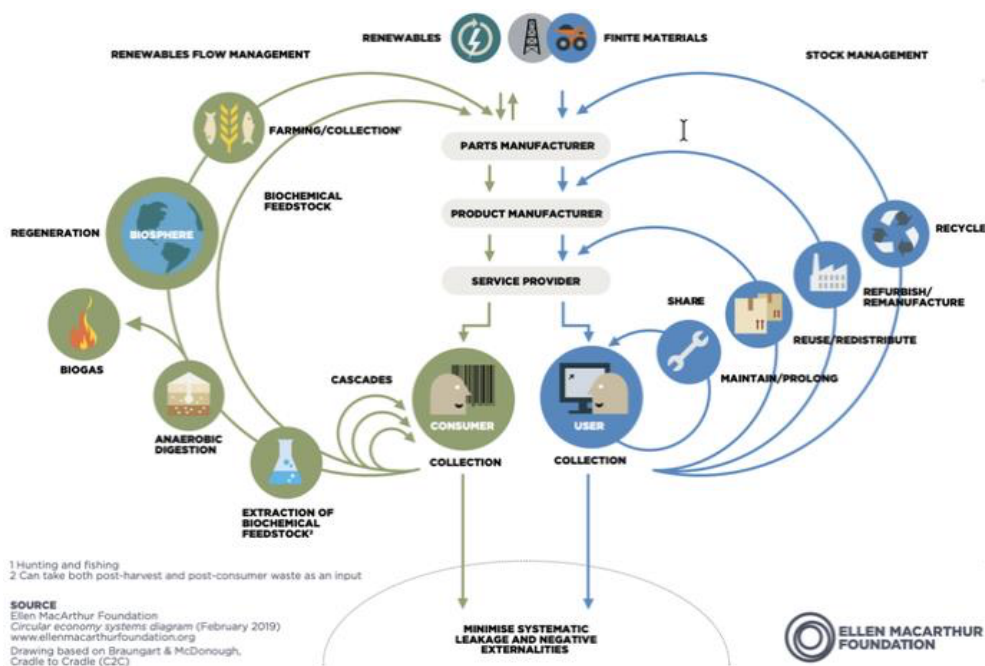
1. l'eliminazione di rifiuti e inquinamento fin dalla fase di progettazione (*design out waste and pollution*);
2. il mantenimento di prodotti e materiali in uso al massimo del loro valore, attraverso pratiche di riutilizzo, riparazione e riciclo (*keep products and materials in use*);
3. la restituzione dei nutrienti biologici agli ecosistemi e la promozione di pratiche rigenerative (*regenerate nature*).

Tali principi distinguono l'economia circolare da un approccio limitato al solo riciclo, enfatizzando invece la prevenzione, la progettazione consapevole e la rigenerazione dei sistemi naturali. Infatti, il diagramma nella Figura 1.3 illustra i cicli biologici e tecnici, evidenziando i principi di eliminazione dei rifiuti, circolarità dei materiali e rigenerazione della natura, secondo la rappresentazione classica del "*butterfly diagram*" sviluppato dalla Ellen MacArthur Foundation in collaborazione con McDonough.

Dal punto di vista operativo, un ruolo centrale è svolto dallo schema operativo delle "R", che sintetizza i principali principi dell'economia circolare: riduzione, riuso, riparazione, ricondizionamento, rigenerazione e riciclo. Questa gerarchia evidenzia come le strategie più efficaci siano quelle che preservano il valore dei prodotti e dei materiali, limitando la necessità di trasformazioni energeticamente e materialmente intensive.

Accanto ai principi tecnici, l'economia circolare si fonda su nuovi modelli di business, tra cui la *performance economy*, basata sulla fornitura di servizi piuttosto che sulla vendita di prodotti, i sistemi prodotto-servizio e le piattaforme di condivisione, che favoriscono un utilizzo più efficiente delle risorse. La molteplicità dei modelli e delle dimensioni coinvolte rende evidente la complessità del fenomeno e la conseguente necessità di strumenti di misurazione adeguati (Stahel et al., 1976).

**Figura 1.3** – Diagramma a farfalla dell'economia circolare (Ellen MacArthur Foundation, 2024). Il diagramma illustra i cicli biologici e tecnici, evidenziando i principi di eliminazione dei rifiuti, circolarità dei materiali e rigenerazione della natura



Fonte: Ellen MacArthur Foundation, 2025.

## 1.4 Il quadro normativo e politico nell'Unione Europea

Nell'Unione europea, la transizione dall'economia lineare a quella circolare è avvenuta in modo progressivo. In una prima fase, le politiche europee si sono concentrate prevalentemente sulla riduzione dell'inquinamento e sulla gestione dei rifiuti. Successivamente, soprattutto a partire dagli anni Duemila, l'approccio si è evoluto verso una visione più integrata, che considera l'efficienza nell'uso delle risorse e la prevenzione dei rifiuti come elementi centrali dello sviluppo sostenibile (European Commission, 2015). Un punto di svolta è rappresentato dall'adozione, nel 2015, del primo Piano d'azione europeo per l'economia circolare, che ha formalizzato il passaggio a una strategia capace di coordinare politiche, imprese, cittadini e ambiente in un approccio coerente e circolare. A tal proposito, la Commissione Europea definisce l'economia circolare come un modello in cui “il valore dei prodotti, dei materiali e delle risorse è mantenuto quanto più a lungo possibile nell'economia, riducendo al minimo la produzione di rifiuti” (European Commission, 2020). Rispetto al mero riciclo, la CE privilegia strategie preventive (riduzione, riutilizzo, riparazione) e rigenerative, in linea con gli obiettivi del Green Deal europeo (European Commission, 2019) e dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite (SDG 12 – Consumo e produzione responsabili (United Nations, 2015)).

Nel recente quadro normativo europeo, è evidente la naturale tendenza verso la promozione di strategie di natura circolare a volte a rendere autosufficienti i paesi membri nel reperimento di risorse naturali critiche e nella riduzione del quantitativo di rifiuti destinati alle discariche (European Commission, 2015). E all'interno di questo scenario che nasce il nuovo piano d'azione per l'economia circolare con obiettivi a detta della stessa Commissione Europea, ancora più ambiziosi rispetto al pacchetto del 2015: “il piano è un prerequisito essenziale per raggiungere l'obiettivo di neutralità climatica dell'UE entro il 2050 e arrestare la perdita di biodiversità”. L'intento è quello di stimolare principalmente la fase di progettazione e produzione dei prodotti in modo conforme alle logiche di economia circolare assicurandosi il mantenimento delle risorse il più a lungo possibile all'interno del sistema economico dell'UE. A tal proposito, *l'Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)*, proposta dalla Commissione a sostituzione dell'attuale Direttiva sull'Ecodesign 2009/125/CE, nasce per stabilire i nuovi requisiti che garantiranno i consumi l'accesso a prodotti più durevoli, affidabili, riutilizzabili, riparabili, nonché più efficienti dal punto di vista energetico. Naturalmente, alla questione ambientale si accosta inevitabilmente un tema relativo alla competitività del sistema produttivo europeo. Da un punto di vista razionale, adottare a livello europeo normative significativamente più rigorose in tema ambientale, rispetto a nazioni come Cina o Stati Uniti, rende la produzione estera più vantaggiosa in termini economici. Questa dinamica influisce notevolmente sulla capacità di attrarre investimenti volti a potenziare i vari settori produttivi nel continente europeo.

L'evoluzione del quadro normativo europeo riflette il passaggio da interventi settoriali a un approccio strategico e sistemico (Figura 1.4). Un momento chiave è rappresentato

dall'adozione del primo *Circular Economy Action Plan* nel 2015 (European Commission, 2015). Il pacchetto comprende un piano d'azione con 54 misure e la revisione di sei direttive chiave sui rifiuti (tra cui la 2008/98/CE, la 1999/31/CE sulle discariche e la 94/62/CE sugli imballaggi). Gli obiettivi principali includevano:

- Riciclo del 65% dei rifiuti urbani e del 75% degli imballaggi entro il 2030 (successivamente rivisto al 65% entro il 2035 con la Direttiva (UE) 2018/851);
- Riduzione del 10% del conferimento in discarica per i rifiuti urbani entro il 2030;
- Definizione di obiettivi specifici per i rifiuti da costruzione e demolizione".

Tale pacchetto segna il passaggio da un approccio che agisce solo nella fase finale del processo produttivo (*end – of – pipe*) a uno preventivo, promuovendo prodotti progettati per durare, essere riutilizzati e riciclati ed estendendo la responsabilità del produttore lungo l'intero ciclo di vita del bene (principio di *Extended Producer Responsibility*). L'implementazione varia tra Stati membri, evidenziando eterogeneità che sarà affrontata nei capitoli successivi della tesi.

**Figura 1.4** – Timeline delle politiche europee sull'economia circolare (2015-2025), con evidenziazione dei principali pacchetti e regolamenti (elaborazione su fonti Commissione Europea, 2025).



Fonte: Salmenperä et al., 2021.

Questo piano è stato successivamente rafforzato nel 2020 nell'ambito del *European Green Deal*. Il Green Deal europeo è una strategia di lungo periodo dell'Unione Europea lanciata nel dicembre del 2019 e volta a trasformare l'economia dell'UE rendendola sostenibile, competitiva e climaticamente neutra entro il 2050, promuovendo una serie di azioni politiche che interessano clima, energia, industria ed economia circolare. Esso, infatti, mira a:

- raggiungere la neutralità climatica entro il 2050;
- svincolare la crescita economica dall'uso delle risorse naturali;
- ridurre le disuguaglianze sociali e territoriali generate dalla transizione ecologica.

Come già anticipato dalla Commissione Europea, il Green Deal non riguarda solo l'ambiente, ma tutti i settori economici. In particolare:

- Clima ed energia: riduzione delle emissioni di gas serra (-55% entro il 2030, pacchetto *Fit for 55* (European Commission, 2021));
- Economia circolare: promozione di modelli produttivi sostenibili (*New Circular Economy Action Plan*);
- Industria: decarbonizzazione e competitività (*Clean Industrial Deal*);
- Mobilità sostenibile: trasporti a basse emissioni;
- Agricoltura: strategia *Farm to Fork*<sup>4</sup> (European Commission, 2022);
- Biodiversità: protezione e ripristino degli ecosistemi (*Biodiversity Strategy*);
- Finanza sostenibile: indirizzare investimenti verso attività green.

Annunciato l'11 marzo 2020, il *New Circular Economy Action Plan* (CEAP) si inserisce all'interno di questo contesto come strumento operativo per la transizione. Esso identifica 54 azioni concrete, focalizzate su sette settori prioritari: plastica, tessile, elettronica, edilizia, batterie, veicoli e imballaggi. Tra i principi chiave:

- Sostenibilità lungo l'intero ciclo di vita dei prodotti (dall'ecodesign alla fine vita);
- Promozione del "*right to repair*" e contrasto all'obsolescenza programmata;
- Riduzione della dipendenza da materie prime critiche attraverso il tasso di utilizzo circolare dei materiali (*Circular Material Use Rate*).

Il CEAP è allineato agli obiettivi di neutralità climatica al 2050 e include misure trasversali come il *Sustainable Products Initiative*<sup>5</sup>. Nel 2026, l'adozione di numerosi regolamenti ha contribuito a registrare un tasso di circolarità UE intorno al 12% nel 2024 (*Plastic Action Center*).

---

<sup>4</sup> Il *Farm to Fork Strategy* è una delle iniziative chiave del Green Deal europeo e mira a rendere la filiera alimentare dell'UE più sostenibile, riducendo l'uso di pesticidi e fertilizzanti chimici, limitando gli sprechi alimentari, promuovendo pratiche agricole rispettose della biodiversità e migliorando la sicurezza e la qualità degli alimenti. (Commissione Europea, *Farm to Fork Strategy*, Bruxelles, 2020)

<sup>5</sup> La *Sustainable Products Initiative* (SPI) è un'iniziativa della Commissione Europea che fa parte del *New Circular Economy Action Plan* (2020). Essa mira a rendere le risorse più sostenibili lungo tutto il ciclo di vita del prodotto.

**Figura 1.5** – Grafico sul New Circular Economy Action Plan e obiettivi del Green Deal europeo (Commissione Europea, 2020-2025).

### Making sustainable products the norm in a more resilient Single Market



### Overview of initiatives in the Circular Economy package

Fonte: Plastics Action Centre.

Al gennaio 2026, la Commissione Europea ha finalizzato nel 2025 il *Circular Economy Act*, proposto come evoluzione del CEAP e la cui adozione è prevista entro l'anno. Come si può vedere anche dalla Figura 1.5, il provvedimento mira a:

- Istituire un *Single Market*<sup>6</sup> per materie prime secondarie e per i rifiuti, armonizzando regole e procedure tra gli Stati membri e riducendo gli ostacoli normativi che frammentano il mercato dei materiali riciclati.
- Aumentare l'offerta e la domanda di materiali riciclati di alta qualità, stimolando l'uso di materie prime seconde nell'industria europea e favorendo processi produttivi più sostenibili.

Tra gli obiettivi principali figurano: progettazione ecocompatibile, maggiore durata e riparabilità dei prodotti, riciclabilità, riduzione dell'uso di risorse critiche e trasparenza per i consumatori. (Commissione Europea, *Sustainable Products Initiative*, Bruxelles, 2022)

<sup>6</sup> Il *Single Market* (Mercato Unico europeo) è il mercato interno dell'Unione Europea in cui beni, servizi, capitale e persone possono circolare liberamente tra gli Stati membri senza barriere doganali, restrizioni quantitative o discriminazioni nazionali. L'obiettivo è creare un mercato integrato e competitivo, aumentando l'efficienza economica e facilitando l'accesso ai prodotti e servizi in tutti i Paesi dell'UE. Nel contesto del *Circular Economy Act*, il *Single Market* per le materie prime secondarie mira a facilitare lo scambio di materiali riciclati tra Stati membri e ad armonizzare le regole sul commercio dei rifiuti.

- Rafforzare la competitività economica, la resilienza e la sicurezza delle catene di approvvigionamento dell'UE, riducendo la dipendenza da materie prime vergini e promuovendo pratiche industriali circolari.
- Sostenere la decarbonizzazione e la gestione efficiente delle risorse, contribuendo agli obiettivi climatici e ambientali dell'Unione e al *Clean Industrial Deal*<sup>7</sup>.
- Raddoppiare il tasso di circolarità al 24% dell'economia UE entro il 2030, favorendo il riuso, la riparazione, il riciclo e il recupero dei materiali.

Il *Circular Economy Act* andrà oltre l'attuale *Circular Economy Action Plan* estendendo e integrando le misure legislative e non legislative già in corso, come la revisione di direttive sul rifiuto e l'e-waste, l'armonizzazione delle regole sui materiali secondari e la digitalizzazione di processi per lo scambio e la classificazione dei rifiuti in modo da creare un quadro giuridico più solido e integrato per l'economia europea (Tabella 1.2).

Come si può vedere, le politiche europee si caratterizzano per la definizione di obiettivi quantitativi in materia di gestione dei rifiuti, riciclo e utilizzo di materie prime. Tali obiettivi rendono indispensabile la disponibilità di dati statistici affidabili e comparabili tra gli Stati membri, ponendo le basi metodologiche per lo sviluppo di un sistema strutturato di indicatori di monitoraggio dell'economia circolare.

**Tabella 1.2** – Principali target normativi UE per l'economia circolare.

| <b>Ambito</b>          | <b>Target 2025</b> | <b>Target 2030</b> | <b>Target 2035/2040</b> | <b>Fonte Principale</b> |
|------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| Riciclo rifiuti urbani | 55%                | 60%                | 65%                     | Direttiva 2018/851      |
| Riciclo imballaggi     | 65%                | 70%                |                         | PPWR (2025/40)          |
| Riduzione imballaggi   |                    | 5%                 | 15% (2040)              | PPWR (2025/40)          |
| Tasso circolarità      |                    | Raddoppio (24%)    |                         | Clean Industrial Deal   |

Fonte: European Commission, 2020.

<sup>7</sup> Il *Clean Industrial Deal* è un pacchetto strategico proposto dalla Commissione europea nel 2025 per sostenere la competitività dell'industria europea durante la transizione verso la decarbonizzazione. Il piano mira a promuovere l'adozione di tecnologie pulite, ridurre i costi energetici, incentivare la produzione sostenibile e rafforzare l'economia circolare, integrando strumenti finanziari e politiche per l'innovazione industriale.



## Capitolo 2 - Dati e fonti statistiche

Il presente capitolo descrive in modo dettagliato la metodologia utilizzata per valutare il livello di sviluppo dell'economia circolare (CE) nei Paesi membri dell'Unione Europea. In particolare, vengono presentati gli indicatori selezionati, le procedure di trattamento dei dati mancanti, le tecniche di normalizzazione e di costruzione delle misure sintetiche, e infine la classificazione dei Paesi in gruppi omogenei in base al loro livello di sviluppo della CE. L'analisi è stata condotta sui dati pubblicati da Eurostat relativi agli anni dal 2016 al 2022, in linea con lo studio di riferimento *“Statistical Evaluation of the Level of Development of Circular Economy in European Union Member Countries”* di Fura et al. del 2020 e con il sistema di monitoraggio dell'economia circolare sviluppato dalla Commissione Europea nel 2018. L'indagine ha riguardato i 26 Paesi membri dell'Unione Europea (EU-26). Rispetto al lavoro di Fura et al. (2020), in questo studio è stato escluso il Regno Unito in quanto, a seguito della Brexit (effettiva dal 1° febbraio 2020), non fa più parte dell'Unione nonché la Grecia nonché la Grecia, a causa della presenza di valori mancanti estesi per diversi indicatori chiave del framework di monitoraggio dell'economia circolare nel periodo 2016 – 2022, che ne avrebbe reso possibile l'inclusione nell'indice sintetico senza introdurre distorsioni e compromettere la completezza e la comparabilità del panel dati.

## 2.1 Descrizione dei dataset e delle fonti

La misurazione dell'economia circolare costituisce un elemento fondamentale per il monitoraggio e la valutazione delle politiche europee. La Commissione Europea, in collaborazione con Eurostat, ha sviluppato un sistema di indicatori articolato in quattro aree tematiche principali – produzione e consumo, gestione dei rifiuti, uso delle materie prime, competitività e innovazione – progettato per riflettere gli obiettivi strategici delle politiche europee e consentire confronti tra gli Stati membri.

Tali indicatori, tuttavia, presentano eterogeneità in termini di scala, unità di misura e direzione dell'effetto (stimolante<sup>8</sup> o destimolante<sup>9</sup>), rendendo complessa una valutazione comparativa diretta. Per superare tale limite, la letteratura propone l'impiego di metodologie statistiche multivariate in grado di sintetizzare l'informazione contenuta in un insieme ampio e multidimensionale di variabili (Nardo et al., 2008).

Ai fini dell'analisi empirica condotta nel presente lavoro, il livello di avanzamento dell'economia circolare nei 27 Paesi dell'Unione Europea è stato descritto attraverso un insieme di 17 indicatori statistici affidabili e comparabili che sono stati forniti da Eurostat e che sono organizzati nelle quattro aree tematiche sopra richiamate, in piena coerenza con il framework adottato nell'articolo di riferimento. Questi 17 indicatori consentono non solo di misurare i benefici diretti e indiretti derivanti dall'adozione di modelli circolari, ma forniscono anche informazioni sul contributo che tali modelli apportano alla capacità di vivere entro i limiti ecologici del pianeta, tenendo conto dei rischi connessi all'approvvigionamento energetico e materiale. L'elenco completo degli indicatori, raggruppati per area tematica, è riportato nella Tabella 2.1.

Le quattro aree tematiche consentono di rappresentare le fasi principali del ciclo circolare: riduzione dell'uso di risorse, ottimizzazione della gestione dei rifiuti, riutilizzo dei materiali e impulso all'innovazione. Di seguito una presentazione sintetica di ciascuna area, con motivazione della natura (stimolante o destimolante) degli indicatori associati.

**I. Produzione e consumo.** Questa area include indicatori che descrivono l'intensità con cui i sistemi produttivi e di consumo generano rifiuti in relazione alla popolazione, all'attività economica e all'uso dei materiali. Gli indicatori utilizzati per misurare l'intensità della produzione di rifiuti (X1 – X3) sono stati pertanto classificati come destimolanti, in quanto valori elevati riflettono una maggiore pressione ambientale. Sebbene una parte dei rifiuti possa essere recuperata e reimmessa nei cicli produttivi, tale possibilità è limitata dalla sostenibilità degli ecosistemi e dalle condizioni tecniche dei processi del sistema produttivo.

---

<sup>8</sup> Stimolante (S): variabile i cui valori elevati esercitano un effetto favorevole sul fenomeno oggetto di analisi, mentre i valori ridotti risultano sfavorevoli.

<sup>9</sup> Destimolante (D): variabile i cui valori elevati esercitano un effetto sfavorevole sul fenomeno oggetto di analisi, mentre i valori ridotti risultano favorevoli.

**II. Gestione dei rifiuti.** Rappresenta uno dei pilastri dell'economia circolare. La politica europea sta progressivamente spostando l'attenzione dalla mera prevenzione alla valorizzazione dei rifiuti come risorse e materie prime sostenibili. Gli indicatori X4 – X11 misurano le performance dei sistemi di raccolta e trattamento, con particolare riferimento ai tassi di riciclaggio e recupero per diverse tipologie di rifiuti (urbani, imballaggi, *e-waste*, *biowaste*, costruzione/demolizione). Il riciclaggio contribuisce alla riduzione del volume complessivo dei rifiuti e del fabbisogno di materie prime vergini, producendo al contempo effetti positivi sull'occupazione diretta nel settore e su quella indotta in ambiti collegati, quali la costruzione e la manutenzione degli impianti. Per queste ragioni tutti gli indicatori dell'area sono stati considerati stimolanti.

**III. Materiali secondari.** Quest'area misura la quota di reintegrazione dei materiali riciclati nei processi produttivi e il commercio di materie prime riciclabili. È rappresentata dall'indicatore X12 (tasso di utilizzo di materiali circolari) e dagli indicatori X13 – X16 che misurano i flussi commerciali intra ed extra-UE di materie prime riciclabili. Un valore elevato di X12 indica una maggiore sostituzione di materie prime primarie con materie secondarie, riducendo gli impatti ambientali legati all'estrazione. Analogamente, i flussi commerciali (X13 – X16) favoriscono l'efficienza di mercato quando le condizioni ambientali sono omogenee tra Stati membri, rimuovendo inefficienze e promuovendo prezzi adeguati. In virtù di tali considerazioni, tutti gli indicatori appartenenti a questa area sono pertanto trattati come stimolanti.

**IV. Competitività e innovazione.** L'ultima area riguarda gli investimenti privati, l'occupazione, la creazione di valore aggiunto e i brevetti relativi all'economia circolare. Essa mira a cogliere il contributo del progresso tecnologico e dell'attività innovativa allo sviluppo dell'economia circolare dei Paesi. Nel presente lavoro tale area è rappresentata dall'indicatore X17 che misura il numero di brevetti relativi al riciclo e alle materie prime secondarie in rapporto alla popolazione. Valori più elevati dell'indicatore riflettono una maggiore capacità innovativa e sono pertanto interpretati come uno stimolante.

Queste aree, con i relativi 17 indicatori, costituiscono la base per la costruzione dell'indice sintetico (Capitolo 3.3) garantendo piena comparabilità con l'articolo di riferimento.

**Tabella 2.1:** Elenco dei 17 indicatori adottati nell'analisi, raggruppati nelle 4 aree tematiche dell'economia circolare individuate da Eurostat.

| Area Tematica                   | Codice | Indicatore  | Unità di misura                             | Natura | Descrizione sintetica  |
|---------------------------------|--------|---|---|--------|--|
| I. Produzione e consumo         | X1     | Generazione di rifiuti urbani pro capite  | kg pro capite                               | D      | Misura la pressione sui sistemi di smaltimento generata dai consumi domestici. |
| I. Produzione e consumo         | X2     | Generazione di rifiuti (escl. minerali maggiori) per unità di PIL                   | kg per mille euro (volumi concatenati 2010) | D      | Indica l'intensità di rifiuti per attività economica.                          |
| I. Produzione e consumo         | X3     | Generazione di rifiuti (escl. minerali maggiori) per consumo domestico di materiali | %   | D      | Rapporto tra rifiuti generati e materiali consumati internamente.              |
| II. Gestione dei rifiuti        | X4     | Tasso di riciclo dei rifiuti urbani   | %   | S      | Quota di rifiuti urbani riciclati o compostati.                                |
| II. Gestione dei rifiuti        | X5     | Tasso di riciclo di tutti i rifiuti (escl. minerali maggiori)                       | %   | S      | Riciclo complessivo esclusi i grandi flussi minerali.                          |
| II. Gestione dei rifiuti        | X6     | Tasso di riciclo degli imballaggi (totale)  | %   | S      | Media ponderata per tipo di imballaggio.                                       |
| II. Gestione dei rifiuti        | X7     | Tasso di riciclo imballaggi in plastica   | %   | S      | Specifico per plastica.  |
| II. Gestione dei rifiuti        | X8     | Tasso di riciclo imballaggi in legno  | %   | S      | Specifico per legno.   |
| II. Gestione dei rifiuti        | X9     | Tasso di riciclo dei rifiuti elettronici (e-waste)                                  | %   | S      | Quota di RAEE riciclati.   |
| II. Gestione dei rifiuti        | X10    | Riciclo dei rifiuti biologici pro capite  | kg pro capite                               | S      | Quantità di biowaste riciclati.  |
| II. Gestione dei rifiuti        | X11    | Tasso di recupero rifiuti da costruzione e demolizione                              | %   | S      | Quota di rifiuti minerali C&D recuperati.                                      |
| III. Materiali secondari        | X12    | Tasso di utilizzo di materiali circolari  | % dell'utilizzo totale di materiali         | S      | Quota di materiali riciclati sul totale consumato.                             |
| III. Materiali secondari        | X13    | Importazioni di materie prime riciclabili da paesi extra-UE                         | tonnellate per mille abitanti               | S      | Flussi import extra-UE.  |
| III. Materiali secondari        | X14    | Esportazioni di materie prime riciclabili verso paesi extra-UE                      | tonnellate per mille abitanti               | S      | Flussi export extra-UE.  |
| III. Materiali secondari        | X15    | Importazioni di materie prime riciclabili da paesi UE                               | tonnellate per mille abitanti               | S      | Flussi import intra-UE.  |
| III. Materiali secondari        | X16    | Esportazioni di materie prime riciclabili verso paesi UE                            | tonnellate per mille abitanti               | S      | Flussi export intra-UE.  |
| IV. Competitività e innovazione | X17    | Brevetti relativi a riciclo e materiali secondari per milione di abitanti           | numero per milione di abitanti              | S      | Misura l'innovazione tecnologica circolare.                                    |

## 2.2. Trattamento dei dati mancanti

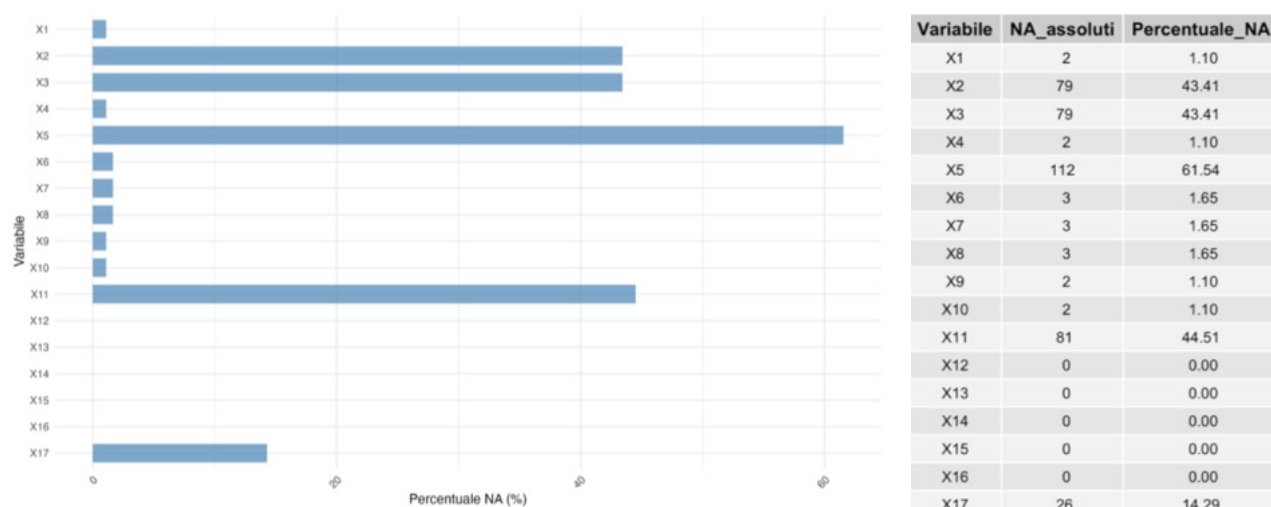
Un limite operativo ricorrente nella misurazione dell'economia circolare a livello europeo è l'eterogeneità nella comunicazione dei dati tra Stati membri, che compromette la comparabilità sia intertemporale sia cross-sezionale dei dati (European Court of Auditors, 2023). Tali disparità si manifestano in particolare attraverso valori mancanti sistematici per alcuni indicatori e per determinati Paesi. Indicatori come il tasso di riciclaggio totale (esclusi i minerali) o i brevetti green soffrono di ritardi strutturali e incompletezze, specialmente nei Paesi dell'Europa orientale. Tale problema persiste nonostante i regolamenti armonizzanti (es. Regolamento UE 2020/2146), e può introdurre distorsioni nelle analisi multivariate. Inoltre, alcuni indicatori sono disponibili solo a livello aggregato UE, riducendo l'accuratezza delle informazioni per valutazioni subnazionali o settoriali (OECD). Le cause principali di queste incompletezze sono di natura strutturale e normativa:

- obblighi di monitoraggio introdotti solo recentemente (ad esempio, il Regolamento (UE) 2019/2152 e il Regolamento di esecuzione (UE) 2020/2146 hanno reso obbligatoria la serie completa del tasso di riciclaggio totale esclusi i minerali maggiori soltanto a partire dal ciclo 2018 – 2020);
- difficoltà tecniche di disaggregazione settoriale (i rifiuti minerali da costruzione e demolizione, che in molti Paesi rappresentano oltre il 50 – 70 % del totale, richiedono una documentazione dettagliata non sempre disponibile nei Paesi dell'allargamento 2004 – 2007);
- ritardi amministrativi e di capacità statistica nazionale nei Paesi dell'Europa orientale e balcanica (Bulgaria, Romania, Croazia e parte degli Stati baltici hanno iniziato a trasmettere flussi di rifiuti non urbani in modo sistematico solo dal 2018 – 2020);
- ritardi fisiologici nella registrazione e pubblicazione di determinati indicatori (ad esempio, i brevetti relativi al riciclo e alle materie prime seconde, influenzati dal periodo obbligatorio di 18 mesi per la pubblicazione delle domande presso l'Ufficio Europeo dei Brevetti).

Questi fattori persistono nonostante i progressivi interventi regolatori di armonizzazione (tra cui il citato Regolamento UE 2020/2146) e possono introdurre distorsioni sistematiche nelle analisi multivariate successive. Inoltre, alcuni indicatori sono disponibili esclusivamente a livello aggregato per l'Unione Europea, limitando il livello di dettaglio necessario per valutazioni subnazionali o settoriali più approfondite (European Environment Agency, 2023).

Poiché, pertanto, diversi indicatori presentano valori mancanti per specifici Paesi o anni, con una concentrazione marcata su X2, X3, X5, X11 e X17, si è reso necessario applicare procedure rigorose di analisi e imputazione dei dati mancanti. La Figura 2.1 riassume la percentuale di dati mancanti osservati per ciascun indicatore sul panel complessivo (25 Paesi moltiplicati per gli anni considerati).

**Figura 2.1:** Percentuali di dati mancanti per gli indicatori X per il periodo 2016 – 2022.



Nella Figura 2.1, infatti, è stato riportato il grafico relativo alla percentuale di valori mancanti per ciascuno dei 17 indicatori selezionati (X1 – X17), calcolata su 182 osservazioni (27 paesi × 7 anni). La distribuzione appare fortemente asimmetrica con una netta dicotomia tra un gruppo ristretto di indicatori critici e la maggioranza caratterizzata da elevata completezza.

Cinque indicatori, infatti, superano la soglia del 14% di valori mancanti (NA): X5 (tasso di riciclo di tutti i rifiuti esclusi i maggiori minerali) raggiunge il picco massimo del 61,54%, seguito da X2 e X3 (entrambi 43,41%), X11 (44,51%) e X17 (14,29%). Tale concentrazione riflette vincoli strutturali nella disponibilità dei dati per gli indicatori X5 e X11. In particolare, l’esclusione dei rifiuti minerali provenienti da costruzione e demolizione, prevista dal Regolamento (CE) n. 2150/2002 del Parlamento europeo e del Consiglio del 25 novembre 2002 sulle statistiche dei rifiuti, richiede disaggregazioni settoriali che, come emerge dai metadati Eurostat relativi all’indicatore “*Recycling rate of all waste excluding major mineral waste*” (codice: cei\_wm010), non risultano sempre disponibili nei Paesi dell’Europa orientale prima del 2020.

In particolare, la percentuale di dati mancanti di X5, la più elevata del panel, non è imputabile a errori di estrazione o a problemi tecnici, bensì a precise scelte metodologiche e normative di Eurostat e degli Stati membri:

1. Ambito di applicazione limitato nel tempo: la serie completa di X5 è stata resa obbligatoria soltanto con il Regolamento (CE) n 2150/2002 (*Waste Statistics Regulation*). Prima del processo di rilevazione dei dati del 2018-2020, la maggior parte dei Paesi dichiarava solo i rifiuti urbani e gli imballaggi (X4, X6 – X10), mentre il “riciclo totale esclusi minerali maggiori” non era né obbligatorio né armonizzato.
2. Difficoltà di esclusione dei rifiuti minerali da costruzione e demolizione: i rifiuti minerali da Costruzione e Demolizione (codici EWC – STAT 12.1, 12.2, 12.3, 12.5) rappresentano in molti Paesi membri oltre il 50 – 70% del totale dei rifiuti generati. La loro esclusione richiede una disaggregazione settoriale molto dettagliata che numerosi Stati membri (soprattutto dell’Europa orientale) non erano in grado di fornire prima del 2020.

3. Ritardi strutturali nei Paesi dell'allargamento 2004 – 2007: Bulgaria, Romania, Croazia e parte degli Stati baltici hanno iniziato a rilevare i flussi di rifiuti non urbani solo a partire dal 2018-2020, in concomitanza con i piani di chiusura delle discariche.

Il 61,54% di NA su X5 riflette quindi una reale assenza storica di dati armonizzati e non un problema di qualità del dataset attuale.

Per X2 e X3, le serie storiche di PIL in volumi concatenati con anno di riferimento 2010 presentano lacune significative anche nel periodo 2016 – 2022, nonostante l'obbligo di trasmissione secondo il Sistema Europeo dei Conti (SEC 2010) fosse pienamente in vigore dal settembre 2014 (Regolamento UE 549/2013). Tali incompletezze sono concentrate principalmente in alcuni Paesi dell'allargamento 2004 – 2007 (Bulgaria, Romania) e in Stati baltici. Come emerge dai metadati Eurostat relativi ai conti nazionali espressi in volumi concatenati (*National accounts – GDP (chain-linked volumes)*), in questi Stati membri la produzione di stime nazionali coerenti con tale metodologia ha subito ritardi strutturali, riconducibili a limitate capacità amministrative nonché a revisioni retrospettive dei conti nazionali nel periodo 2016 – 2022. Di conseguenza, per questi Paesi non sono disponibili dati affidabili per uno o più anni del panel analizzato, impedendo il calcolo dell'intensità di rifiuti per unità di PIL (X2) e per consumo domestico di materiali (X3).

Per l'indicatore X17 – brevetti relativi al riciclo e ai materiali secondari per milione di abitanti – la percentuale di valori mancanti (14,29 %) è riconducibile al ritardo fisiologico nella pubblicazione e registrazione delle domande presso l'Ufficio Europeo dei Brevetti (EPO). In conformità all'articolo 93 della Convenzione sul Brevetto Europeo (CBE), le domande di brevetto sono pubblicate automaticamente 18 mesi dopo la data di deposito o di priorità, indipendentemente dallo stato di esame. Tale intervallo obbligatorio introduce un ritardo strutturale nei dati Eurostat: come emerge dai metadati relativi all'indicatore "*Patents in recycling and secondary raw materials*" (codice: cir\_00110), i brevetti depositati nel 2022 diventano pienamente visibili solo a partire dalla metà del 2024, determinando valori mancanti o sottostimati per l'anno più recente del panel analizzato (2022).

Al contrario, i rimanenti dodici indicatori presentano un'eccellente copertura dei dati, con una percentuale di valori mancanti inferiore al 2 %. In particolare, gli indicatori X12 – X16 registrano una completezza totale (0 % di NA). Questi ultimi, relativi ai flussi di materiali secondari e al commercio di materie prime riciclabili, beneficiano di un monitoraggio più uniforme e sistematico grazie ai conti dei flussi di materiali a livello di economia (*Economy – Wide Material Flow Accounts, EW-MFA*). Tali conti sono stati resi obbligatori e standardizzati a livello europeo dal Regolamento (UE) n. 691/2011 del Parlamento europeo e del Consiglio del 6 luglio 2011, relativo ai conti economici ambientali europei, come confermato dai metadati Eurostat sull'*Economy – wide material flow accounts (EW – MFA)*.

L'asimmetria osservata risulta coerente con la natura dei dati Eurostat: gli indicatori di carattere "macro" e storico (produzione e consumo di materiali e parte della gestione dei

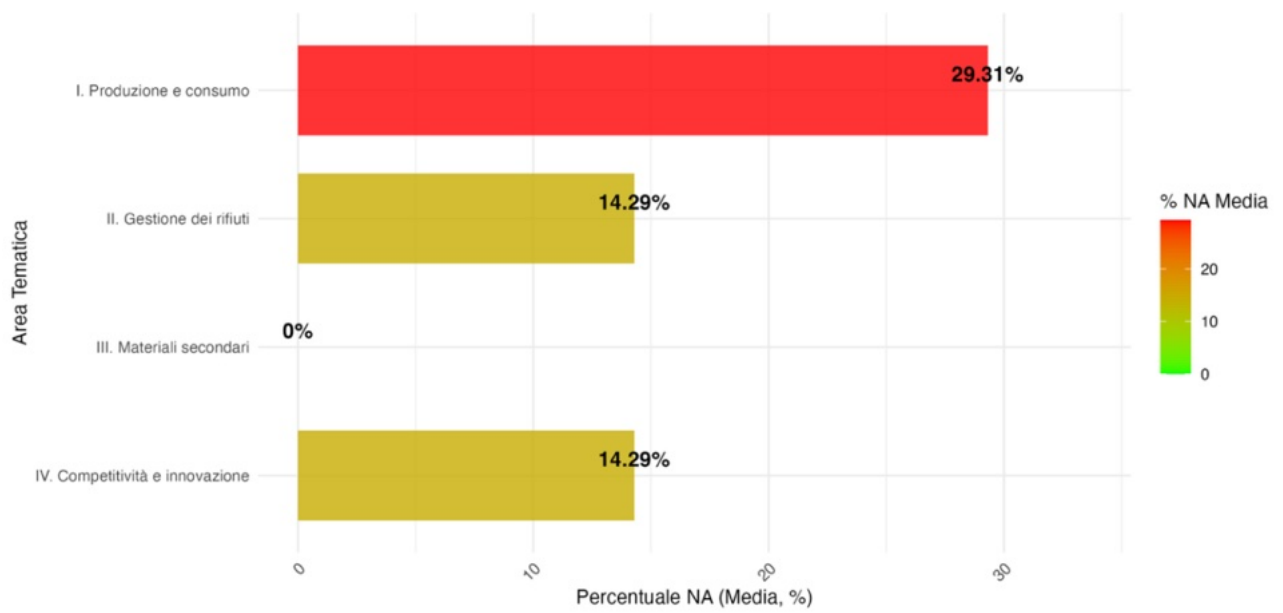
rifiuti) presentano incompletezze pre-2010 e una certa eterogeneità tra gli Stati membri, mentre quelli relativi al commercio e ai materiali secondari beneficiano di un monitoraggio più uniforme e standardizzato a livello UE, come documentato nei metadati Eurostat sugli *Economy – Wide Material Flow Accounts* (EW – MFA). La media complessiva di valori mancanti nel panel (12,74 %) resta comunque contenuta e pienamente compatibile con le successive analisi multivariate.

Il Figura 2.2 sintetizza le percentuali medie di dati mancanti per le quattro aree tematiche individuate. L'eterogeneità osservata è marcata e sistematica, infatti, riassumendo tali informazioni per area tematica otteniamo che:

- **Area I – Produzione e consumo:** registra il valore più elevato (29,31%), dovuta principalmente alle variabili X2 e X3 (entrambe 43,41%), legate alla generazione di rifiuti per unità di PIL e per consumo domestico di materiali. Tale incompletezza è riconducibile alla difficoltà di armonizzare serie storiche di PIL in volumi concatenati (anno di riferimento 2010) e a differenze nazionali nella rendicontazione dei rifiuti esclusi i minerali, con ritardi strutturali soprattutto nei Paesi dell'allargamento 2004 – 2007.
- **Area II – Gestione dei rifiuti:** presenta una media del 14,29%, con picchi critici in X5 (riciclo totale, 61,54%) e X11 (recupero rifiuti da costruzione e demolizione, 44,51%). Questi indicatori soffrono di reporting disomogeneo, soprattutto nei Paesi dell'Europa orientale e per periodi pre-2010/2020, a causa di vincoli legati alla disaggregazione settoriale e alle capacità amministrative.
- **Area III – Materiali secondari:** è l'unica a mostrare copertura completa (0% NA), grazie alla solida base dei conti dei flussi di materiali a livello di economia (*Economy – Wide Material Flow Accounts*, EW-MFA) e al monitoraggio puntuale dei flussi commerciali intra ed extra-UE (X12 – X16), resi obbligatori e standardizzati a livello europeo.
- **Area IV – Competitività e innovazione:** (X17) presenta un valore intermedio del 14,29%, tipico degli indicatori come i brevetti green che sono influenzati da ritardi di registrazione presso l'Ufficio Europeo dei Brevetti (EPO).

La media complessiva del panel risulta pari al 12,74%, un livello moderato che non compromette l'affidabilità dell'analisi multivariata, ma richiede un trattamento cautelativo dell'imputazione (Sezione 3.3). In particolare, l'Area III rappresenta un punto di forza metodologico, mentre le Aree I e II costituiscono il principale collo di bottiglia, con implicazioni dirette sulla robustezza dell'indice sintetico di economia circolare (Capitolo 4) e sui risultati di clustering (Capitolo 5).

**Figura 2.2:** Percentuali medie di dati mancanti per area tematica.





## 2.3. Tecnica di imputazione

Nell'articolo di riferimento, i dati mancanti sono stati stimati mediante l'imputazione basata sulla media del gruppo (*mean imputation*) o, in casi più complessi, mediante imputazione per regressione: ogni valore mancante riguardante un indicatore di un singolo Paese è stato sostituito con la media dei Paesi appartenenti allo stesso cluster geografico-economico. Formalmente, il valore imputato  $x_{ij}^*$  per il Paese  $i$  e l'indicatore  $j$  è stato calcolato come:

$$x_{ij}^* = \begin{cases} x_{ij}, & \text{se } x_{ij} \text{ è disponibile} \\ \bar{x}_{.j}, & \text{se } x_{ij} \text{ è mancante} \end{cases}$$

dove  $\bar{x}_{.j}$  rappresenta la media dei valori osservati dell'indicatore  $j$ .

Tale approccio, pur semplice e facilmente interpretabile, presenta due limiti rilevanti nel contesto del presente lavoro, come ampiamente discusso nella letteratura statistica sui metodi di trattamento dei dati mancanti:

1. **Circularità metodologica** – l'imputazione si basa sui medesimi cluster che si intendono successivamente validare, introducendo un rischio di *overfitting* e di sovrastima della similarità tra i Paesi (in particolare Van Buuren, 2018, Capitolo 2 e Sezione 12.1);
2. **Sottostima della varianza** – l'uso della media di cluster elimina l'incertezza associata ai valori mancanti, violando l'assunzione di *Missing At Random* (MAR) e producendo errori standard eccessivamente ottimistici nelle successive analisi multivariate (Little e Rubin, 2019).

Per queste ragioni è stata adottata l'imputazione multipla mediante Equazioni a Catena (*Multiple Imputation by Chained Equations*, MICE) con *Predictive Mean Matching* (PMM), approccio attualmente considerato il metodo di riferimento per il trattamento di dataset caratterizzati da elevate percentuali di valori mancanti e da strutture di correlazione complesse (Graham, 2009; Sterne et al., 2009).

MICE consente di superare in modo efficace entrambi i limiti precedentemente evidenziati:

- non richiede la preventiva individuazione dei cluster, eliminando così ogni rischio di circolarità metodologica;
- genera  $m = 20$  dataset completi che incorporano adeguatamente l'incertezza associata al processo di imputazione, permettendo il *pooling* corretto dei risultati secondo le regole di Rubin (Rubin, 1987).

La scelta del metodo MICE con PMM rappresenta quindi un miglioramento metodologico sostanziale rispetto allo studio di partenza di Fura, pienamente coerente con le

raccomandazioni più recenti della letteratura statistica per analisi comparative su panel internazionali con dati mancanti strutturati (Graham, 2009; Sterne et al., 2009).

Nella Tabella 2.1 sono evidenziati i principali vantaggi metodologici di MICE: assenza di circolarità, trattamento corretto dell'incertezza di imputazione e maggiore robustezza con percentuali elevate di dati mancanti (fino al 61,54% su X5). Tale scelta rappresenta un miglioramento rispetto all'approccio dell'articolo di riferimento, in linea con lo standard di riferimento attuale nella letteratura statistica.

**Tabella 2.1:** Confronto tra il metodo di imputazione adottato nell'articolo di riferimento (imputazione singola basata su cluster geografico-economico) e il metodo utilizzato nel presente lavoro (imputazione multipla MICE con *Predictive Mean Matching*).

| Critero                            | Imputazione per regressione                               | Metodo adottato (MICE)   |
|------------------------------------|---|--|
| Tipo di imputazione                | Singola (deterministica)                                  | Multipla stocastica (m = 20)   |
| Base per l'imputazione             | Media dei Paesi nello stesso cluster geografico-economico | Predictive Mean Matching (PMM) su tutte le variabili + TIME_PERIOD e geo |
| Clustering preliminare             | Sì (rischio di circolarità)                               | No   |
| Trattamento dell'incertezza        | Nessuna → varianza sottostimata                           | Incorporata → regole di Rubin (1987)                                     |
| Idoneità con NA >40–60%            | Scarsa  | Elevata  |
| Preservazione della distribuzione  | No (media del cluster)                                    | Sì (campionamento da osservazioni reali)                                 |
| Compatibilità con PCA e clustering | Limitata  | Ottimale   |
| Standard metodologico attuale      | Accettabile nel 2019–2020                                 | Metodo di riferimento attuale (van Buuren & Groothuis-Oudshoorn, 2011)   |
| Sensibilità dimostrata             | Non riportata   | Variazioni < 5% (Appendice 8.4)  |

Fonte: Elaborazione personale con le informazioni ricavate da Van Buuren (2018).

## 2.4 Imputazione multipla con MICE

L'Imputazione Multipla mediante Equazioni a Catena (*Multiple Imputation by Chained Equations* – MICE) trattata da Van Buuren et al. (2018) non utilizza una singola formula chiusa, ma un algoritmo iterativo che modella condizionatamente ogni variabile con valori mancanti sulle altre variabili osservate.

Per una variabile  $Y_j$  con valori mancanti, MICE stima un modello di regressione condizionato alle altre variabili  $Y_{-j}$ :

$$Y_j^{(t+1)} \sim P(Y_j | Y_{-j}, \theta_j^{(t)})$$

dove:

- $t$  è l'iterazione corrente,
- $\theta_j^{(t)}$  sono i parametri del modello stimati all'iterazione  $t$ ,
- $P(\cdot)$  è la distribuzione predittiva posteriore del modello scelto per  $Y_j$ .

Il ciclo si ripete per tutte le variabili con valori mancanti fino a convergenza (solitamente 10 – 50 iterazioni). Alla convergenza, si estraggono valori imputati da questa distribuzione ( $m$  volte, per ottenere  $m$  dataset completi).

Il *Predictive Mean Matching* (PMM), che è il metodo che è stato usato nel presente lavoro, è una variante semi-parametrica particolarmente robusta per distribuzioni non normali (come molti indicatori dell'economia circolare). La procedura per ogni valore mancante  $y_{j,obs}$  di  $Y_j$  è la seguente:

1. Si stima un modello di regressione lineare:

$$\hat{y}_j = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 Y_1 + \dots + \hat{\beta}_k Y_k$$

dove  $Y_1, \dots, Y_k$  sono le variabili predittrici osservate.

2. Si calcola il valore predetto  $\hat{y}_{j,mis}$  per l'osservazione mancante.
3. Si identificano le  $k$  osservazioni candidate (tipicamente  $k = 5$  o  $10$ ) tra le unità complete le cui previsioni  $\hat{y}_{j,obs}$  sono più vicine a  $\hat{y}_{j,mis}$
4. Si estrae casualmente uno dei  $k$  valori osservati reali e lo si assegna come valore imputato.

Matematicamente:

$$y_{j,mis}^{(m)} = y_{j,d} \quad \text{dove} \quad d \sim \text{Uniforme}\{i: |\hat{y}_{j,i} - \hat{y}_{j,mis}| \leq \delta_k\}$$

con  $\delta_k$  distanza al k-esimo vicino più prossimo.

Questo meccanismo preserva la distribuzione empirica originale (non impone normalità) e riduce la distorsione rispetto a metodi puramente parametrici, rendendolo particolarmente adatto a indicatori asimmetrici e vincolati come possono esserlo i tassi percentuali o i conteggi pro-capite (vedi gli indicatori X5, X11, X17 del presente lavoro).

Nel dataset utilizzato (182 osservazioni, 17 indicatori X1 – X17), il PMM è stato applicato con  $k = 10$  e  $m = 20$  imputazioni multiple, includendo come predittori tutti i 17 indicatori più TIME\_PERIOD, che è la variabile relativa all'anno di riferimento del dato, e GEO, che invece è la variabile relativa al paese di riferimento del dato. I risultati delle analisi multivariate sono stati aggregati secondo le regole di Rubin (1987).

Una volta completata la fase di preparazione e imputazione dei dati mancanti il dataset risulta completo ed è quindi possibile procedere con le analisi statistiche preliminari.

### 3. Metodologia Statistica

Il Capitolo 3 della presente tesi magistrale è dedicato all'analisi empirica del livello di sviluppo dell'economia circolare nei 26 Paesi membri dell'Unione Europea, con particolare attenzione agli anni 2016 e 2022. Lo scopo di questa sezione è offrire un quadro generale delle performance nazionali in ambito sostenibile e presentare l'approccio metodologico proposto nell'articolo di riferimento "*Statistical Evaluation of the Level of Development of Circular Economy in European Union Member Countries*".

In apertura del capitolo si procede a un esame sistematico delle principali statistiche descrittive del dataset, costituito dai 17 indicatori chiave (X1 – X17) ricavati dalle banche dati Eurostat e che sono stati presentati nel capitolo precedente. Tale analisi descrittiva, condotta separatamente per i due anni di riferimento e con un confronto intertemporale diretto, consentirà di illustrare la distribuzione dei valori, le misure di tendenza centrale, la variabilità e la forma delle distribuzioni per ciascun indicatore, evidenziando al contempo eventuali pattern di polarizzazione territoriale e di evoluzione nel tempo tra i Paesi dell'Unione.

Successivamente, il capitolo illustra in dettaglio la metodologia statistica adottata per sintetizzare e classificare le performance nazionali. In primo luogo, viene descritta la procedura di costruzione dell'indice sintetico composito di sviluppo dell'economia circolare, basata sulla tecnica di normalizzazione *zero-unitarization* di Fura et al. (2020). Questa trasformazione, applicata a tutti gli indicatori (positivi e negativi), permette di ricondurre le variabili a una scala comune adimensionale nell'intervallo  $[0, 1]$ , preservando le distanze relative e garantendo la piena comparabilità tra dimensioni caratterizzate da unità di misura differenti. Una volta ottenuta la matrice normalizzata, si procede all'aggregazione mediante media aritmetica semplice (con analisi di sensibilità su pesi alternativi), ottenendo per ciascun Paese e per ciascun anno un valore sintetico compreso tra 0 e 1 che riassume il grado complessivo di circolarità del sistema produttivo nazionale.

In parallelo viene esposta la procedura di *clusterizzazione*, anch'essa basata sul lavoro di Fura et al. (2020). Al fine di verificare la solidità della classificazione ottenuta, l'intera procedura è sottoposta a un test di sensibilità rispetto alle scelte metodologiche e confronti diretti tra la struttura dei *cluster* del 2016 e quella del 2022 per valutare la stabilità dinamica dei gruppi e l'eventuale mobilità dei Paesi nel periodo considerato.

Attraverso questa sequenza di passi metodologici – dall'analisi descrittiva – esplorativa alla costruzione dell'indice sintetico, dalla *clusterizzazione* alla validazione della tassonomia – il Capitolo 3 non si limita a riprodurre il lavoro di Fura et al. (2020) estendendolo al periodo 2016 – 2022, ma mira ad offrire una rappresentazione rigorosa e pienamente riproducibile delle disparità territoriali nell'ambito dell'economia circolare europea, ponendo le basi per l'interpretazione dei risultati e per le raccomandazioni di *policy* che verranno sviluppate nei capitoli successivi.

### 3.1 Analisi descrittiva e visualizzazioni

Al fine di fornire un quadro sintetico delle caratteristiche principali degli indicatori analizzati nei due anni di riferimento, si presentano di seguito le Tabelle 3.1 e 3.2.

Le tabelle riportate qui sopra (Tabelle 3.1 e 3.2) riportano le statistiche descrittive degli indicatori X1 – X17, calcolate sul panel di 26 Paesi UE utilizzando il primo dataset imputato con MICE. L’inclusione dei Paesi corrispondenti ai valori estremi (minimo e massimo) consente di contestualizzare le divergenze geografiche e strutturali nel tempo.

La Tabella 3.1 si riferisce all’anno 2016 e costituisce il punto di partenza del periodo analizzato, in un contesto storico segnato dall’adozione del primo *Circular Economy Package* dell’Unione Europea (2015) e dalla preparazione della strategia per il 2020. La Tabella 3.2, invece, riporta i medesimi indicatori per il 2022, consentendo una valutazione delle asimmetrie emerse rispetto al 2016 in un quadro profondamente influenzato dalla pandemia di COVID-19, dalla crisi energetica conseguente all’invasione russa dell’Ucraina e dall’attuazione del nuovo *Circular Economy Action Plan* (2020), del Green Deal europeo (2019) e degli investimenti del *NextGenerationEU*<sup>10</sup>, istituito dal Regolamento (UE) 2021/241 del Parlamento europeo e del Consiglio del 12 febbraio 2021 che disciplina il Dispositivo per la Ripresa e la Resilienza.

Nei paragrafi che seguiranno le due tabelle saranno analizzate per area tematica, mettendo in luce i progressi realizzati, le eterogeneità ancora presenti tra gli Stati membri e l’impatto degli eventi storici e politici sul livello di sviluppo dell’economia circolare nell’UE-25.

---

<sup>10</sup> Il *NextGenerationEU* è lo strumento temporaneo di ripresa da 806,9 miliardi di euro (a prezzi 2021) varato nel 2020 dall’Unione Europea per sostenere la ripresa post-pandemia COVID-19 e favorire la transizione verde e digitale. Il suo pilastro principale è il Dispositivo per la Ripresa e la Resilienza (*Recovery and Resilience Facility*, RRF), che eroga finanziamenti ai Paesi membri subordinati alla presentazione di Piani Nazionali di Ripresa e Resilienza (PNRR).

**Tabelle 3.1 e 3.2** – Statistiche descrittive con Paesi estremi per gli anni 2016 e 2022.

| 2016      |        |           |         |           |        |        |            | 2022      |        |           |         |           |        |        |            |
|-----------|--------|-----------|---------|-----------|--------|--------|------------|-----------|--------|-----------|---------|-----------|--------|--------|------------|
| Variabile | Minimo | Paese_Min | Massimo | Paese_Max | Media  | CV     | Asimmetria | Variabile | Minimo | Paese_Min | Massimo | Paese_Max | Media  | CV     | Asimmetria |
| X1        | 261    | RO        | 830     | DK        | 489.65 | 28.56  | 0.84       | X1        | 303    | RO        | 803     | AT        | 527.96 | 23.63  | 0.5        |
| X2        | 30     | LU        | 650     | EE        | 109.04 | 123.46 | 3.14       | X2        | 20     | IE        | 492     | BG        | 99.15  | 115.65 | 2.87       |
| X3        | 4.75   | RO        | 34.41   | EE        | 12.31  | 59.81  | 1.62       | X3        | 3.78   | RO        | 27.43   | EE        | 12.14  | 51.24  | 1.13       |
| X4        | 12.7   | MT        | 67.1    | DE        | 38.03  | 37.89  | -0.05      | X4        | 12.3   | RO        | 69.6    | DE        | 42.39  | 35.74  | -0.44      |
| X5        | 10     | EE        | 80      | SI        | 51.73  | 32.08  | -0.44      | X5        | 25     | BG        | 82      | SI        | 56.08  | 30.73  | -0.21      |
| X6        | 39.7   | MT        | 81.9    | BE        | 65     | 13.76  | -0.72      | X6        | 31.8   | MT        | 80.4    | BE        | 62.54  | 17.83  | -1.24      |
| X7        | 23.5   | MT        | 74.4    | LT        | 43.36  | 29.79  | 0.36       | X7        | 16.4   | MT        | 59.6    | SK        | 38.87  | 27.27  | -0.14      |
| X8        | 0      | MT        | 103.4   | PT        | 41.62  | 63.65  | 0.54       | X8        | 0      | MT        | 86.8    | DK        | 41.95  | 57.77  | 0.31       |
| X9        | 72.5   | BE        | 103.4   | MT        | 85.11  | 7.45   | 0.55       | X9        | 56.6   | PT        | 92.8    | CZ        | 80.74  | 9.46   | -1.14      |
| X10       | 0      | MT        | 181     | AT        | 68.27  | 76.14  | 0.66       | X10       | 0      | MT        | 181     | DK        | 82.88  | 62     | 0.17       |
| X11       | 2.08   | BE        | 158.46  | IE        | 76.25  | 44.53  | 0.05       | X11       | 11.86  | BE        | 104.33  | DK        | 74.96  | 29.3   | -1.27      |
| X12       | 1.7    | RO        | 29.7    | NL        | 8.66   | 75.15  | 1.56       | X12       | 1.5    | RO        | 28.5    | NL        | 10.57  | 65.07  | 0.82       |
| X13       | 5.36   | MT        | 582.55  | SI        | 113.34 | 124.07 | 1.98       | X13       | 4.5    | SK        | 605.6   | SI        | 133.57 | 114.36 | 1.63       |
| X14       | 0.91   | LU        | 426.92  | NL        | 112.46 | 101.25 | 1.35       | X14       | 0.26   | LU        | 373.77  | NL        | 133.6  | 90     | 0.75       |
| X15       | 36.11  | MT        | 6281.94 | LU        | 446.35 | 270.9  | 4.57       | X15       | 30.02  | MT        | 4781.1  | LU        | 415.64 | 219.71 | 4.44       |
| X16       | 3.47   | MT        | 798.19  | SI        | 240.69 | 93.11  | 1.23       | X16       | 5.66   | MT        | 866.62  | SI        | 262.65 | 82.83  | 1.11       |
| X17       | 0      | CY        | 5.25    | LU        | 0.9    | 141.22 | 2.45       | X17       | 0      | CY        | 4.3     | FI        | 0.85   | 118.99 | 2.42       |

Fonte: Elaborazione personale dell'autore su dati Eurostat, con imputazione multipla mediante MICE implementata nel software R.

### Area I – Produzione e consumo.

La generazione di rifiuti urbani pro capite (X1) presenta una media di 489,65 kg, con minimo in Romania (261 kg) e massimo in Danimarca (830 kg). La moderata differenziazione (CV = 28,56%) e l'asimmetria positiva (CA = 0,84) indicano una distribuzione relativamente simmetrica, con pochi Paesi nordici che superano significativamente la media. Al contrario, X2 (intensità rifiuti per unità di PIL) mostra invece una forte variabilità (CV = 123,46%) e asimmetria positiva pronunciata (CA = 3,14), confermando che nella maggior parte dei Paesi UE tale valore è inferiore alla media (109,04 kg per mille euro). Il minimo per tale indice lo si registra in Lussemburgo (30 kg/mille euro) mentre il massimo in Estonia (650 kg/mille euro). Tale situazione non è favorevole per l'Estonia, data la natura destimolante della variabile. Un pattern simile emerge per X3 (rifiuti per consumo domestico di materiali), con massimo stabile in Estonia (34,41%) e minimo in Romania (4,75%). I valori elevati osservati nei Paesi baltici sono riconducibili a ritardi infrastrutturali ereditati dal periodo post-transizione sovietica e a una dipendenza dai modelli economici lineari, caratterizzati da un'elevata intensità di risorse e una scarsa integrazione di pratiche circolari. In particolare, i Paesi baltici (Estonia, Lettonia, Lituania) hanno ereditato dal periodo sovietico un'economia fortemente industrializzata e orientata all'esportazione di risorse primarie, con infrastrutture energetiche e di smaltimento rifiuti concepite secondo il paradigma lineare “take – make – dispose”. Dopo il crollo dell'URSS nel 1991, la transizione verso l'economia di mercato è stata rapida, ma ha lasciato in eredità ritardi strutturali significativi nella capacità amministrativa e infrastrutturale necessari per l'adozione di paradigmi circolari, come documentato da Vilcina et al. (2018) e Grigoryan et al. (2017).

- **Infrastrutture obsolete:** Reti di gestione rifiuti e impianti di riciclo insufficienti, ereditati dal sistema sovietico centralizzato e non adeguati agli standard UE post-accessione (2004). Progetti come *Rail Baltica* o modernizzazioni energetiche hanno subito ritardi cronici a causa della burocrazia, di fondi UE mal assorbiti e della dipendenza storica da forniture russe (fino al 2022).
- **Dipendenza da modelli lineari:** L'economia baltica post-sovietica ha mantenuto una forte intensità di risorse (es. estrazione *shale oil* in Estonia), con limitata integrazione di principi circolari fino agli anni 2010. Questo spiega i valori elevati di X2 e X3 nel 2016, quando la transizione verso la circolarità era ancora nella sua fase iniziale, nonostante l'ingresso UE.

Al contrario, i minimi registrati in Romania e Lussemburgo riflettono contesti strutturalmente opposti:

- Nel caso rumeno, i bassi valori di intensità di rifiuti per unità di PIL (X2) e per consumo domestico di materiali (X3) sono riconducibili a un livello di industrializzazione e di consumo pro capite ancora inferiore alla media UE. Nel 2016 l'economia rumena manteneva infatti una forte componente agricola e un grado di sviluppo industriale limitato, con conseguenti livelli contenuti di generazione di rifiuti. Tali minimi non derivano quindi da un'elevata efficienza circolare, bensì da una minore pressione ambientale legata a ridotti volumi di produzione e consumo, un vantaggio di tipo "passivo" destinato a ridursi con la crescita economica accelerata seguita all'adesione all'Unione Europea nel 2007 (Zaman e Georgescu, 2011).
- Nel caso del Lussemburgo, invece, i risultati favorevoli esprimono un'elevata efficienza produttiva e una più avanzata integrazione di pratiche circolari, favorita da un'economia matura e da politiche di sostenibilità particolarmente proattive. Il Paese beneficia infatti di un tessuto economico ad alta produttività, prevalentemente orientato verso il settore finanziario e i servizi avanzati, nel quale i consumi elevati sono gestiti in modo efficiente anche grazie alla strategia "*Third Industrial Revolution*", avviata nel 2016 e incentrata sullo sviluppo dell'economia circolare (Ministère de l'Économie du Luxembourg, 2016). Ciò si traduce in processi produttivi già fortemente orientati alla riduzione, al riutilizzo e al riciclo dei materiali, determinando una bassa intensità di rifiuti.

Questi contrasti strutturali sottolineano le asimmetrie intra-UE nel 2016: i Paesi baltici, pur in rapida convergenza post-transizione, partivano da un'eredità sovietica più pesante in termini di inefficienze lineari, mentre Romania e Lussemburgo rappresentano estremi opposti di sviluppo economico e maturità circolare. Tali differenze si attenuano progressivamente negli anni successivi, grazie alle politiche UE (Circular Economy 2018 – 2020).

Per quanto riguarda il 2022, questa area tematica ha registrato dinamiche fortemente influenzate dall'impatto della ripresa post-pandemia e dagli shock energetici derivanti dal conflitto russo-ucraino. Tali sviluppi si inseriscono nel più ampio contesto delineato dal *REPowerEU Plan* della Commissione Europea (Communication COM(2022) 230 final) e dal

documento di lavoro SWD(2023) 306 final sull'impatto del *Green Deal* europeo e del *Recovery Plan* per l'Europa sulla transizione verso l'economia circolare (European Commission, 2023), restituendo un quadro complessivo di progressi parziali, ancora segnato da persistenti divari strutturali tra gli Stati membri. Infatti, X1 registra una media di 527,96 kg, con minimo stabile in Romania (303 kg) e massimo in Austria (803 kg). L'aumento osservato nel 2022 rispetto al 2016 è principalmente attribuibile al rimbalzo dei consumi domestici seguito alla fase di *lockdown* imposta dalla pandemia di COVID-19 tra il 2020 e il 2021, nonché alla crescente urbanizzazione registrata in diversi Stati membri, ulteriormente accentuata dagli effetti dell'inflazione e dai mutamenti nei modelli di consumo – tra cui la forte espansione dell'*e-commerce* e il conseguente incremento della produzione di imballaggi (Eurostat, 2024). Il coefficiente di variazione si è ridotto lievemente (dal 28,56% al 23,63%), accompagnandosi a un'asimmetria positiva moderata ( $CA = 0,5$ ), che segnala una distribuzione più simmetrica rispetto al 2016 e un primo, seppur modesto, segnale di convergenza tra i Paesi. L'indicatore X2 evidenzia invece un miglioramento più marcato, con la media che scende a 99,15 kg per mille euro di PIL ( $CV = 115,65\%$ ,  $CA = 2,87$ ). Il valore minimo resta in Irlanda (20 kg per mille euro), mentre il massimo si sposta in Bulgaria (492 kg per mille euro). Tale contrazione riflette un disaccoppiamento più pronunciato tra crescita economica e generazione di rifiuti, favorito dagli investimenti del *NextGenerationEU* e dal *REPowerEU Plan*<sup>11</sup> della Commissione Europea (2022), nell'ambito del più ampio quadro del *Green Deal* e del *Recovery Plan* per l'Europa. Il picco bulgaro è riconducibile alla persistente intensità di risorse della struttura produttiva nazionale, ancora fortemente orientata verso settori minerari e manifatturieri tradizionali, nonché ai ritardi nell'adozione di tecnologie e pratiche circolari, nonostante l'accesso ai fondi europei di ripresa post-pandemia (Domenech e Bahn-Walkowiak, 2021). Un pattern analogo emerge per X3, la cui media si attesta al 12,14% ( $CV = 51,24\%$ ,  $CA = 1,13$ ), con minimo in Romania (3,78%) e massimo stabile in Estonia (27,43%). Il valore minimo rumeno continua a riflettere un consumo domestico di materiali relativamente contenuto, legato a un livello di reddito pro capite ancora inferiore alla media UE e a una struttura economica meno intensiva (Zaman e Georgescu, 2015). Il massimo estone, sebbene in diminuzione rispetto al 2016, segnala il permanere di inefficienze strutturali ereditate dal modello economico post-sovietico, caratterizzato da elevata dipendenza da risorse primarie e da una transizione circolare ancora incompleta, nonostante gli sforzi nazionali sostenuti dai fondi di coesione dell'Unione (European Environment Agency, 2022).

---

<sup>11</sup> *REPowerEU Plan* è il piano presentato dalla Commissione Europea nel maggio 2022 in risposta alla crisi energetica aggravata dall'invasione russa dell'Ucraina. L'obiettivo principale è ridurre rapidamente la dipendenza dell'UE dai combustibili fossili russi (fissando l'indipendenza entro il 2027), accelerando la transizione verso le energie rinnovabili, migliorando l'efficienza energetica e diversificando le fonti di approvvigionamento. Integrato nell'RRF del *NextGenerationEU*, prevede investimenti aggiuntivi per circa 300 miliardi di euro, finanziati attraverso capitoli dedicati nel PNRR dei Paesi membri.

Nel complesso, l'Area I nel 2022 evidenzia un disaccoppiamento parziale accelerato dalla crisi energetica e dagli stimoli post-COVID, con riduzione della variabilità e dell'asimmetria rispetto al 2016. Tuttavia, i divari geografici persistono: Paesi nord-occidentali e con economie avanzate mostrano maggiore efficienza, mentre Stati dell'Europa orientale (Bulgaria, Estonia) e Romania registrano valori critici, riflettendo ritardi infrastrutturali e dipendenza da modelli lineari. Tale eterogeneità rappresenta una sfida per le politiche UE, che mirano a una convergenza più rapida attraverso il *Green Deal* e i fondi di recupero.

## **Area II – Gestione dei rifiuti.**

Già nel 2016 quest'area tematica evidenzia una marcata eterogeneità tra i Paesi leader nord-occidentali (Germania, Paesi Bassi, Slovenia, Danimarca) e i follower meridionali e orientali (Romania, Malta, Estonia), che riflette differenze infrastrutturali, normative e di capacità amministrativa accumulate negli anni precedenti (Eurostat, 2025; European Commission, 2024). La Germania si posiziona come il Paese con la performance più elevata nel riciclo dei rifiuti urbani (X4 = 67,1%), mentre Malta registra il valore più basso (12,7%). Un andamento analogo emerge per X5 (tasso di riciclo di tutti i rifiuti esclusi i maggiori minerali), con massimo in Slovenia (80 %), minimo in Estonia (10 %) e media UE pari al 51,73%. Tale indicatore, che sintetizza il riciclo complessivo dell'economia, mette già in luce nel 2016 un divario significativo: i Paesi nord-occidentali e centrali (Slovenia, Germania, Belgio) superano il 70%, mentre diversi Stati dell'Europa orientale e meridionale restano al di sotto del 30 %, riflettendo ritardi nell'implementazione di sistemi integrati di raccolta e trattamento dei rifiuti (Eurostat, 2024). Segue X6 (riciclo totale degli imballaggi), con massimo in Belgio (81,9%) e minimo stabile in Malta (39,7%), e X7 (riciclo imballaggi in plastica), con massimo in Lituania (74,4%) e minimo ancora in Malta (23,5 %). Malta si distingue negativamente raggiungendo il valore più basso in ben cinque indicatori del gruppo (X4, X6, X7, X8 e X10), fenomeno riconducibile alle limitate capacità di raccolta separata e trattamento dei rifiuti tipiche dei piccoli Stati insulari, caratterizzati da vincoli logistici e demografici (European Environment Agency, 2021). Al contrario, Paesi come Germania, Slovenia, Belgio, Portogallo, Austria e Irlanda dominano i massimi in diversi flussi, beneficiando di sistemi di gestione dei rifiuti consolidati, di investimenti precoci in infrastrutture di riciclo e di politiche nazionali allineate agli obiettivi UE già prima del 2015, in particolare alla Direttiva Quadro sui rifiuti 2008/98/CE (Parlamento europeo e Consiglio, 2008; Watkins et al., 2020). La maggiore diversificazione tra i Paesi UE si osserva per X10 (riciclo dei rifiuti biologici pro capite), con un coefficiente di variazione pari al 76,14%: il massimo è raggiunto dall'Austria (181 kg pro capite), mentre il minimo è nuovamente a Malta (0 kg), a testimonianza della ancora limitata diffusione di sistemi strutturati di raccolta separata dei rifiuti organici in diversi Stati membri (Eurostat, 2025). X11 (tasso di recupero dei rifiuti da costruzione e demolizione) presenta un caso particolare: massimo in Irlanda (158,46 %), dovuto a specifici investimenti infrastrutturali e a una definizione nazionale più ampia del concetto di recupero, e minimo in Belgio (2,08%), legato a criteri di rilevazione più restrittivi (Eurostat, 2024). I coefficienti di variazione elevati per X8 (riciclo imballaggi in legno, CV =

63,65%) e le asimmetrie positive moderate osservate in diversi indicatori (es. X7 con CA = 0,36) indicano che, sebbene alcuni Paesi leader avessero già raggiunto livelli avanzati di riciclo, la maggioranza dell'UE-25 si collocava ancora al di sotto della media, con code destre generate dalle performance eccezionali di un numero limitato di Stati membri, in particolare quelli nord-occidentali, che hanno potuto contare su infrastrutture mature, elevati investimenti pubblici e un allineamento precoce alle direttive europee in materia di rifiuti (European Commission, 2024; Watkins et al., 2020).

Nel complesso, l'Area II nel 2016 evidenzia un marcato divario Nord-Sud/Ovest-Est: i Paesi nord-occidentali e alcuni dell'allargamento precoce (Slovenia, Lituania) dominano i massimi, grazie a sistemi di raccolta differenziata maturi e a investimenti pubblici consolidati, mentre gli Stati mediterranei (Malta) e quelli dell'allargamento più recente registrano i minimi, riflettendo ritardi nell'adeguamento alle direttive UE e carenze infrastrutturali (European Environment Agency, 2023). Tale diversificazione rappresenta il punto di partenza dei progressi osservati negli anni successivi, accelerati dal *Circular Economy Package* del 2015 e dalle successive revisioni normative.

Quest'area registra, nel 2022, progressi significativi e una convergenza intra-UE più marcata rispetto al 2016, influenzata dagli effetti della pandemia di COVID – 19, dagli investimenti del *NextGenerationEU* e dalle revisioni normative post-2018. X4 sale a una media del 42,39%, con minimo in Romania (12,3%) e massimo stabile in Germania (69,6 %). L'incremento medio rispetto al 2016 riflette l'impatto dei piani nazionali di ripresa post-pandemia, che hanno accelerato la raccolta differenziata per gestire l'aumento dei rifiuti domestici durante i lockdown. X5 raggiunge il 56,08 % in media, con minimo in Bulgaria (25%) e massimo in Slovenia (82 %), accompagnato da un coefficiente di variazione ridotto al 30,73%, segnale di una maggiore omogeneità favorita dagli obiettivi vincolanti dell'Unione e dai fondi PNRR destinati agli impianti di trattamento dei rifiuti. X9 (riciclo dei rifiuti elettronici) mostra un modesto calo medio all'80,74% (minimo in Portogallo, 56,6%; massimo in Repubblica Ceca, 92,8%), attribuibile a un possibile effetto di saturazione o a evoluzioni nelle modalità di misurazione, ma con un CV basso (9,46 %), che indica performance uniformemente elevate in tutta l'UE. X10 cresce sensibilmente a 82,88 kg pro capite (minimo stabile in Malta, 0 kg; massimo in Danimarca, 181 kg), grazie all'implementazione obbligatoria della raccolta separata dei rifiuti organici introdotta dalla Direttiva (UE) 2018/851 e agli investimenti green del *Recovery Fund*. Malta persiste come minimo in diversi indicatori (X6, X7, X8, X10), conseguenza delle limitazioni strutturali tipiche di un piccolo Stato insulare – vincoli logistici, alta densità turistica e ritardi nell'adeguamento infrastrutturale – aggravate dagli effetti della pandemia sul settore turistico (European Environment Agency, 2022). X11 mostra una media stabile al 74,96 %, ma con un coefficiente di variazione drasticamente ridotto (29,3%) e un'asimmetria negativa (-1,27), indicando che la maggioranza dei Paesi supera la media UE. Il massimo in Danimarca (104,33%) riflette gli investimenti post-COVID in infrastrutture sostenibili e criteri nazionali inclusivi, mentre il minimo in Belgio (11,86 %) è legato a sistemi di

rilevazione più rigorosi e a una definizione più conservativa del concetto di recupero (Bio Intelligence Service, 2021).

Nel complesso, l'Area II nel 2022 evidenzia un progresso diffuso e una convergenza accelerata verso standard di performance più uniformi e avanzati a livello UE per quanto riguarda la gestione dei rifiuti. Tale dinamica è stata trainata dall'aumento dei rifiuti domestici indotto dalla pandemia di COVID-19 – che ha stimolato investimenti mirati nella raccolta differenziata e nel trattamento – e dagli stimoli economici dell'Unione Europea, in particolare attraverso il *NextGenerationEU* e il *REPowerEU Plan*. I Paesi nord-occidentali e centrali (Germania, Slovenia, Danimarca, Repubblica Ceca) consolidano la propria leadership, mantenendo valori prossimi o superiori agli obiettivi UE, mentre i follower orientali e meridionali (Romania, Bulgaria, Malta) registrano miglioramenti apprezzabili ma conservano ancora minimi strutturali, riconducibili a ritardi infrastrutturali preesistenti e a una dipendenza marcata dai fondi europei per l'allineamento normativo e tecnologico (European Environment Agency, 2023; European Commission, 2024). La riduzione della variabilità osservata in diversi indicatori (ad esempio, il coefficiente di variazione di X5 passa dal 32,08 % al 30,73 %; quello di X11 dal 44,53 % al 29,30 %) segnala un processo di omogeneizzazione delle performance tra gli Stati membri. Questo fenomeno suggerisce che le differenze tra Paesi si stanno attenuando: i follower (Bulgaria, Romania, tra gli altri) migliorano a ritmi più sostenuti rispetto ai leader (Germania, Danimarca), riducendo progressivamente la dispersione complessiva del gruppo (Milios et al., 2022). Tale tendenza di convergenza non è solo un esito descrittivo, ma anticipa in modo significativo i risultati delle analisi multivariate successive: la gestione dei rifiuti emerge infatti come dimensione unificante (bassa variabilità → elevata correlazione interna tra indicatori) e al tempo stesso discriminante (miglioramenti differenziali tra Paesi), configurandosi come uno dei fattori chiave nella strutturazione dei profili nazionali di circolarità (European Environment Agency, 2023; Robaina et al., 2021). Questo collegamento rafforza la coerenza complessiva tra l'analisi univariata condotta nella Sezione 4.1 e le successive analisi multivariate (Sezioni 5.2 – 5.3), dimostrando che i trend osservati a livello descrittivo trovano piena conferma strutturale nei modelli più avanzati. La gestione dei rifiuti si rivela pertanto non solo una delle aree di maggiore maturità nell'Unione Europea, ma anche un elemento portante per la costruzione dell'indice sintetico e per l'identificazione dei cluster omogenei che verranno presentati nei capitoli successivi, in linea con l'approccio multidimensionale adottato nell'articolo di riferimento.

### **Area III – Materiali secondari.**

Quest'area, rappresentata dagli indicatori X12 – X16, misura l'utilizzo di materiali riciclati nella domanda complessiva di materie prime e i flussi commerciali di materie prime secondarie intra ed extra-UE, come definito e monitorato attraverso i conti economici ambientali europei (Regolamento (UE) n. 691/2011) e i relativi conti dei flussi di materiali a livello di economia (*Economy-Wide Material Flow Accounts, EW-MFA*) (Parlamento europeo e Consiglio, 2011;

Eurostat, 2025). Nel 2016, la distribuzione degli indicatori evidenzia una forte eterogeneità tra gli Stati membri, con massimi concentrati in un numero limitato di Paesi e la maggioranza posizionata al di sotto della media UE (Eurostat, 2024; European Environment Agency, 2022). X12 (tasso di utilizzo di materiali circolari) presenta una media UE del 8,66%, con minimo in Romania (1,7%) e massimo nei Paesi Bassi (29,7%). Il valore eccezionalmente elevato registrato dai Paesi Bassi deriva da una combinazione di fattori strutturali ed economici: un'economia altamente industrializzata con una lunga tradizione manifatturiera avanzata, la posizione strategica come principale hub logistico europeo (in particolare grazie al porto di Rotterdam, uno dei nodi di transito più importanti per i materiali riciclati) e l'adozione precoce di politiche nazionali orientate all'economia circolare, sostenute da consistenti investimenti pubblici e privati in tecnologie di riciclo e recupero (Government of the Netherlands, 2016; Potting et al., 2017). Al contrario, il minimo rumeno riflette un contesto economico ancora in fase di consolidamento post-transizione, caratterizzato da un'industria limitata, bassa intensità di impiego di materiali secondari e forte dipendenza da materie prime vergini importate, aggravata da ritardi infrastrutturali e da una capacità ancora ridotta di raccolta differenziata e trattamento dei rifiuti (European Commission, 2017). I flussi commerciali (X13 – X16) mostrano una dispersione ancora più pronunciata, con coefficienti di variazione compresi tra il 75,15% e il 270,9%. I massimi sono dominati dalla Slovenia (X13 = 582,55 e X16 = 798,19 tonnellate per mille abitanti) e dal Lussemburgo (X15 = 6281,94 tonnellate per mille abitanti). La leadership slovena si spiega con la posizione geografica centrale nel continente e con un'economia fortemente orientata all'export, in cui settori manifatturieri chiave (automotive, elettronica) generano e commerciano volumi significativi di scarti riciclabili (Statistical Office of the Republic of Slovenia, 2020). Il ruolo del Lussemburgo come massimo in X15 deriva prevalentemente dalla sua funzione di centro finanziario e logistico: nonostante le ridotte dimensioni territoriali e demografiche, il Paese funge da nodo di transito per flussi intra-UE, con registrazioni di volumi elevati dovute alla presenza di operatori internazionali che sfruttano il regime fiscale e normativo favorevole (Eurostat, 2024). Malta registra sistematicamente i minimi in quasi tutti gli indicatori commerciali (es. X13 = 5,36, X15 = 36,11, X16 = 3,47 tonnellate per mille abitanti), fenomeno riconducibile alle limitazioni strutturali tipiche di un piccolo Stato insulare: economia prevalentemente basata su turismo e servizi, scarsa base manifatturiera, dipendenza quasi totale da importazioni di materie prime vergini e vincoli logistici che ostacolano lo sviluppo di flussi significativi di materiali secondari (European Environment Agency, 2022). L'asimmetria positiva pronunciata (CA compresa tra 1,23 e 4,57) evidenzia code destre accentuate, generate dalle performance eccezionali di questi pochi poli specializzati, mentre la gran parte degli Stati membri si colloca al di sotto della media UE, riflettendo contesti economici meno industrializzati o con minore integrazione nei mercati circolari europei (Eurostat, 2024; European Environment Agency, 2022). Tale disparità nel 2016 sottolinea le sfide di armonizzazione intra-UE nel campo dei materiali secondari: i Paesi dotati di economie di scala, infrastrutture logistiche avanzate e posizioni geografica favorevole dominano i flussi commerciali, mentre Stati periferici, insulari o in ritardo di sviluppo rimangono marginali, con implicazioni dirette per la resilienza e l'autonomia delle catene di approvvigionamento europee (Wilts et al., 2021). Questa eterogeneità strutturale

rappresenta uno degli elementi chiave per comprendere la successiva evoluzione delle performance circolari e per interpretare i risultati delle analisi multivariate condotte nei capitoli successivi.

Per quanto riguarda il 2022, la distribuzione degli indicatori dell'Area III mostra un progresso moderato rispetto al 2016, con una maggiore omogeneità in alcuni aspetti (in particolare nel tasso di utilizzo di materiali circolari) ma una persistente eterogeneità nei flussi commerciali, influenzata dagli shock della pandemia di COVID-19, dalla crisi energetica conseguente all'invasione russa dell'Ucraina e dagli stimoli finanziari del *NextGenerationEU* e del *REPowerEU Plan* (Eurostat, 2024 – 2025; Commissione Europea, 2021 – 2022). X12 (tasso di utilizzo di materiali circolari) raggiunge una media UE del 10,57%, con minimo stabile in Romania (1,5%) e massimo nei Paesi Bassi (28,5%). L'incremento medio rispetto al 2016 (da 8,66%) è attribuibile principalmente agli investimenti post-pandemia in tecnologie di riciclo e alla forte spinta impressa dal Green Deal europeo per ridurre la dipendenza da materie prime vergini importate, aggravata dalla crisi energetica del 2022. La leadership olandese, già netta nel 2016, si consolida ulteriormente nel 2022, confermando la maturità di un sistema integrato che combina politiche circolari avanzate, infrastrutture logistiche di eccellenza e un tessuto industriale orientato al recupero e alla rigenerazione (Government of the Netherlands, 2016). Al contrario, il minimo rumeno persiste, riflettendo un'economia ancora in fase di industrializzazione accelerata, con bassa integrazione di materiali secondari nella produzione e una marcata dipendenza da risorse primarie, nonostante l'accesso ai fondi del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (European Commission, 2023). I flussi commerciali (X13–X16) registrano incrementi medi in termini assoluti, ma mantengono una dispersione elevata (con coefficienti di variazione superiori all'80 % per X15, che vede il massimo in Lussemburgo a 4781,1 tonnellate per mille abitanti). La Slovenia domina X13 (605,6 ton/1000 ab.) e X16 (866,62 ton/1000 ab.), grazie alla sua posizione geografica centrale in Europa e a un settore manifatturiero fortemente orientato all'export, che genera e commercializza consistenti volumi di scarti riciclabili (Statistical Office of the Republic of Slovenia, 2020). I Paesi Bassi eccellono in X14 (373,77 ton/1000 ab.), confermando il ruolo di hub logistico e commerciale, mentre Malta continua a registrare minimi sistematici (es. X15 = 30,02, X16 = 5,66 ton/1000 ab.), conseguenza delle limitazioni geografiche e strutturali già evidenti nel 2016, ulteriormente aggravate dal calo dei flussi turistici durante la pandemia e dalla maggiore dipendenza da importazioni primarie indotta dalla crisi energetica (European Environment Agency, 2023). L'asimmetria positiva rimane accentuata (con CA fino a 4,44 per X15), evidenziando una coda destra pronunciata generata dalla presenza di pochi Paesi specializzati che hanno saputo trarre vantaggio dai processi di riorganizzazione e diversificazione delle catene di approvvigionamento innescati dalla pandemia e dalle tensioni geopolitiche successive, in particolare la guerra in Ucraina (European Environment Agency, 2023; Domenech e Bleischwitz, 2023). Tali dinamiche sottolineano come gli shock esogeni abbiano amplificato le disparità preesistenti, premiando i sistemi nazionali più resilienti e integrati nei mercati circolari europei, mentre i Paesi con strutture economiche più fragili o periferiche faticano a colmare il divario, nonostante gli strumenti di finanziamento europei. Questa

persistente eterogeneità nei flussi commerciali rappresenta uno degli elementi più rilevanti per comprendere la resilienza complessiva del sistema circolare dell'Unione Europea e anticipa le implicazioni che emergeranno dalle analisi multivariate successive.

Nel complesso, l'Area III nel 2022 evidenzia un progresso moderato nel tasso di utilizzo di materiali circolari (X12), sostenuto dalle politiche europee orientate al rafforzamento della resilienza delle catene di approvvigionamento, sebbene i flussi commerciali di materie prime secondarie rimangano ancora fortemente condizionati da fattori geografici e infrastrutturali. La riduzione del coefficiente di variazione osservata per X12 indica un'attenuazione delle disparità tra i Paesi, mentre la persistente eterogeneità nei flussi commerciali riflette l'impatto degli shock esogeni (pandemia di COVID-19 e crisi energetica conseguente all'invasione russa dell'Ucraina), che hanno ulteriormente consolidato il ruolo centrale di alcune economie altamente integrate quali Paesi Bassi, Slovenia e Lussemburgo, accentuando al contempo le asimmetrie rispetto alle realtà periferiche (Romania e Malta). Tale quadro mette in luce la necessità di politiche mirate volte a potenziare le capacità infrastrutturali nazionali e a favorire uno sviluppo più equilibrato e inclusivo dei mercati dei materiali circolari all'interno dell'Unione Europea, come evidenziato dalla Commissione Europea nel documento di lavoro sulle materie prime critiche e l'economia circolare (European Commission, 2023).

#### **Area IV – Competitività e innovazione.**

Quest'area è rappresentata dal solo indicatore X17 (brevetti relativi al riciclo e ai materiali secondari per milione di abitanti), che misura la capacità innovativa dei Paesi nello sviluppare tecnologie specificamente orientate all'economia circolare (Eurostat, 2024; EPO/Eurostat, 2023). Nel 2016, la distribuzione di X17 evidenzia una marcata eterogeneità, con valori che variano da 0 (Cipro) a 5,25 (Lussemburgo) e una media UE di appena 0,90 brevetti per milione di abitanti. Il coefficiente di variazione elevato ( $CV = 141,22\%$ ) e l'asimmetria fortemente positiva ( $CA = 2,45$ ) segnalano la presenza di una coda destra pronunciata, dovuta alle performance eccezionali di un numero ristretto di Stati membri. Il massimo raggiunto dal Lussemburgo riflette una combinazione di fattori strutturali favorevoli: un'economia caratterizzata da elevata capacità innovativa, con forte presenza di centri di ricerca e imprese multinazionali nei settori finanziario e tecnologico, un regime fiscale attrattivo per gli investimenti in R&S e politiche nazionali pionieristiche di innovazione verde, tra cui la strategia "*Third Industrial Revolution*" avviata nel 2016 in collaborazione con Jeremy Rifkin. Tali elementi hanno favorito una concentrazione di brevetti in ambiti circolari, nonostante le ridotte dimensioni del Paese. Al contrario, il valore nullo registrato a Cipro – condiviso anche da Malta, Slovenia e Slovacchia – è riconducibile a contesti economici e istituzionali opposti: economie di piccola scala con limitata base industriale, investimenti pubblici in R&S spesso inferiori all'1% del PIL, ecosistemi universitari meno integrati con il settore privato e una dipendenza storica da settori tradizionali quali turismo e servizi (European Commission, 2017 – 2023). In questi Paesi, la transizione post-adesione all'Unione Europea (2004 per Cipro e Malta) ha privilegiato

inizialmente gli obiettivi di convergenza macroeconomica piuttosto che l'innovazione tecnologica verde, con ritardi aggravati da vincoli fiscali e burocratici (European Commission, 2016). La forte diversificazione osservata nel 2016 sottolinea come l'innovazione circolare fosse ancora un privilegio di pochi Paesi con alta capacità istituzionale e risorse dedicate, mentre la maggioranza dell'UE-27 si collocava al di sotto della media, riflettendo disparità strutturali che rischiano di accentuare il divario Nord-Sud/Ovest-Est (European Commission, 2023; European Environment Agency, 2022). Tale concentrazione, già evidente prima del *Circular Economy Action Plan* del 2020, rappresenta una sfida chiave per le politiche europee, che mirano a stimolare un'innovazione più diffusa attraverso strumenti quali Horizon Europe e i fondi di coesione, con particolare attenzione alle regioni meno sviluppate (Commissione Europea, 2021 – 2022).

Nel 2022, la distribuzione di X17 mantiene una struttura fortemente asimmetrica, con valori che oscillano da 0 (Cipro) a 4,3 (Finlandia) e una media UE di 0,85 brevetti per milione di abitanti, in lieve calo rispetto al 2016 (0,90). Il coefficiente di variazione rimane elevato (CV = 118,99%) e l'asimmetria positiva (CA = 2,42) conferma la persistenza di una coda destra pronunciata, sebbene il massimo risulti inferiore rispetto al picco lussemburghese del 2016 (Eurostat, 2024). Lo spostamento del primato dalla Lussemburgo alla Finlandia riflette l'efficacia di politiche nazionali differenziate negli anni successivi al 2016. La Finlandia consolida la propria leadership grazie a un ecosistema innovativo maturato nel post-pandemia: investimenti pubblici in R&S ecosostenibili superiori al 3% del PIL, stretta integrazione tra università, centri di ricerca (in primo luogo VTT) e imprese high-tech, nonché una consolidata tradizione in bioeconomia e materiali sostenibili (Research and Innovation Observatory – Horizon 2020 Policy Support Facility, 2023). Tali fattori sono stati ulteriormente accelerati dagli shock esterni attraverso il *NextGenerationEU* e il *REPowerEU Plan*, che hanno valorizzato la capacità finlandese di sviluppare tecnologie circolari finalizzate a ridurre la dipendenza energetica dalla Russia (es. avanzamenti in batterie riciclabili e bio-materiali). Viceversa, il valore nullo a Cipro – condiviso con diversi Paesi meridionali e orientali – continua a evidenziare ritardi strutturali, aggravati dagli shock recenti: la pandemia ha concentrato le risorse limitate sulla ripresa economica immediata (turismo e servizi), mentre la crisi energetica ha distolto l'attenzione da investimenti a lungo termine in R&S green (European Commission, 2023). Nei piccoli Stati insulari come Malta e Cipro, i vincoli dimensionali e la ridotta attrattività per figure professionali altamente qualificate in ambito tecnologico hanno amplificato tali effetti, limitando l'accesso ai fondi Horizon Europe nonostante gli obiettivi UE di diffusione innovativa (European Commission, 2023; Parlamento europeo e Consiglio, 2021). La lieve riduzione della media UE (da 0,90 a 0,85), nonostante l'intensificazione delle politiche circolari post-2020, suggerisce che gli shock esterni abbiano premiato la resilienza tecnologica dei Paesi già avanzati, accentuando il divario tra Nord-Ovest e Sud/Est (European Environment Agency, 2023). Tale configurazione rappresenta una sfida persistente per l'Unione Europea: strumenti come Horizon Europe e i fondi di coesione mirano a ridurre le disparità, ma la concentrazione dell'innovazione in pochi leader rischia di perpetuare

disuguaglianze regionali, con implicazioni dirette per la competitività complessiva dell'Unione nel contesto di transizione sostenibile accelerata.

Nel complesso, il 2022 conferma e accelera i trend positivi già emersi nel 2016: si registra un miglioramento diffuso nei tassi di riciclo (Area II), una crescita nell'utilizzo di materiali secondari (Area III) e un parziale disaccoppiamento tra produzione/consumo e generazione di rifiuti (Area I). La riduzione del coefficiente di variazione per numerosi indicatori e la negativizzazione dell'asimmetria segnalano un chiaro processo di convergenza intra-UE, particolarmente evidente grazie all'allineamento progressivo dei Paesi dell'allargamento, come emerge dall'analisi della Commissione Europea sugli indicatori del *Circular Economy Action Plan* (European Commission, 2023). Tuttavia, le divergenze geografiche rimangono marcate: i Paesi nord-occidentali continuano a dominare i massimi nelle dimensioni della gestione dei rifiuti, dei materiali secondari e dell'innovazione, mentre gli Stati orientali e meridionali registrano ancora i valori minimi, a testimonianza di persistenti divari infrastrutturali, economici e istituzionali (European Environment Agency, 2023; European Commission, 2023). Tali pattern – che anticipano i risultati della classificazione presentata nel Capitolo 4 – sottolineano l'efficacia delle politiche dell'Unione Europea nel promuovere la convergenza, ma evidenziano al contempo la necessità di interventi mirati per ridurre le disparità residue, in piena coerenza con gli obiettivi del *Green Deal* europeo e del nuovo *Circular Economy Action Plan*.



## 3.2 Costruzione di un indice sintetico

Nel presente lavoro, la misura sintetica del livello di sviluppo dell'economia circolare è stata costruita in piena coerenza con l'approccio metodologico adottato nello studio di riferimento (Fura et al, 2020). Nello specifico, per i 25 Paesi membri dell'Unione Europea (escluso il Regno Unito e la Grecia) e per gli anni considerati (2016, 2018, 2020 e 2022), si è applicato il metodo di normalizzazione *zero-unitarization* proposto da Kukuła (2000), una tecnica consolidata e ampiamente impiegata nella letteratura sulla costruzione di indici compositi (OECD/European Commission, Joint Research Centre, 2008). Tale procedura consente di trasformare gli indicatori originari – caratterizzati da differenti unità di misura e direzionalità (stimolanti e destimolanti) – in valori adimensionali compresi nell'intervallo [0, 1]. In questo modo si ottiene una scala comune che permette il confronto diretto tra variabili di natura diversa e facilita l'analisi comparativa sia *cross-section* sia intertemporale tra i Paesi europei. Le assunzioni metodologiche alla base di questo approccio e le fasi successive della sua implementazione possono essere riassunte nei seguenti passaggi:

1. **Rappresentazione dei dati.** Per ogni paese dell'Unione europea i dati sono stati organizzati in una matrice bidimensionale  $X$  dove  $j = 1, 2, \dots, m$  descrive gli oggetti studiati ovvero i 17 indici mentre  $i = 1, 2, \dots, n$  sta ad indicare gli anni presi in considerazione (2016, 2018, 2020, 2022):

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Infatti,  $x_{ij}$  rappresenta il valore osservato per il Paese per il  $j$ -esimo indice nell' $i$ -esimo anno.

2. **Normalizzazione delle variabili.** Per assicurare la comparabilità dei dati statistici, le variabili sono state standardizzate secondo le seguenti formule:

- per gli stimolanti:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i \{x_{ij}\}}{R_j} \quad (2)$$

- per i destimolanti:

$$z_{ij} = \frac{\max_i \{x_{ij}\} - x_{ij}}{R_j} \quad (3)$$

dove  $z_{ij}$  è il valore normalizzato per ogni Paese per il  $j$ -esimo indice nell' $i$ -esimo anno,  $x_{ij}$  il valore osservato per il Paese per il  $j$ -esimo indice nell' $i$ -esimo anno mentre  $R_j = \max \{x_{ij}\} - \min \{x_{ij}\}$  rappresenta l'ampiezza del range del  $j$ -esimo indice. La normalizzazione è stata effettuata considerando l'intero insieme "indice – periodo", calcolando pertanto minimo, massimo e range su tutte le osservazioni disponibili nei quattro anni.

3. **Calcolo delle misure sintetiche per area tematica.** Per ciascuna delle quattro aree dell'economia circolare è stata calcolata una misura sintetica ottenuta come media aritmetica dei valori normalizzati degli indicatori appartenenti all'area:

$$MS_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m z_{ij} \quad (4)$$

dove  $MS_i$  è la misura sintetica per ciascuna area tematica per l' $i$ -esimo Paese mentre  $m$  è il numero di indicatori nell'area considerata.

4. **Calcolo della misura sintetica generale.** La misura sintetica generale del livello di sviluppo dell'economia circolare per l' $i$ -esimo Paese è quindi la media aritmetica delle misure sintetiche delle quattro aree:

$$MS_i^G = \frac{1}{4} (MS_i^I + MS_i^{II} + MS_i^{III} + MS_i^{IV}) \quad (5)$$

dove  $MS_i^G$  è la misura sintetica generale del livello di economia circolare dell'area  $G$  ( $G = I, II, III, IV$ ) per l' $i$ -esimo Paese,  $MS_i^I$  la misura sintetica dell'area I, e così via per le aree II, III e IV. La misura sintetica assume valori nell'intervallo  $[0, 1]$ : valori prossimi a 1 indicano un elevato livello di sviluppo dell'economia circolare, mentre valori prossimi a 0 segnalano performance critiche.

5. **Classificazione dei Paesi UE.** Per raggruppare i Paesi in base al livello di sviluppo circolare, è stata applicata una classificazione basata sui seguenti criteri (Equazioni 6 – 9):

| Gruppo   | Criterio di classificazione                               | Livello di sviluppo CE |
|----------|---|------------------------|
| Gruppo 1 | $MS_i^G \geq \overline{MS_i^G} + S_i$                     | Alto                   |
| Gruppo 2 | $\overline{MS_i^G} + S_i > MS_i^G \geq \overline{MS_i^G}$ | Medio – alto           |
| Gruppo 3 | $\overline{MS_i^G} > MS_i^G \geq \overline{MS_i^G} - S_i$ | Medio – basso          |
| Gruppo 4 | $MS_i^G < \overline{MS_i^G} - S_i$                        | Basso                  |

dove  $\overline{MS_i^G}$  è la media della misura sintetica generale mentre  $S_i$  è la sua deviazione standard (Equazioni 6 – 9).

6. **Verifica della similarità dell'ordinamento lineare nel tempo.** In linea con la metodologia proposta da Walesiak, viene poi calcolata la misura di similarità dell'ordinamento lineare dei Paesi sulla base della misura sintetica generale ( $MS_i^G$ ) tra l'anno iniziale (2016) e l'anno finale (2022) del panel considerato. Tale indice, denominata  $P_{rs}^2$ , quantifica la similarità media quadratica tra i valori della  $MS_i^G$  nei due periodi:

$$P^2(MS_r^G, MS_s^G) = P_{rs}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_{ir} - p_{is})^2 \quad (10)$$

dove  $p_{ir}$  e  $p_{is}$  rappresentano i valori della misura sintetica  $MS_i^G$  per l' $i$ -esimo Paese rispettivamente nel periodo  $r$  (2016) e  $s$  (2022), e  $n$  (26) è il numero di Paesi osservati. L'indice assume valore 0 in assenza di differenze tra i valori della misura sintetica nei periodi confrontati. La radice quadrata dell'equazione (10) indica la deviazione media nell'ordinamento dei valori sintetici tra i periodi  $r$  e  $s$ .

Una caratteristica importante della misura  $P_{rs}^2$  è la possibilità di decomporla in tre misure parziali, che consentono un'identificazione più precisa dell'"ordine" e della "natura" delle differenze:

$$P_{rs}^2 = P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 \quad (11)$$

dove:

$$\circ P_1^2 = (\bar{p}_{.r} - \bar{p}_{.s})^2 \rightarrow \text{misura la differenza tra i valori medi delle misure sintetiche } MS_r^G \text{ e } MS_s^G \quad (12)$$

$$\circ P_2^2 = (S_r - S_s)^2 \rightarrow \text{misura la differenza nella dispersione delle misure sintetiche } MS_r^G \text{ e } MS_s^G \quad (13)$$

$$\circ P_3^2 = 2S_r S_s (1 - \rho) \rightarrow \text{misura la non conformità nella direzione delle variazioni delle misure sintetiche } MS_r^G \text{ e } MS_s^G \quad (14)$$

dove  $\bar{p}_{.r}$ ,  $S_r$  ( $\bar{p}_{.s}$ ,  $S_s$ ) rappresentano rispettivamente la media aritmetica e la deviazione standard del valore della misura sintetica nel periodo  $r$  ( $s$ ), e  $\rho$  è il coefficiente di correlazione lineare di Pearson tra i vettori dei valori  $MS^G$  nei due periodi.

L'applicazione della misura di similarità (Equazione 10) e delle sue componenti parziali (Equazioni 11 – 14) ha fornito le basi statistiche per la verifica delle ipotesi di ricerca e per il confronto intertemporale e inter-paese dell'avanzamento dell'economia circolare

nei Paesi UE e di identificare leader e follower. I risultati dettagliati sono discussi nel Capitolo 4.

In questo capitolo sono stati presentati i principali passaggi metodologici adottati per la costruzione degli indici sintetici dell'economia circolare. Le procedure di normalizzazione e classificazione consentono di garantire un'analisi comparabile e coerente tra Paesi e nel tempo uniformando gli indicatori in una scala [0,1]. Nel capitolo successivo verranno presentati e discussi i risultati empirici ottenuti dall'applicazione delle tecniche appena descritte.

## CAPITOLO 4

Il Capitolo 4 presenta i principali risultati delle analisi empiriche condotte sul livello di sviluppo dell'economia circolare nei 26 Paesi membri dell'Unione Europea negli anni 2016, 2018, 2020 e 2022. Dopo aver illustrato nel capitolo precedente la metodologia di normalizzazione *zero-unitarization*, di costruzione dell'indice sintetico e di *clusterizzazione*, con le relative procedure di validazione, in questa sezione si espongono e si interpretano i valori ottenuti, evidenziando sia il posizionamento relativo dei Paesi sia l'evoluzione temporale delle performance.

In particolare, vengono riportati e commentati i punteggi dell'indice sintetico composito, che consentono di ordinare gli Stati membri lungo un continuum di circolarità compreso tra 0 e 1, e i risultati della classificazione, che individuano gruppi omogenei di Paesi sulla base del loro profilo multidimensionale. L'analisi incrocia inoltre i risultati delle due tecniche con le evidenze emerse dall'esplorazione descrittiva del Capitolo 3, mettendo in luce i processi di convergenza o divergenza registrati nel periodo considerato e il ruolo svolto dalle diverse dimensioni (gestione dei rifiuti, materiali secondari, innovazione) nel determinare i posizionamenti nazionali. Attraverso questa sequenza di risultati si intende fornire una lettura integrata e rigorosa delle disparità territoriali nell'ambito dell'economia circolare europea, preparando il terreno per la discussione delle implicazioni di policy che concluderà il capitolo.

## 4.1 Evoluzione temporale della misura sintetica generale ( $MS_i^G$ )

Per consentire un confronto intertemporale diretto del livello di sviluppo dell'economia circolare nei Paesi membri dell'Unione Europea, si presenta una tabella riassuntiva (Tabella 4.1) contenente esclusivamente i valori della misura sintetica generale ( $MS_i^G$ ) per gli anni selezionati (2016, 2018, 2020 e 2022). I valori sono stati calcolati applicando il metodo di standardizzazione sul dataset completo (2016 – 2022), in piena coerenza con la metodologia dell'articolo di riferimento.

I Paesi sono ordinati in senso decrescente secondo il valore  $MS_i^G$  dell'anno più recente (2022) in analogia con l'approccio adottato nella Tabella 2 dell'articolo di riferimento, al fine di evidenziare il livello di sviluppo dell'economia circolare raggiunto da ciascuno Paese dell'Unione, infatti, valori più elevati della  $MS_i^G$  riflettono un maggiore avanzamento nelle iniziative sostenibili. L'analisi evidenzia una relativa stabilità nelle posizioni di vertice (Lussemburgo, Paesi Bassi, Slovenia) e miglioramenti significativi in alcuni Stati (ad esempio, Lettonia e Finlandia), in linea con l'evoluzione delle politiche europee di transizione verso modelli circolari.

Dai dati riportati nella Tabella 4.1, si osserva che i valori della misura sintetica generale ( $MS_i^G$ ) negli anni esaminati ricadono nei seguenti intervalli:

- nel 2016: da 0.218 per l'Estonia a 0.531 per il Lussemburgo,
- nel 2018: da 0.234 per l'Estonia a 0.519 per i Paesi Bassi,
- nel 2020: da 0.250 per Malta a 0.568 per il Lussemburgo,
- nel 2022: da 0.260 per la Bulgaria a 0.492 per il Lussemburgo.

I valori della misura sintetica generale negli anni considerati mostrano l'ampiezza degli intervalli e le relative variazioni temporali. L'incremento progressivo del limite inferiore dell'intervallo (dal valore minimo di 0.218 nel 2016 al massimo 0.260 nel 2022) suggerisce un generale miglioramento delle performance nei Paesi con i livelli più bassi di sviluppo dell'economia circolare, riflettendo probabilmente l'efficacia delle politiche europee volte a dare supporto agli Stati membri meno avanzati.

Al contrario, il limite superiore presenta una certa variabilità: raggiunge il picco nel 2020 (0.5678, Lussemburgo), seguito da un calo nel 2022 (0.492, sempre Lussemburgo). Tale riduzione del valore massimo indica un possibile rallentamento nell'implementazione del concetto di economia circolare in alcuni Paesi leader, analogamente a quanto osservato nell'articolo di riferimento per l'anno 2016 rispetto ai periodi precedenti.

Non si registrano Paesi che abbiano manifestato un aumento monotono della misura sintetica generale in tutti gli anni esaminati (2016 – 2022). Nei restanti Stati membri si osservano fluttuazioni minori (in aumento o in diminuzione) nei valori della  $MS_i^G$  tra un anno e l'altro, coerentemente con l'eterogeneità delle traiettorie nazionali di transizione circolare.

A livello aggregato, la media della  $MS_i^G$  sui 26 Paesi considerati mostra un lieve calo tra il 2016 (0.3757) e il 2018 (0.3729), seguito da un recupero nel 2020 (0.3782) e nel 2022 (0.3785). Tale andamento suggerisce una fase di consolidamento iniziale, seguita da un progressivo rafforzamento delle performance complessive dell'Unione Europea nel campo dell'economia circolare, in linea con l'intensificazione degli interventi normativi e degli obiettivi del Green Deal europeo.

**Tabella 4.1:** Misura sintetica generale ( $MS_i^G$ ) del livello di sviluppo dell'economia circolare nei Paesi UE, anni selezionati (2016, 2018, 2020, 2022; ordinamento decrescente per  $MS_i^G$  2022).

| <i>Paesi UE</i>        | <i>2016</i> | <i>2018</i> | <i>2020</i> | <i>2022</i> |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>Lussemburgo</i>     | 0.5311      | 0.4983      | 0.5678      | 0.4919      |
| <i>Paesi Bassi</i>     | 0.5067      | 0.5194      | 0.4911      | 0.4887      |
| <i>Slovenia</i>        | 0.4590      | 0.4680      | 0.4619      | 0.4804      |
| <i>Finlandia</i>       | 0.4454      | 0.4401      | 0.4762      | 0.4487      |
| <i>Lettonia</i>        | 0.3733      | 0.3688      | 0.3812      | 0.4375      |
| <i>Belgio</i>          | 0.4509      | 0.4596      | 0.4122      | 0.4314      |
| <i>Danimarca</i>       | 0.4314      | 0.4043      | 0.4079      | 0.4254      |
| <i>Repubblica Ceca</i> | 0.4086      | 0.3817      | 0.3899      | 0.4164      |
| <i>Lituania</i>        | 0.4060      | 0.4073      | 0.3971      | 0.4028      |
| <i>Irlanda</i>         | 0.4122      | 0.3983      | 0.3733      | 0.4009      |
| <i>Svezia</i>          | 0.3839      | 0.4111      | 0.3545      | 0.3903      |
| <i>Germania</i>        | 0.3864      | 0.3870      | 0.4057      | 0.3860      |
| <i>Slovacchia</i>      | 0.3370      | 0.3516      | 0.3839      | 0.3818      |
| <i>Austria</i>         | 0.3996      | 0.4107      | 0.4111      | 0.3692      |
| <i>Italia</i>          | 0.3605      | 0.3611      | 0.3845      | 0.3690      |
| <i>Polonia</i>         | 0.3673      | 0.3538      | 0.3576      | 0.3558      |
| <i>Estonia</i>         | 0.3492      | 0.3533      | 0.3660      | 0.3554      |
| <i>Francia</i>         | 0.3561      | 0.3542      | 0.3502      | 0.3512      |
| <i>Croazia</i>         | 0.3348      | 0.3198      | 0.3353      | 0.3498      |
| <i>Romania</i>         | 0.3271      | 0.3358      | 0.3248      | 0.3327      |
| <i>Portogallo</i>      | 0.3537      | 0.3217      | 0.3214      | 0.3236      |
| <i>Ungheria</i>        | 0.3336      | 0.3416      | 0.3426      | 0.3202      |
| <i>Cipro</i>           | 0.3024      | 0.3056      | 0.3126      | 0.2953      |
| <i>Estonia</i>         | 0.2180      | 0.2343      | 0.2944      | 0.2923      |
| <i>Malta</i>           | 0.2641      | 0.2600      | 0.2499      | 0.2851      |
| <i>Bulgaria</i>        | 0.2704      | 0.2491      | 0.2794      | 0.2597      |

A complemento dei risultati ottenuti per la misura sintetica generale ( $MS_i^G$ ) riportati nella Tabella 4.1, le Figure 4.1 (*dumbbell plot*) e 4.2 (*slope chart*) offrono una rappresentazione visiva complementare dell'evoluzione temporale di tale misura del livello di sviluppo dell'economia circolare nei 25 Paesi dell'Unione Europea considerati nel periodo 2016 – 2022, consentendo di cogliere con maggiore immediatezza visiva le dinamiche di convergenza, le fluttuazioni intermedie e le persistenti disparità territoriali nello sviluppo dell'economia circolare tra gli

Stati membri dell'Unione Europea. In particolare, il *dumbbell plot* (Figura 4.1), ordinato secondo i valori del 2022, confronta direttamente il valore dell' $MS_i^G$  dei Paesi nel 2016 (punti blu) e nel 2022 (punti rossi), mentre lo *slope chart* (Figura 4.2) ne visualizza le traiettorie complete, integrando i valori intermedi del 2018 e del 2020 riportati nella Tabella 4.1.

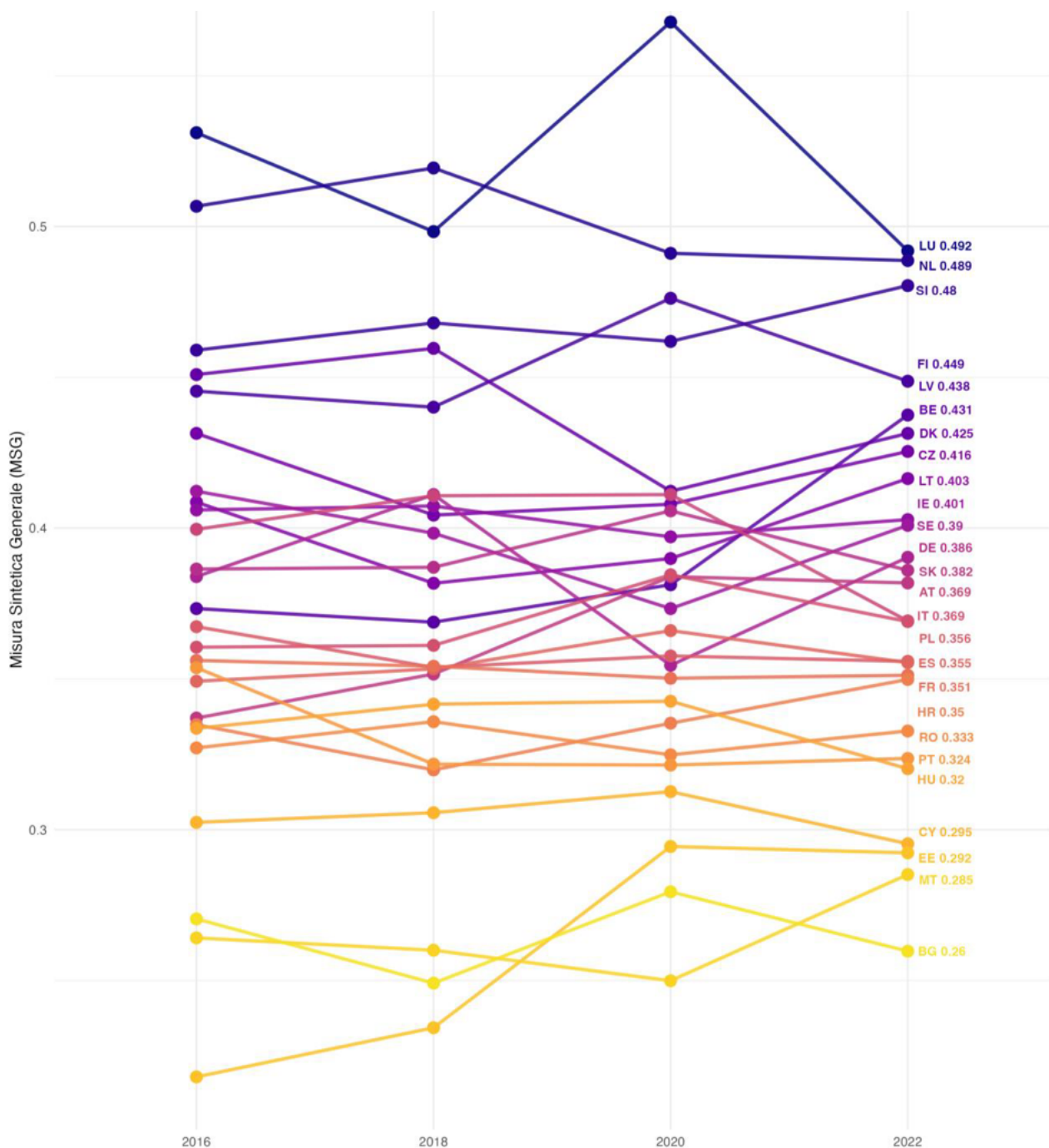
L'analisi evidenzia una sostanziale stabilità del gruppo di testa, con Lussemburgo ( $MS_i^G = 0,4919$ ) e Paesi Bassi (0,4887) che si confermano ai vertici della classifica nel 2022, seguiti da Slovenia (0,4804) e Finlandia (0,4487). Emergono tuttavia dinamiche di convergenza significative tra alcuni Stati membri di più recente adesione: la Lettonia ha registrato uno dei miglioramenti più marcati (da 0,3733 nel 2016 a 0,4375 nel 2022), mentre l'Estonia è passata da 0,2180 a 0,2923. Al contrario, alcuni Paesi tradizionalmente performanti, quali l'Austria (da 0,3996 a 0,3692) e lo stesso Lussemburgo (rispetto al picco di 0,5678 nel 2020), hanno evidenziato una contrazione del proprio indice sintetico.

**Figura 4.1:** Evoluzione della misura sintetica generale ( $MS_i^G$ ) confrontando il 2016 con il 2022 (ordinamento per il valore 2022).



Lo *slope chart* mette, inoltre, in luce una moderata volatilità intorno al 2020 – presumibilmente riconducibile agli effetti della pandemia COVID-19 e alle misure di *Recovery* – seguita da una ripresa parziale nel 2022 in un contesto caratterizzato da shock energetici. Nel complesso, i risultati confermano la persistenza di rilevanti disparità territoriali nello sviluppo dell'economia circolare tra i Paesi dell'UE, pur in presenza di segnali di lenta convergenza da parte di alcuni Stati dell'Europa centro-orientale e baltica, in linea con le evidenze emerse nell'analisi originaria di Fura et al. (2020) e con gli obiettivi di monitoraggio del *Circular Economy Action Plan*.

**Figura 4.2:** Evoluzione individuale della misura sintetica generale ( $MS_i^G$ ) dei 25 Paesi dell'UE confrontando dal 2016 al 2022 (ordinamento per il valore 2022).





## 4.2 Valutazione della similarità dell'ordinamento lineare tra il 2016 e il 2022

La fase successiva dell'analisi riguarda la valutazione della similarità dell'ordinamento dei Paesi dell'Unione Europea in relazione al livello di sviluppo dell'economia circolare tra l'anno iniziale (2016) e l'anno finale (2022) del periodo considerato. A tal fine, è stato calcolato il seguente indice (Equazione 10 Capitolo 3):

$$P_{rs}^2 = 0.000684$$

La radice quadrata di tale misura, che fornisce un'indicazione della deviazione media dell'ordinamento, risulta pari a:

$$P_{rs} = 0.0262$$

Il quale, essendo un valore prossimo allo zero, indica un'elevata similarità nell'ordinamento lineare dei Paesi tra i due anni considerati.

La misura  $P_{rs}^2$  è stata ulteriormente decomposta nelle tre componenti parziali (Equazioni 11 – 14 Capitolo 3):

- $P_1^2 = (\bar{p}_r - \bar{p}_s)^2 = 0.000008$ , che misura la differenza tra le medie della  $MS_i^G$  nei due periodi ( $\bar{p}_{2016} = 0.3757$ ,  $\bar{p}_{2022} = 0.3785$ );
- $P_2^2 = (S_r - S_s)^2 = 0.000070$ , che cattura la differenza nella dispersione ( $S_{2016} = 0.0704$ ,  $S_{2022} = 0.0620$ );
- $P_3^2 = 2S_r S_s (1 - \rho) = 0.000605$ , che riflette la non conformità nella direzione delle variazioni ( $\rho = 0.9307$ , coefficiente di correlazione lineare di Pearson tra i vettori delle  $MS_i^G$  nei due anni).

La somma delle componenti parziali conferma il valore complessivo:

$$P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 = 0.000684$$

Il valore ridotto di  $P_{rs}^2$  (0.000684) evidenzia una forte similarità nell'ordinamento lineare dei Paesi tra il 2016 e il 2022. Il coefficiente di correlazione lineare di Pearson  $\rho$ , calcolato tra i valori della misura sintetica generale ( $MS_i^G$ ) nel 2016 e nel 2022, misura il grado di associazione lineare tra i Paesi nei due anni confrontati. In questo caso, tale valore risulta essere elevato ( $\rho = 0.931$ ) e questo significa che le dinamiche di progresso (o stagnazione) nell'implementazione dell'economia circolare sono state omogenee tra i Paesi dell'Unione: i Paesi che avevano un valore elevato di  $MS_i^G$  nel 2016 tendono a mantenere un valore relativamente elevato anche nel 2022, e analogamente per quelli con valori bassi. Ciò implica che la maggior parte dei Paesi ha mantenuto il proprio posizionamento relativo nel livello di sviluppo dell'economia circolare, con limitati sconvolgimenti nell'ordinamento complessivo. In altri termini, non si sono verificati

cambiamenti radicali nell'ordinamento, poiché la maggior parte dei Paesi ha seguito traiettorie simili, registrando un lieve miglioramento generalizzato, senza che alcuni avanzino drammaticamente mentre altri regrediscono in modo opposto. Inoltre, si osserva una lieve riduzione nella differenziazione della misura sintetica (da 0.070 a 0.062), che è indice di una modesta diminuzione delle disparità tra i Paesi membri dell'Unione Europea nel periodo esaminato. Tale risultato suggerisce una sostanziale stabilità della gerarchia relativa, accompagnata da un lieve progresso medio (aumento della media da 0.376 a 0.379). Questo andamento appare coerente con l'impatto graduale delle politiche europee del Green Deal Europeo (presentato nel 2019) e del nuovo Piano d'Azione per l'Economia Circolare (CEAP, adottato nel marzo 2020), che hanno intensificato le politiche europee di promozione dell'economia circolare introdotte proprio nella seconda parte del periodo analizzato. Il lieve incremento della misura sintetica generale media ( $\overline{MS^G}$ ) post-2020 (da circa 0.374 nel sotto-periodo 2016 – 2019 a 0.380 nel 2020 – 2022) riflette infatti gli effetti iniziali di tali iniziative, con miglioramenti più marcati nei Paesi dell'Europa centrale e orientale, sostenuti da processi operativi di natura finanziaria, istituzionale e tecnologica e dall'accesso ai fondi europei, a ulteriore conferma dell'orientamento volto alla riduzione dei divari tra gli Stati membri. La persistente stabilità dell'ordinamento e la modesta riduzione delle disparità indicano tuttavia che gli impatti del Green Deal sono ancora in fase di consolidamento, con effetti più strutturali attesi nel medio-lungo termine.

È proprio l'elevato  $\rho$  a rendere  $P_3^2$  (che misura la non conformità direzionale) la componente dominante dell'indice di similarità. Essa, infatti, è pari a circa l'88% del totale, e ciò sta ad indicare che le differenze residue sono principalmente attribuibili a variazioni nella direzione e nell'entità dei cambiamenti individuali, piuttosto che a spostamenti sistematici della media ( $P_1^2$  trascurabile) o della dispersione ( $P_2^2$  modesta) che appaiono, invece, marginali.

Tale risultato suggerisce che, nonostante l'evoluzione delle politiche europee in materia di economia circolare (tra cui il Piano d'azione del 2020 e il Green Deal), la gerarchia relativa tra i Paesi è rimasta largamente stabile nel periodo considerato. I Paesi leader (quali Lussemburgo, Paesi Bassi e Slovenia) hanno mantenuto posizioni di vertice, mentre quelli con livelli inferiori (ad esempio, Bulgaria, Estonia e Malta) non hanno registrato salti significativi nell'ordinamento. Le fluttuazioni osservate, infatti, riflettono principalmente progressi differenziati a livello nazionale, con alcuni Stati dell'Europa centrale e orientale (es. Lettonia) che hanno migliorato la propria posizione relativa senza alterare sostanzialmente la struttura complessiva.

Tale analisi fornisce basi statistiche solide per verificare l'ipotesi di stabilità temporale nell'ordinamento dei Paesi, confermando una sostanziale persistenza delle disparità strutturali nell'implementazione dell'economia circolare nell'Unione Europea.

### 4.3 Analisi dell'evoluzione temporale dei ranking

L'economia circolare sta assumendo un ruolo sempre più centrale nelle politiche dell'Unione Europea, aprendo la strada per uno sviluppo più sostenibile e una gestione più efficiente delle risorse. Per comprendere come i diversi Paesi stiano affrontando questa transizione, è utile osservarne il posizionamento relativo all'interno dell'Unione. A tale scopo, la Tabella 4.2 offre non solo una panoramica del ranking europeo, ma consente anche di seguire le variazioni di posizione dei Paesi nel corso del tempo. L'analisi di questa evoluzione temporale permette di cogliere con maggiore immediatezza trend, progressi ed eventuali ritardi, fornendo così un quadro dinamico dello sviluppo dell'economia circolare in Europa.

L'approccio usato per generare la Tabella 4.1 è lo stesso impiegato nella Tabella 3 dell'articolo di riferimento: vi è riportata la posizione dei Paesi europei per quattro anni (2016, 2018, 2020, 2022) ordinati in senso decrescente secondo il valore della misura sintetica generale ( $MS_i^G$ ) nell'anno più recente (2022) al fine di evidenziare le posizioni attuali e le traiettorie di cambiamento dei vari Paesi. Il ranking è calcolato separatamente per ciascun anno, assegnando posizione 1 al Paese con il valore  $MS_i^G$  più elevato.

Al fine di arricchire l'analisi, si è aggiunta alla tabella dei ranking una colonna denominata "Variazione (2016 – 2022)". Tale indicatore è stato calcolato come differenza tra la posizione di ranking nel 2022 e quella nel 2016 ( $Rank_{2022} - Rank_{2016}$ ), con l'intento di identificare i Paesi che hanno registrato i progressi più significativi nel grado di sviluppo circolare tra il 2016 e il 2022, infatti:

- Un valore **positivo** indica un peggioramento della posizione (il Paese ha un ranking più sfavorevole, ovvero un numero più alto, nel 2022 rispetto al 2016).
- Un valore **negativo** indica un miglioramento della posizione (il Paese ha un ranking più favorevole, ovvero un numero più basso, nel 2022 rispetto al 2016).

Nel periodo 2016 – 2022, i Paesi che hanno mantenuto posizioni di leadership nello sviluppo dell'economia circolare sono stati Lussemburgo (LU), Paesi Bassi (NL) e Slovenia (SI), che si sono confermati stabilmente nelle prime tre posizioni, con Lussemburgo al primo posto sia nel 2016 che nel 2022 (con una breve parentesi al secondo posto nel 2018) e Paesi Bassi e Slovenia che hanno conservato rispettivamente il secondo e il terzo posto nell'anno finale.

Tra i Paesi che hanno registrato i miglioramenti più significativi nel periodo di riferimento spiccano la Lettonia (LV), passata dalla 13<sup>a</sup> alla 5<sup>a</sup> posizione (variazione -8), e Slovacchia (SK), che ha guadagnato sei posizioni passando dalla 19<sup>a</sup> alla 13<sup>a</sup>. Miglioramenti rilevanti si osservano anche per la Finlandia (FI), che dal 5<sup>o</sup> posto del 2016 è scesa al 4<sup>o</sup> nel 2022 con variazione -1, e per Svezia (SE), che ha preso terreno passando dal 12<sup>o</sup> all'11<sup>o</sup> posto sempre con variazione -1.

In sintesi, il periodo 2016–2022 evidenzia una relativa stabilità ai vertici della classifica, dominata da un nucleo consolidato di Paesi (Lussemburgo, Paesi Bassi e Slovenia), accompagnata da una significativa mobilità nelle posizioni intermedie, con progressi marcati da parte di alcuni Stati dell’Europa orientale (Lettonia e Slovacchia) e regressioni in Paesi tradizionalmente avanzati nell’ambito della sostenibilità (Austria e Portogallo). Tali dinamiche suggeriscono un processo di convergenza parziale tra i Paesi membri, in linea con gli obiettivi del *Circular Economy Action Plan* dell’Unione Europea, sebbene persistano divari strutturali tra i leader consolidati e il gruppo di coda.

**Tabella 4.2:** Posizioni di ranking dei Paesi UE negli anni 2016, 2018, 2020 e 2022 con variazione temporale 2022 vs 2016 (ordinamento per ranking 2022).

| <i>Paese EU</i>        | 2016 | 2018 | 2020 | 2022 | Variazione<br>2022 – 2016 |
|------------------------|------|------|------|------|---------------------------|
| <i>Lussemburgo</i>     | 1    | 2    | 1    | 1    | 0                         |
| <i>Paesi Bassi</i>     | 2    | 1    | 2    | 2    | 0                         |
| <i>Slovenia</i>        | 3    | 3    | 4    | 3    | 0                         |
| <i>Finlandia</i>       | 5    | 5    | 3    | 4    | -1                        |
| <i>Lettonia</i>        | 13   | 13   | 13   | 5    | -8                        |
| <i>Belgio</i>          | 4    | 4    | 5    | 6    | +2                        |
| <i>Danimarca</i>       | 6    | 9    | 7    | 7    | +1                        |
| <i>Repubblica Ceca</i> | 8    | 12   | 10   | 8    | 0                         |
| <i>Lituania</i>        | 9    | 8    | 9    | 9    | 0                         |
| <i>Irlanda</i>         | 7    | 10   | 14   | 10   | +3                        |
| <i>Svezia</i>          | 12   | 6    | 17   | 11   | -1                        |
| <i>Germania</i>        | 11   | 11   | 8    | 12   | +1                        |
| <i>Slovacchia</i>      | 19   | 18   | 12   | 13   | -6                        |
| <i>Austria</i>         | 10   | 7    | 6    | 14   | +4                        |
| <i>Italia</i>          | 15   | 14   | 11   | 15   | 0                         |
| <i>Polonia</i>         | 14   | 16   | 16   | 16   | +2                        |
| <i>Spagna</i>          | 18   | 17   | 15   | 17   | -1                        |
| <i>Francia</i>         | 16   | 15   | 18   | 18   | +2                        |
| <i>Croazia</i>         | 20   | 22   | 20   | 19   | -1                        |
| <i>Romania</i>         | 22   | 20   | 21   | 20   | -2                        |
| <i>Portogallo</i>      | 17   | 21   | 22   | 21   | +4                        |
| <i>Ungheria</i>        | 21   | 19   | 19   | 22   | +1                        |
| <i>Cipro</i>           | 23   | 23   | 23   | 23   | 0                         |
| <i>Estonia</i>         | 26   | 26   | 24   | 24   | -2                        |
| <i>Malta</i>           | 25   | 24   | 26   | 25   | 0                         |
| <i>Bulgaria</i>        | 24   | 25   | 25   | 26   | +2                        |

Come integrazione delle posizioni di ranking e delle variazioni temporali riportate nella Tabella 4.2, la Figura 4.3 (*lollipop plot*) fornisce una rappresentazione grafica chiara e immediata delle variazioni di posizione tra il 2016 e il 2022, distinguendo i miglioramenti (in rosso) dai peggioramenti (in verde) e mettendo così in evidenza i processi di convergenza e le traiettorie divergenti osservate all’interno dell’Unione Europea.

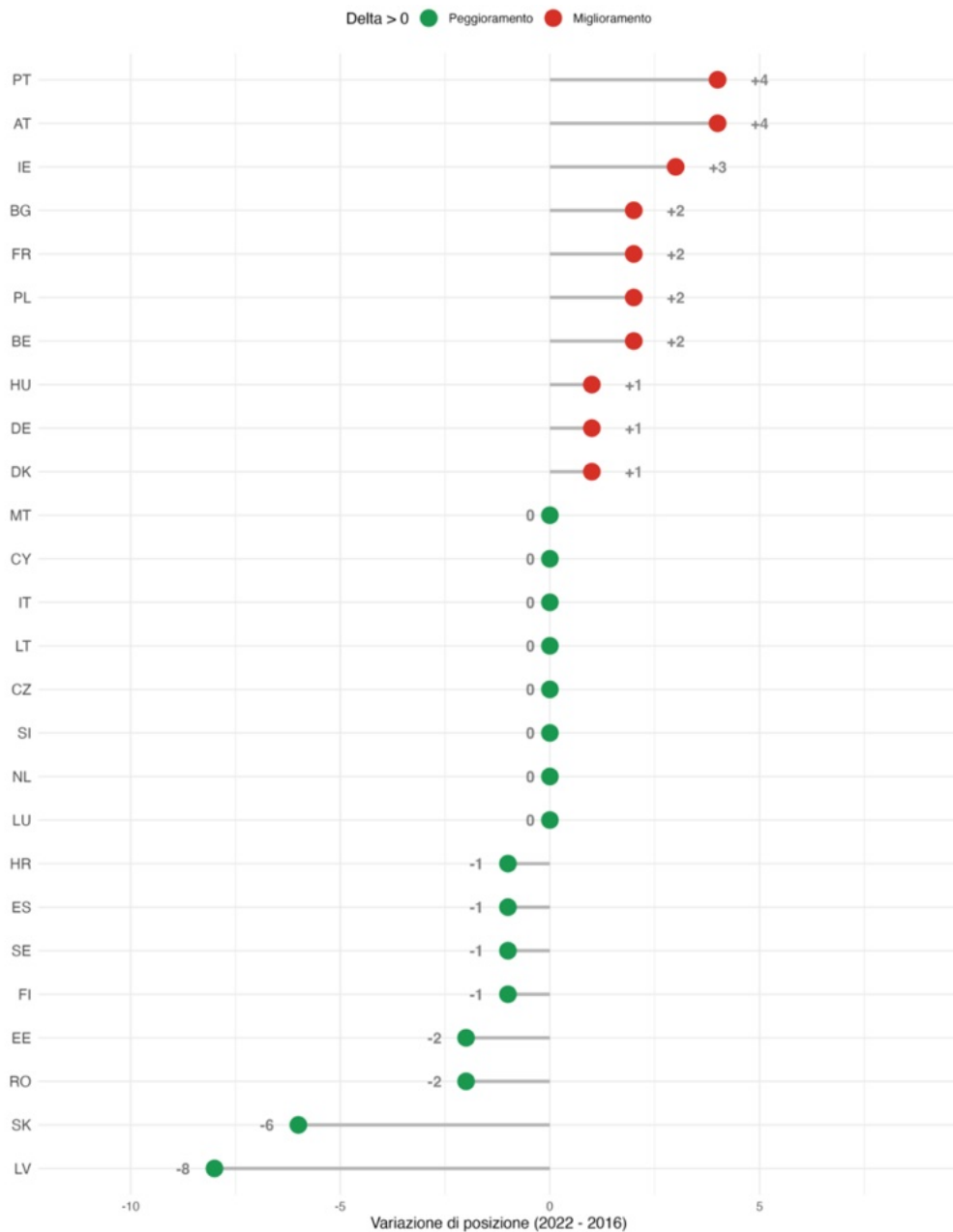
Infatti, la Figura 4.3 assieme alla Tabella 4.2, completano l’analisi dell’evoluzione temporale della misura sintetica generale ( $MS_i^G$ ) presentando le posizioni di ranking dei 25 Paesi dell’Unione Europea negli anni 2016, 2018, 2020 e 2022 (ordinati per ranking 2022), unitamente

alla variazione netta di posizione tra il 2016 e il 2022. Il grafico a *lollipop* distingue chiaramente i miglioramenti (variazioni positive, in verde) dai peggioramenti (variazioni negative, in rosso), dove la variazione è definita come posizione 2022 meno posizione 2016.

L'esame del ranking rivela una marcata stabilità nella parte alta della classifica: Lussemburgo, Paesi Bassi e Slovenia conservano invariati i primi tre posti per l'intero periodo considerato, confermando la leadership consolidata già osservata nei valori assoluti della  $MSI^G$ . Emergono tuttavia dinamiche di convergenza significative da parte di alcuni Stati membri di più recente adesione. La Lettonia registra il progresso più rilevante, guadagnando otto posizioni (dal 13° al 5° posto), mentre la Slovacchia avanza di sei posizioni (dal 19° al 13°). Tali spostamenti testimoniano un processo di catch-up selettivo da parte di economie dell'Europa baltica e centro-orientale.

Al contrario, alcuni Paesi tradizionalmente ben posizionati registrano arretramenti: l'Austria e il Portogallo perdono quattro posizioni ciascuno, mentre l'Irlanda ne perde tre. Nel complesso, l'evoluzione del ranking tra il 2016 e il 2022 conferma la persistenza di rilevanti disparità territoriali nello sviluppo dell'economia circolare all'interno dell'Unione Europea, pur accompagnata da segnali di lenta convergenza coerenti con gli obiettivi di monitoraggio del *Circular Economy Action Plan* e con le evidenze emerse nell'analisi originaria di Fura et al. (2020).

**Figura 4.3:** Variazione del ranking (2022 vs 2016) in cui il guadagno di posizioni (variazioni positive) sono in verde mentre la perdita di posizioni (variazioni negative) sono in rosso. Lo 0 indica che non c'è stata variazione tra i 2 anni considerati.



#### 4.4 Confronto con i risultati dell'articolo di riferimento (periodo 2010 – 2016)

Per contestualizzare ulteriormente i risultati ottenuti nel presente lavoro per il periodo 2016 – 2022, è utile confrontarli con quelli riportati nell'articolo di riferimento, che analizza

l'evoluzione del livello di sviluppo dell'economia circolare nei Paesi dell'Unione nel periodo 2010 – 2016. Tale confronto, sebbene limitato dalla diversa composizione del panel (nell'articolo originale è inclusa la Gran Bretagna e la Grecia mentre nel presente studio post-Brexit non sono presenti) e dalla diversa gestione dei dati mancanti (nel presente studio è stata adottata l'imputazione multipla MICE mentre nell'articolo originale è stata adottata l'imputazione sulla media del gruppo), consente di evidenziare continuità e discontinuità nelle traiettorie nazionali.

In particolare, analizzare l'evoluzione delle posizioni dei Paesi nel periodo 2010 – 2022 permetterebbe di cogliere l'andamento di lungo periodo del processo di sviluppo dell'economia circolare. Tale analisi renderebbe possibile osservare se i Paesi ai vertici del ranking presentino una posizione consolidata nel tempo o se emergano invece fenomeni di variabilità. Per questo motivo è stata creata la Tabella 4.3.

Si osservano elementi di forte continuità ai vertici della classifica nel lungo periodo. Il Lussemburgo e i Paesi Bassi confermano la prima e la seconda posizione occupata nel 2010, evidenziando una leadership consolidata e una capacità strutturale di mantenere elevati standard di economia circolare nel tempo. Analogamente, paesi come Danimarca (7°), Repubblica Ceca (8°), Polonia (16°), Spagna (17°) ed Estonia (24°) mostrano una stabilità complessiva delle performance nel lungo termine (variazione 0 tra 2022 e 2010), con oscillazioni minime o nulle anche nel periodo 2022 – 2016. Tale continuità suggerisce che i fattori strutturali alla base del primato di questi Paesi – elevati tassi di riciclaggio, efficiente gestione dei rifiuti e forte innovazione in materiali secondari – persistono nel tempo.

Al contempo, emergono significativi fenomeni di mobilità, che assumono connotazioni diverse a seconda dell'orizzonte temporale considerato. Nel lungo periodo (2010 – 2022) si osserva un marcato processo di recupero da parte di alcuni Paesi dell'Europa centrale, orientale e del Nord. Tra i miglioramenti più rilevanti si collocano:

- Slovenia (+6 posizioni, da 9° a 3°), che entra nel gruppo di testa;
- Finlandia (+8 posizioni, da 12° a 4°);
- Lettonia (+5 posizioni, da 10° a 5°);
- Slovacchia (+7 posizioni, da 20° a 13°);
- Lituania e Irlanda (entrambi +5 posizioni).

Questi avanzamenti risultano in gran parte concentrati nel periodo più recente 2016 – 2022 testimoniano una dinamica positiva nei Paesi dell'allargamento 2004 – 2007 e in alcuni contesti nordici: la Lettonia registra il miglioramento più consistente (+8 posizioni), seguita dalla Slovacchia (+6 posizioni), confermando una dinamica accelerata di convergenza negli ultimi anni, coerentemente con l'osservazione dell'articolo di riferimento per il periodo 2010 – 2016, dove i “nuovi” Stati membri mostravano tassi di crescita della CE superiori alla media. Tali dinamiche indicano un processo di convergenza in atto, probabilmente favorito

dall'allineamento progressivo alle normative europee e dagli investimenti strutturali post-allargamento.

**Tabella 4.3:** Posizioni di ranking dei Paesi UE negli anni 2010 e 2022 con variazione temporale 2022 vs 2010 (ordinamento per ranking 2022).

| <i>Paese EU</i>        | 2010 | 2022 | Variazione<br>2010 – 2022 |
|------------------------|------|------|---------------------------|
| <i>Lussemburgo</i>     | 1    | 1    | 0                         |
| <i>Paesi Bassi</i>     | 2    | 2    | 0                         |
| <i>Slovenia</i>        | 9    | 3    | -6                        |
| <i>Finlandia</i>       | 12   | 4    | -8                        |
| <i>Lettonia</i>        | 10   | 5    | -5                        |
| <i>Belgio</i>          | 4    | 6    | +2                        |
| <i>Danimarca</i>       | 7    | 7    | 0                         |
| <i>Repubblica Ceca</i> | 8    | 8    | 0                         |
| <i>Lituania</i>        | 14   | 9    | -5                        |
| <i>Irlanda</i>         | 15   | 10   | -5                        |
| <i>Svezia</i>          | 3    | 11   | +8                        |
| <i>Germania</i>        | 6    | 12   | +6                        |
| <i>Slovacchia</i>      | 20   | 13   | -7                        |
| <i>Austria</i>         | 5    | 14   | +9                        |
| <i>Italia</i>          | 13   | 15   | +2                        |
| <i>Polonia</i>         | 16   | 16   | 0                         |
| <i>Spagna</i>          | 17   | 17   | 0                         |
| <i>Francia</i>         | 11   | 18   | +7                        |
| <i>Croazia</i>         | 22   | 19   | -3                        |
| <i>Romania</i>         | 21   | 20   | -1                        |
| <i>Portogallo</i>      | 19   | 21   | +2                        |
| <i>Ungheria</i>        | 18   | 22   | +4                        |
| <i>Cipro</i>           | 25   | 23   | -2                        |
| <i>Estonia</i>         | 24   | 24   | 0                         |
| <i>Malta</i>           | 26   | 25   | -1                        |
| <i>Bulgaria</i>        | 23   | 26   | +2                        |

Viceversa, diversi Paesi dell'Europa occidentale, tradizionalmente avanzati nell'ambito della sostenibilità, registrano un peggioramento relativo della posizione nel lungo periodo:

- Svezia (+8 posizioni, da 3° a 11°);
- Austria (+9 posizioni, da 5° a 14°);
- Germania (+6 posizioni, da 6° a 12°);
- Francia (+7 posizioni, da 11° a 18°).

Tali cali, pur non necessariamente implicando un peggioramento assoluto delle performance (potrebbero riflettere un progresso più lento rispetto ad altri), indicano una perdita di vantaggio competitivo in termini relativi e suggeriscono l'emergere di nuovi modelli di riferimento in termini di performance. Infatti, le variazioni nel periodo 2016 – 2022 rivelano traiettorie

differenziate: mentre Austria (+4 posizioni) e Francia (+6 posizioni, di cui parte nel recente periodo) mostrano un peggioramento persistente, altri Paesi come Germania e Svezia presentano oscillazioni più moderate negli ultimi anni (+1 e -1 posizione rispettivamente), suggerendo che parte della perdita di posizione relativa sia maturata principalmente nella fase iniziale (2010 – 2016). Questi regressi, quindi, potrebbero riflettere ritardi nell’adattamento a target più stringenti introdotti dal nuovo *Circular Economy Action Plan* del 2020 o vincoli congiunturali post-pandemia.

Nel complesso, l’integrazione dei due orizzonti temporali evidenzia un processo di convergenza nel livello di sviluppo dell’economia circolare all’interno dell’Unione Europea. I Paesi leader del 2010 mantengono in larga parte posizioni di eccellenza, ma la distanza rispetto ai follower si riduce sensibilmente, soprattutto grazie alla rapida progressione di alcuni Stati dell’Europa centrale e orientale (Lettonia e Slovacchia) e in alcuni contesti nordici. Tale tendenza conferma e amplifica le conclusioni dell’articolo di riferimento relative alla maggiore dinamica di crescita dei “nuovi” membri nel periodo 2010 – 2016, suggerendo che il processo di transizione verso modelli circolari stia acquisendo maggiore uniformità, pur in presenza di eterogeneità persistenti e di traiettorie nazionali differenziate tra fase iniziale e fase più recente del periodo considerato. L’analisi di lungo termine conferma pertanto la robustezza delle dinamiche osservate nel presente lavoro per il 2016 – 2022, fornendo evidenze complementari sulla sostenibilità del percorso di sviluppo dell’economia circolare nell’Unione. Le evidenze emerse attestano l’efficacia delle politiche europee nel promuovere una transizione verso modelli circolari più omogenei, sebbene permangano divari tra i leader consolidati e il gruppo di coda, con implicazioni rilevanti per la progettazione di interventi mirati nei prossimi cicli di programmazione.

## 4.5 Classificazione dei paesi dell'Unione in base alla misura sintetica generale

Sulla base della misura sintetica generale ( $MS_i^G$ ) calcolata per gli anni 2016 e 2022, i Paesi membri dell'Unione Europea sono stati classificati in quattro gruppi omogenei in funzione del livello di sviluppo dell'economia circolare, seguendo la metodologia proposta nell'articolo di riferimento (Fura et al., 2020). I risultati di tale classificazione sono riportati nella Tabella 4.4.

**Tabella 4.4:** Classificazione dei Paesi UE in base al livello di sviluppo dell'economia circolare ( $MS_i^G$ ) negli anni 2016 e 2022

| Gruppo   | Livello CE  | Classificazione Paesi UE   |   |
|----------|-------------|--|---|
|          |             | 2016   | 2022  |
| Gruppo 1 | high        | Lussemburgo, Paesi Bassi, Slovenia, Belgio   | Lussemburgo, Paesi Bassi, Slovenia, Finlandia   |
| Gruppo 2 | medium-high | Finlandia, Danimarca, Irlanda, Repubblica Ceca, Lituania, Austria, Germania, Svezia            | Lettonia, Belgio, Danimarca, Repubblica Ceca, Lituania, Irlanda, Svezia, Germania, Slovacchia |
| Gruppo 3 | medium-low  | Lettonia, Polonia, Italia, Francia, Portogallo, Spagna, Slovacchia, Croazia, Ungheria, Romania | Austria, Italia, Polonia, Spagna, Francia, Croazia, Romania, Portogallo, Ungheria             |
| Gruppo 4 | low         | Cipro, Bulgaria, Malta, Estonia  | Cipro, Estonia, Malta, Bulgaria   |

Infatti, si procede ad illustrare con la Tabella 4.4 il profilo dei diversi gruppi, evidenziando quali Paesi guidano l'economia circolare in Europa e come si sia evoluta la loro posizione tra il 2016 e il 2022. L'analisi mette in luce i leader consolidati, i progressi dei paesi emergenti e le dinamiche che hanno caratterizzato lo sviluppo sostenibile nell'Unione.

**Gruppo 1 (livello alto).** Questo gruppo comprende i Paesi con i valori più elevati di  $MS_i^G$  e raccoglie gli Stati che, rispetto agli altri Paesi dell'Unione Europea, presentano un livello di sviluppo dell'economia circolare più avanzato. Nel 2016 esso era composto da Lussemburgo (LU), Paesi Bassi (NL), Slovenia (SI) e Belgio (BE); nel 2022 il Belgio è stato sostituito dalla Finlandia (FI), mentre Lussemburgo, Paesi Bassi e Slovenia hanno mantenuto la loro posizione di eccellenza. Tale stabilità riflette una consolidata capacità di questi Stati – in gran parte appartenenti ai “vecchi” membri UE – di eccellere nelle aree di gestione dei rifiuti, utilizzo di materiali secondari e innovazione.

**Gruppo 2 (livello medio-alto).** Nel 2016 questo gruppo includeva Paesi con performance solide ma non al vertice, tra cui Finlandia (FI), Danimarca (DK), Irlanda (IE), Repubblica Ceca (CZ), Lituania (LT), Austria (AT), Germania (DE) e Svezia (SE). Nel 2022 la composizione si è ampliata e diversificata, con l'ingresso di Lettonia (LV) e Slovacchia (SK) e l'uscita della Finlandia (promossa al Gruppo 1) e dell'Austria (retrocessa al Gruppo 3). Il gruppo conserva una combinazione di Stati “vecchi” (come Germania e Danimarca) e “nuovi” membri (come

Lituania e Repubblica Ceca), evidenziando un progressivo avanzamento di alcuni Paesi dell'Europa centro-orientale in termini di sostenibilità.

**Gruppo 3 (livello medio-basso).** Questo gruppo, il più numeroso in entrambi gli anni, raggruppa i Paesi con i valori intermedi di  $MSI^G$ . Nel 2016 era composto principalmente da Stati del Centro-Est Europa (Lettonia, Polonia, Slovacchia, Croazia, Ungheria, Romania) e da alcuni Paesi mediterranei e occidentali (Italia, Francia, Portogallo, Spagna), con la presenza della Lettonia e della Slovacchia che nel 2022 sono avanzate al Gruppo 2. Nel 2022 il gruppo accoglie l'Austria (in calo dal Gruppo 2) e mantiene una forte presenza di Paesi dell'allargamento 2004 – 2007 e dell'Europa meridionale, riflettendo persistenti ritardi strutturali nella transizione circolare nonostante i progressi registrati in alcuni indicatori di gestione dei rifiuti.

**Gruppo 4 (livello basso).** Si tratta del gruppo contenente i Paesi con il livello più basso di sviluppo dell'economia circolare. Come si può vedere dalla tabella, esso è rimasto stabile e ristretto: in entrambi gli anni era composto da Cipro (CY), Bulgaria (BG), Malta (MT) ed Estonia (EE). Si tratta prevalentemente di Paesi mediterranei o baltici caratterizzati da economie fortemente dipendenti dal turismo o da vincoli strutturali storici (infrastrutture di gestione rifiuti insufficienti, elevata dipendenza dalle discariche, quadro normativo e istituzionale meno sviluppato per la circolarità), che generano elevati volumi di rifiuti e presentano ritardi nell'adozione di pratiche legate alla sostenibilità.

Nonostante il panorama dell'Unione Europea sia dominato dal Gruppo 3 (livello medio-basso), il periodo 2016 – 2022 evidenzia segnali di convergenza: l'avanzamento di Paesi come Lettonia e Slovacchia verso il Gruppo 2 e l'ingresso della Finlandia nel Gruppo 1 suggeriscono che le politiche europee successive al 2015 (in particolare il *Circular Economy Package* e il nuovo *Action Plan* del 2020) abbiano favorito miglioramenti significativi nei Paesi dell'Europa centro-orientale, riducendo parzialmente il divario con i leader tradizionali. Persiste, tuttavia, un divario tra un nucleo ristretto di eccellenza e un ampio gruppo intermedio, con implicazioni rilevanti per lo stanziamento dei fondi e la pianificazione di interventi mirati, in linea con le strategie europee future.

## 4.6 Generazione delle mappe coropletiche

I risultati della classificazione dei Paesi Europei in gruppi omogenei in base al livello di sviluppo dell'economia circolare misurato tramite l' $MS_i^G$  sono stati ulteriormente supportati dalla costruzione di mappe coropletiche dell'Europa che facilitano il confronto tra le diverse unità territoriali negli anni 2016 e 2022 (Figura 4.1 e Figura 4.2). In queste figure i Paesi dell'Unione sono stati colorati in base al gruppo di appartenenza mentre i Paesi non appartenenti all'Unione sono colorati in giallo. In particolare, la palette aggiornata è la seguente:

- Gruppo 1 (alto): Rosso (#E41A1C)
- Gruppo 2 (medio – alto): Blu (#377EB8)
- Gruppo 3 (medio – basso): Verde (#4DAF4A)
- Gruppo 4 (basso): Arancione (#FF7F00)
- Non UE: Kaki chiaro (#F0E68C)

La mappa di entrambe le figure rimane calibrata in modo da mantenere il focus sui Paesi Europei, includendo i confinanti principali senza dilatarla eccessivamente.

La Figura 4.2 mostra una prima fotografia della distribuzione territoriale del livello di sviluppo dell'economia circolare nell'Unione Europea nel 2016. Emergono forti differenze tra i Paesi membri, con una chiara polarizzazione tra un nucleo ristretto di Paesi ad alte performance e un gruppo più ampio collocato su livelli medio-bassi o bassi.

Il **Gruppo 1 (livello alto)** è composto da un numero limitato di Paesi – Lussemburgo, Paesi Bassi, Slovenia e Belgio – caratterizzati da sistemi produttivi avanzati, elevata efficienza nell'uso delle risorse e politiche ambientali relativamente mature. Si tratta prevalentemente di economie di piccole o medie dimensioni, spesso dotate di una forte capacità istituzionale e di un'elevata integrazione delle pratiche circolari nei modelli industriali.

Il **Gruppo 2 (medio-alto)** include invece un insieme più eterogeneo di Paesi, in larga parte dell'Europa centro-settentrionale, che presentano buoni risultati ma non ancora pienamente consolidati. In questi casi, l'economia circolare appare già integrata nelle strategie nazionali, ma con margini di miglioramento legati soprattutto alla diffusione delle pratiche lungo l'intero tessuto produttivo.

Nel **Gruppo 3 (medio-basso)** si colloca una parte consistente dei Paesi dell'Europa meridionale e orientale, tra cui Italia, Francia, Spagna e Portogallo. Questi Paesi mostrano livelli intermedi di sviluppo, suggerendo una fase di transizione in cui coesistono settori avanzati e ambiti ancora fortemente dipendenti da modelli lineari.

Infine, il **Gruppo 4 (livello basso)** comprende Paesi come Cipro, Bulgaria, Malta ed Estonia, che nel 2016 presentano le maggiori criticità in termini di diffusione dell'economia circolare,

riflettendo ritardi strutturali, dimensioni ridotte dei mercati o una minore priorità politica attribuita a queste tematiche.

La Figura 4.3 aggiorna la classificazione al 2022, consentendo di cogliere l'evoluzione dei livelli di economia circolare nel tempo. Nel complesso, la mappa suggerisce una dinamica di cambiamento moderata, caratterizzata più da ricomposizioni interne ai gruppi che da un completo ribaltamento della geografia europea della circolarità.

Il **Gruppo 1** rimane ristretto, ma registra alcune variazioni nella composizione: accanto alla conferma di Lussemburgo, Paesi Bassi e Slovenia, emerge la Finlandia, mentre il Belgio arretra nel gruppo immediatamente inferiore. Questo risultato segnala un rafforzamento delle performance dei Paesi nordici, coerente con l'intensificazione delle politiche ambientali e industriali orientate alla circolarità nel periodo post-2016.

Il **Gruppo 2 (medio-alto)** appare nel 2022 più popolato e dinamico, includendo Paesi che migliorano la propria posizione relativa. Ciò indica una progressiva convergenza verso livelli intermedi-alti, favorita anche dall'implementazione delle strategie europee per l'economia circolare e dal rafforzamento del quadro normativo comune.

Il **Gruppo 3 (medio-basso)** continua a comprendere molti Paesi dell'Europa meridionale e orientale. Tuttavia, la loro permanenza in questa fascia suggerisce che, pur in presenza di miglioramenti assoluti, tali progressi non sono stati sufficienti a colmare il divario con i Paesi più avanzati.

Il **Gruppo 4 (basso)** rimane sostanzialmente invariato nella composizione, indicando una persistenza di difficoltà strutturali che limitano la capacità di questi Paesi di agganciare la transizione circolare, nonostante il contesto politico europeo sempre più favorevole.

In conclusione, il confronto tra le due mappe evidenzia quindi una stabilità di fondo della struttura spaziale, con cambiamenti incrementali piuttosto che trasformazioni radicali. L'economia circolare in Europa sembra evolvere secondo un processo graduale e cumulativo, in cui i Paesi già avanzati tendono a consolidare il proprio vantaggio, mentre quelli con i livelli di sviluppo inferiore mostrano progressi più lenti. Questo risultato rafforza l'idea che le politiche europee abbiano avuto un impatto positivo ma non uniformemente distribuito. Infatti, I miglioramenti registrati in alcuni Paesi settentrionali e mediterranei rafforzano l'evidenza dell'efficacia delle politiche europee di monitoraggio e incentivazione (Circular Economy Action Plan, 2020), mentre la persistenza di cluster inferiori nell'Europa orientale sottolinea la necessità di interventi più mirati per rafforzare il potenziale istituzionale, amministrativo e tecnologico necessario alla piena attuazione delle politiche di economia circolare.

**Figura 4.1:** Classificazione dei Paesi UE per livello di sviluppo dell'economia circolare nel 2016.



Fonte: Confini geografici ricavati da Natural Earth.

**Figura 4.2:** Classificazione dei Paesi UE per livello di sviluppo dell'economia circolare nel 2022.



Fonte: Confini geografici ricavati da Natural Earth.

## 4.7 Classificazione dei Paesi UE per Area Tematica

Per comprendere in profondità le cause delle differenze nei livelli di sviluppo dell'economia circolare tra i Paesi membri dell'Unione Europea è stata eseguita anche un'analisi sulla classificazione dei Paesi in base all'area tematica (I, II, III e IV). Il quadro di monitoraggio dell'economia circolare elaborato da Eurostat (2024), suddivide gli indicatori in cinque aree chiave:

- Produzione e consumo (*production and consumption*)
- Gestione dei rifiuti (*waste management*)
- Materie prime secondarie (*secondary raw materials*)
- Competitività e innovazione (*competitiveness and innovation*)
- Sostenibilità globale e resilienza (*global sustainability and resilience*).

Come già visto nel Capitolo 2, però, nel presente lavoro sono state prese in considerazione solo quattro delle cinque aree tematiche appena elencate, in perfetta analogia con l'articolo di riferimento. Queste aree tematiche consentono di analizzare non solo le performance complessive, ma anche l'ambito specifico dell'economia circolare in cui i Paesi emergono o mostrano dei ritardi, offrendo una visione più articolata delle traiettorie di sviluppo e consentendo un confronto più dettagliato tra gli Stati con profili economici e strutturali differenti. Attraverso questa prospettiva tematica è possibile evidenziare punti di forza e debolezza nei diversi ambiti dell'economia circolare e valutare l'efficacia delle politiche nazionali e comunitarie alla luce delle priorità del *Green Deal* europeo.

Per ciascuna area tematica è stata predisposta una tabella di classificazione relativa ai 25 Paesi dell'Unione Europea. Diversamente da quanto riportato nell'articolo di riferimento, l'analisi non include Grecia e Regno Unito.

La classificazione è stata effettuata per gli anni 2016 e 2022 sulla base della media aritmetica  $\bar{MS}^A$  e della deviazione standard campionaria  $S^A$  della misura sintetica riferita alla specifica area tematica. Sulla base di tali parametri, i Paesi sono stati suddivisi in quattro gruppi omogenei secondo i seguenti criteri:

- **Gruppo 1 (high level):**  $MS_i^A \geq \bar{MS}^A + S^A$
- **Gruppo 2 (medium – high level):**  $\bar{MS}^A + S^A > MS_i^A \geq \bar{MS}^A$
- **Gruppo 3 (medium – low level):**  $\bar{MS}^A > MS_i^A \geq \bar{MS}^A - S^A$
- **Gruppo 4 (low level):**  $MS_i^A < \bar{MS}^A - S^A$

dove  $A \in \{I, II, III, IV\}$  identifica la corrispondente area tematica. Tale impostazione consente di analizzare in modo comparabile la distribuzione delle performance e la loro evoluzione nel tempo.

Di seguito si procede con un'analisi dettagliata dei risultati.

#### 4.7.1 Classificazione dei Paesi UE secondo il livello di sviluppo nell'Area Tematica I (Produzione e Consumo)

La classificazione dei Paesi UE per l'Area Tematica I definisce i gruppi in base alla media aritmetica  $\bar{M}S^I$  e alla deviazione standard  $S^I$  (calcolata come deviazione standard campionaria, coerentemente) della misura sintetica parziale  $MS_i^I$  per gli anni 2016 e 2022. Si precisa che tale area si basa unicamente su indicatori destimolanti (X1 – X3), valori elevati dei dati grezzi indicano una maggiore intensità nella generazione di rifiuti (in relazione alla popolazione, al PIL e al consumo domestico di materiali) e, pertanto, una performance meno favorevole ai principi dell'economia circolare. La classificazione, però, è stata ottenuta normalizzando gli indicatori in senso stimolante, cosicché il Gruppo 1 (*high*) identifica i Paesi con la minore intensità di generazione di rifiuti (migliore situazione), mentre il Gruppo 4 (*low*) raggruppa quelli con l'intensità più elevata (peggiore situazione). I risultati sono riportati nella Tabella 4.5.

**Tabella 4.5:** Classificazione dei Paesi UE per livello di sviluppo dell'economia circolare nell'Area Tematica I (Produzione e Consumo) negli anni 2016 e 2022 (metodo media  $\pm$  deviazione standard)

| Gruppo   | Livello CE  | Classificazione Paesi UE (I. Produzione e Consumo)   |  |
|----------|-------------|--|--|
|          |             | 2016   | 2022   |
| Gruppo 1 | high        | Repubblica Ceca, Romania   | Finlandia, Romania, Svezia   |
| Gruppo 2 | medium-high | Austria, Croazia, Cipro, Finlandia, Ungheria, Irlanda, Lettonia, Lituania, Polonia, Portogallo, Slovacchia, Slovenia, Svezia | Croazia, Repubblica Ceca, Francia, Ungheria, Irlanda, Lettonia, Lituania, Malta, Polonia, Portogallo, Slovacchia, Slovenia, Spagna |
| Gruppo 3 | medium-low  | Belgio, Danimarca, Francia, Germania, Italia, Lussemburgo, Malta, Spagna   | Austria, Cipro, Danimarca, Germania, Italia, Lussemburgo, Paesi Bassi  |
| Gruppo 4 | low         | Bulgaria, Estonia, Paesi Bassi   | Belgio, Bulgaria, Estonia  |

I valori di riferimento risultano pari a:

- **2016:**  $\bar{M}S^I = 0.7386$ ,  $S^I = 0.1377$
- **2022:**  $\bar{M}S^I = 0.6763$ ,  $S^I = 0.1444$

Da cui emerge che la media  $\bar{M}S^I$  diminuisce da 0.7386 (2016) a 0.6763 (2022) e, accompagnata da un aumento della deviazione standard (da 0.1377 a 0.1444), sono sintomo di una crescente eterogeneità nelle performance dei Paesi UE.

Nel 2016, il **Gruppo 1 (*high*)** comprendeva un numero molto limitato di Paesi, tra cui Repubblica Ceca e Romania. In riferimento all'area Produzione e Consumo, questi risultati possono essere interpretati alla luce di un tessuto produttivo caratterizzato da una minore

complessità industriale e da livelli relativamente più bassi di consumo pro capite. In tali contesti, una struttura economica meno orientata ai settori ad alta intensità materiale e un processo di modernizzazione produttiva ancora in corso possono aver favorito migliori performance relative sugli indicatori considerati, anche grazie al ruolo dei fondi europei destinati all'ammodernamento industriale e all'efficienza delle risorse. Nel 2022, il **Gruppo 1** include invece Finlandia, Svezia e Romania. L'ingresso dei Paesi nordici appare coerente con il rafforzamento delle politiche di produzione sostenibile, dell'*eco-design* e della responsabilità estesa del produttore, nonché con modelli di consumo maggiormente orientati alla sostenibilità. In questi Paesi, l'elevata capacità istituzionale e la stabilità politica hanno consentito un allineamento più rapido tra strategie industriali e obiettivi ambientali, traducendosi in miglioramenti significativi negli indicatori dell'area Produzione e Consumo.

Il **Gruppo 2 (medium – high)** rappresenta, in entrambi gli anni, il gruppo più numeroso, comprendendo Paesi con livelli intermedi di performance. Nel 2016, esso includeva sia economie mature dell'Europa occidentale sia diversi Paesi dell'Europa centro-orientale; nel 2022 si osserva una composizione parzialmente rinnovata, con l'ingresso di Paesi come Francia e Spagna. Questo posizionamento intermedio suggerisce che, nonostante l'adozione di politiche volte a promuovere modelli produttivi più circolari – anche attraverso il supporto dei Piani Nazionali di Ripresa e Resilienza – persistano criticità legate all'elevata intensità dei consumi, alla difficoltà di riconvertire filiere produttive consolidate e alla lentezza nel modificare i comportamenti dei consumatori.

Il **Gruppo 3 (medium – low)** comprende, in entrambi gli anni, alcune delle principali economie industriali europee, come Germania, Italia e Francia (nel 2016). Nell'Area Tematica I, questo risultato riflette il peso di modelli produttivi tradizionali ad alta intensità di risorse, uniti a livelli elevati di consumo pro capite. In tali Paesi, la transizione verso sistemi di produzione e consumo circolari risulta più complessa, sia per l'inerzia strutturale delle filiere industriali sia per la presenza di forti vincoli economici e occupazionali che hanno limitato, soprattutto nel periodo post-crisi e durante la pandemia, l'introduzione di cambiamenti più radicali.

Infine, il **Gruppo 4 (low)** rimane composto prevalentemente da Paesi con performance più deboli negli indicatori di Produzione e Consumo, come Bulgaria ed Estonia, a cui si aggiunge il Belgio nel 2022. Per i Paesi dell'Europa orientale, il posizionamento nei livelli più bassi è riconducibile a limiti infrastrutturali, tecnologici e istituzionali che rallentano l'adozione di pratiche produttive più efficienti e la diffusione di modelli di consumo sostenibili. Il caso del Belgio, invece, suggerisce che anche economie avanzate possono mostrare risultati critici nell'Area Tematica I, in presenza di frammentazione istituzionale e difficoltà di coordinamento delle politiche in materia di produzione e consumo sostenibili.

Nel complesso, questa classificazione evidenzia come le differenze osservate tra i Paesi non riflettano solo livelli assoluti di sviluppo economico, ma soprattutto scostamenti relativi rispetto alla media europea. Ciò conferma che, nell'Area Tematica Produzione e Consumo, che rappresenta il primo anello del modello circolare, il progresso verso l'economia circolare

dipende in misura rilevante dalla capacità di intervenire sui modelli produttivi e sui comportamenti di consumo, oltre che dalla coerenza e continuità delle politiche pubbliche nel medio periodo.

#### 4.7.2 Classificazione dei Paesi UE secondo il livello di sviluppo nell'Area Tematica II (Gestione dei rifiuti)

In linea con la metodologia adottata per l'Area Tematica I, la misura sintetica parziale  $MS_i^{II}$  per l'Area Tematica II (Gestione dei rifiuti) è stata calcolata normalizzando annualmente gli indicatori stimolanti X4 – X11 (valori elevati riflettono performance positive) mediante il metodo *zero-unitarization*, seguito dall'aggregazione tramite media aritmetica. Tale area misura le performance nei tassi di riciclaggio e recupero dei rifiuti (urbani, imballaggi, *e-waste*, *biowaste* e rifiuti da costruzione/demolizione), con valori elevati di  $MS_i^{II}$  che indicano una gestione più efficiente e circolare dei rifiuti. I risultati ottenuti sono stati raccolti nella Tabella 4.6.

**Tabella 4.6:** Classificazione dei Paesi UE per livello di sviluppo dell'economia circolare nell'Area Tematica II (Gestione dei rifiuti) negli anni 2016 e 2022 (metodo media  $\pm$  deviazione standard)

| Gruppo   | Livello CE    | Classificazione Paesi UE (II. Gestione dei Rifiuti)                                   |  |
|----------|---------------|---|--|
|          |               | 2016  | 2022   |
| Gruppo 1 | high          | Repubblica Ceca, Danimarca, Lituania, Paesi Bassi                                     | Danimarca, Germania, Italia, Netherlands, Slovakia   |
| Gruppo 2 | Medium – high | Austria, Belgio, Germania, Irlanda, Italia, Lussemburgo, Portogallo, Slovenia, Spagna | Austria, Belgio, Repubblica Ceca, Irlanda, Lettonia, Lituania, Lussemburgo, Slovenia, Spagna |
| Gruppo 3 | Medium – low  | Bulgaria, Finlandia, Francia, Lettonia, Polonia, Slovacchia, Svezia                   | Croazia, Estonia, Finlandia, Francia, Polonia, Portogallo, Svezia                            |
| Gruppo 4 | low           | Croazia, Cipro, Estonia, Ungheria, Malta, Romania                                     | Bulgaria, Cipro, Ungheria, Malta, Romania  |

I valori di riferimento sono i seguenti:

- **2016:**  $\bar{MS}^{II} = 0.4642$ ,  $S^{II} = 0.1266$
- **2022:**  $\bar{MS}^{II} = 0.5642$ ,  $S^{II} = 0.1572$

Il confronto intertemporale evidenzia un miglioramento complessivo delle performance, come testimoniato dall'incremento della media  $\bar{MS}^{II}$  da 0.4642 a 0.5642. Al contempo, l'aumento della deviazione standard suggerisce una maggiore differenziazione tra i Paesi, pur in presenza di un progresso medio generalizzato.

Nel quadro delineato, la classificazione dei Paesi dell'Unione Europea per livello di sviluppo dell'economia circolare nel 2016 e nel 2022 mette in evidenza dinamiche in parte differenti rispetto a quelle osservate nell'Area Produzione e Consumo, riflettendo in misura maggiore il ruolo delle infrastrutture, della capacità amministrativa e dell'efficacia dei sistemi di gestione.

Nel 2016, il **Gruppo 1 (high)** comprendeva Paesi come Repubblica Ceca, Danimarca, Lituania e Paesi Bassi, caratterizzati da sistemi di gestione già relativamente avanzati e da una lunga tradizione di investimenti in infrastrutture ambientali. In particolare, la presenza dei Paesi Bassi e della Danimarca riflette modelli consolidati di pianificazione, elevati standard normativi e una forte integrazione tra politiche ambientali e industriali. I buoni risultati della Repubblica Ceca e della Lituania possono invece essere ricondotti a processi di recupero infrastrutturale, sostenuti in larga misura da fondi europei nel periodo successivo alla crisi finanziaria. Nel 2022, il **Gruppo 1** si amplia e include Germania, Italia e Slovacchia, oltre a Danimarca e Paesi Bassi. Questo cambiamento segnala un rafforzamento delle performance di alcune grandi economie industriali, che hanno beneficiato di investimenti significativi nel settore ambientale, anche nel quadro delle politiche legate al Green Deal europeo e ai Piani Nazionali di Ripresa e Resilienza. In particolare, il miglioramento di Germania e Italia suggerisce una maggiore attenzione alle dimensioni operative dell'economia circolare, dove la presenza di apparati industriali complessi può trasformarsi in un vantaggio una volta attivati meccanismi di scala e di coordinamento istituzionale.

Il **Gruppo 2 (medium – high)** rimane ampio e relativamente stabile in entrambi gli anni, includendo prevalentemente Paesi dell'Europa occidentale con buone capacità istituzionali ma performance non uniformi tra i diversi indicatori dell'Area Tematica II. Nel 2022, l'ingresso di Paesi come Lettonia e Lituania, accanto a economie mature, indica un progressivo allineamento agli standard europei, pur in presenza di differenze persistenti nella qualità e nell'efficienza dei sistemi di gestione.

Il **Gruppo 3 (medium – low)** comprende nel 2016 Paesi sia dell'Europa settentrionale sia orientale, come Finlandia, Svezia e Polonia, suggerendo che livelli elevati di sviluppo economico non garantiscono automaticamente buone performance nell'Area Tematica II. Nel 2022, la composizione del gruppo si modifica, includendo Croazia ed Estonia, mentre alcuni Paesi nordici rimangono in una posizione intermedia. Ciò evidenzia come, in assenza di investimenti continui e di un aggiornamento delle infrastrutture, anche sistemi tradizionalmente avanzati possano mostrare performance relativamente inferiori rispetto alla media europea.

Infine, il **Gruppo 4 (low)** resta composto prevalentemente da Paesi dell'Europa meridionale e orientale, come Bulgaria, Romania, Ungheria, Malta e Cipro, che presentano criticità strutturali legate a limitate risorse finanziarie, capacità amministrativa ridotta e ritardi nello sviluppo delle infrastrutture necessarie al pieno funzionamento dei sistemi circolari. La persistenza di questi Paesi nel gruppo più basso nel periodo 2016 – 2022 suggerisce come, nell'Area Tematica II, i miglioramenti richiedano interventi di lungo periodo, difficilmente realizzabili senza un forte supporto istituzionale e finanziario a livello europeo.

Nel complesso, la classificazione mette in evidenza dinamiche in parte differenti rispetto a quelle osservate nell'Area Produzione e Consumo, riflettendo in misura maggiore il ruolo delle infrastrutture, della capacità amministrativa e dell'efficacia dei sistemi di gestione. Ciò spiega

perché alcuni Paesi mostrino traiettorie di miglioramento più lente ma strutturalmente più stabili nel tempo.



### 4.7.3 Classificazione dei Paesi UE secondo il livello di sviluppo nell'Area Tematica III (Materiali secondari)

In continuità con l'impostazione adottata nelle sezioni precedenti e con Fura et al. (2020), la misura sintetica parziale  $MS_i^{III}$  relativa all'Area Tematica III (Materiali secondari), è stata ottenuta attraverso la normalizzazione annuale degli indicatori X12 – X16, tutti di natura stimolante, mediante il metodo della *zero-unitarization*, seguita dall'aggregazione tramite media aritmetica. L'area considera il tasso di utilizzo circolare dei materiali (X12) e i flussi commerciali intra- ed extra-UE di materie prime riciclabili (X13 – X16). In questo caso, valori elevati di  $MS_i^{III}$  indicano una maggiore reintegrazione di materiali secondari nei processi produttivi e un commercio più efficiente. I risultati sono stati riportati nella Tabella 4.7.

**Tabella 4.7:** Classificazione dei Paesi UE per livello di sviluppo dell'economia circolare nell'Area Tematica III (Materiali secondari) negli anni 2016 e 2022 (metodo media  $\pm$  deviazione standard)

| Gruppo   | Livello CE    | Classificazione Paesi UE (III. Materiali Secondari)   |  |
|----------|---------------|---|--|
|          |               | 2016  | 2022   |
| Gruppo 1 | high          | Belgio, Slovenia, Lussemburgo, Paesi Bassi  | Belgio, Slovenia, Paesi Bassi  |
| Gruppo 2 | Medium – high | Danimarca, Estonia, Francia, Irlanda  | Danimarca, Estonia, Francia, Irlanda, Lettonia, Lituania, Lussemburgo  |
| Gruppo 3 | Medium – low  | Austria, Bulgaria, Croazia, Cipro, Repubblica Ceca, Finlandia, Germania, Ungheria, Italia, Lettonia, Lituania, Malta, Polonia, Portogallo, Slovacchia, Spagna, Svezia | Austria, Bulgaria, Croazia, Cipro, Repubblica Ceca, Finlandia, Francia, Germania, Ungheria, Italia, Malta, Polonia, Slovacchia, Spagna, Svezia |
| Gruppo 4 | low           | Romania   | Portogallo, Romaniaa   |

I valori di riferimento sono:

- 2016:  $\bar{MS}^{III} = 0.2123, S^{III} = 0.1596$
- 2022:  $\bar{MS}^{III} = 0.2575, S^{III} = 0.1479$

Il confronto intertemporale mostra un incremento della media della misura sintetica, passando da 0.2123 a 0.2575, segnale di un generale miglioramento nell'utilizzo di materiali secondari e nella gestione dei flussi commerciali di materie riciclabili. Contestualmente, la diminuzione della deviazione standard indica una riduzione della variabilità tra Paesi, suggerendo una progressiva uniformità nelle performance relative alla circolarità dei materiali.

A conferma di ciò, dalla Tabella 4.7 si può osservare marcata persistenza delle posizioni relative, suggerendo come le dimensioni considerate in quest'area siano caratterizzate da elevata inerzia strutturale e da dinamiche di aggiustamento di lungo periodo.

Nel 2016, il **Gruppo 1 (high)** comprendeva Belgio, Lussemburgo, Paesi Bassi e Slovenia, Paesi accomunati da un'elevata integrazione nei mercati europei, da un forte ruolo della logistica e da sistemi avanzati di scambio e utilizzo di materie prime secondarie. La presenza di economie di piccola o media dimensione ma altamente aperte riflette l'importanza della specializzazione produttiva, della capacità di coordinamento istituzionale e dell'integrazione transfrontaliera nel determinare buone performance negli indicatori dell'Area Tematica III. Nel 2022, il **Gruppo 1** si riduce, includendo Belgio, Paesi Bassi e Slovenia, mentre il Lussemburgo scende nel gruppo *medium – high*. Questo cambiamento suggerisce una maggiore convergenza verso la media europea, piuttosto che un peggioramento assoluto delle performance. In un contesto di rafforzamento generale delle politiche circolari a livello UE, i Paesi inizialmente leader tendono infatti a perdere parte del vantaggio relativo, coerentemente con una distribuzione degli indicatori più omogenea.

Il **Gruppo 2 (medium – high)** mostra un rafforzamento nel 2022, includendo, oltre a Danimarca, Estonia e Irlanda, anche Lettonia, Lituania e Lussemburgo. L'ingresso di Paesi baltici evidenzia un progressivo allineamento ai meccanismi di mercato dell'economia circolare, favorito da investimenti in innovazione, digitalizzazione e infrastrutture logistiche, spesso sostenuti da fondi europei. Il posizionamento del Lussemburgo in questo gruppo riflette invece la sua forte integrazione finanziaria e commerciale, che continua a supportare buone performance, seppur con scostamenti meno marcati rispetto alla media.

Il **Gruppo 3 (medium – low)** rimane il più numeroso in entrambi gli anni, includendo molte delle principali economie europee, tra cui Germania, Italia, Spagna e Svezia. Questa ampia concentrazione suggerisce che, nell'Area Tematica III, la dimensione economica e la complessità dei sistemi produttivi possono tradursi in una minore flessibilità nell'integrare rapidamente meccanismi avanzati di chiusura dei cicli e di scambio di materie seconde. Inoltre, la presenza persistente di molti Paesi in questo gruppo indica che il progresso in quest'area richiede elevati livelli di coordinamento tra politiche industriali, commerciali e dell'innovazione, spesso difficili da raggiungere nel breve periodo.

Infine, il **Gruppo 4 (low)** evidenzia le maggiori criticità strutturali. Nel 2016, la Romania risultava l'unico Paese in questa categoria, mentre nel 2022 vi si aggiunge il Portogallo. Per la Romania, il posizionamento persistente nel gruppo più basso riflette limiti nella capacità di integrazione dei mercati delle materie seconde e nella diffusione dell'innovazione circolare. Il caso del Portogallo suggerisce invece che, in presenza di economie fortemente orientate a settori tradizionali e a basso contenuto tecnologico, i miglioramenti osservati in altre aree dell'economia circolare possono non tradursi automaticamente in progressi nelle dimensioni più avanzate e di sistema.

Nel complesso, la classificazione conferma che l'Area Tematica III rappresenta una delle dimensioni più complesse della transizione circolare. I risultati dipendono meno da interventi settoriali isolati e più dalla capacità dei Paesi di costruire ecosistemi economici integrati, in cui innovazione, mercato e istituzioni operano in modo coerente nel lungo periodo.

#### 4.7.4 Classificazione dei Paesi UE secondo il livello di sviluppo nell'Area Tematica IV (Competitività e innovazione)

In coerenza con le analisi precedenti e con Fura et al. (2020), la misura sintetica parziale  $MS_i^{IV}$  per l'Area Tematica IV (Competitività e innovazione) coincide con la normalizzazione annuale dell'unico indicatore stimolante X17 (brevetti relativi al riciclo e alle materie prime secondarie per milione di abitanti), effettuata mediante il metodo *zero-unitarization*. Valori elevati di  $MS_i^{IV}$  indicano una maggiore capacità innovativa nel settore dell'economia circolare. I risultati ottenuti sono stati riportati nella tabella 4.8.

**Tabella 4.8:** Classificazione dei Paesi UE per livello di sviluppo dell'economia circolare nell'Area Tematica IV (Competitività e innovazione) negli anni 2016 e 2022 (metodo media  $\pm$  deviazione standard)

| Gruppo   | Livello CE    | Classificazione Paesi UE (IV. Competitività e Innovazione)   |   |
|----------|---------------|--|---|
|          |               | 2016   | 2022  |
| Gruppo 1 | high          | Finlandia, Lussemburgo   | Finlandia, Lussemburgo  |
| Gruppo 2 | Medium – high | Austria, Belgio, Danimarca, Germania, Irlanda, Paesi Bassi, Svezia   | Austria, Belgio, Repubblica Ceca, Paesi Bassi, Svezia   |
| Gruppo 3 | Medium – low  | Bulgaria, Croazia, Cipro, Repubblica Ceca, Estonia, Francia, Ungheria, Italia, Lettonia, Lituania, Malta, Polonia, Portogallo, Romaniaa Slovacchia, Slovenia, Spagna, Svezia | Bulgaria, Croazia, Cipro, Danimarca, Estonia, Francia, Germania, Ungheria, Irlanda, Italia, Lettonia, Lituania, Malta, Polonia, Portogallo, Romaniaa Slovacchia, Slovenia, Spagna |
| Gruppo 4 | low           | -  | -   |

Valori di riferimento:

- 2016:  $\bar{MS}^{IV} = 0.1713$ ,  $S^{IV} = 0.2419$
- 2022:  $\bar{MS}^{IV} = 0.1985$ ,  $S^{IV} = 0.2362$

Il confronto tra i due anni evidenzia un incremento della media della misura sintetica, da 0.1713 a 0.1985, indicativo di un miglioramento complessivo nell'area considerata. La deviazione standard si riduce solo marginalmente (da 0.2419 a 0.2362), suggerendo una lieve attenuazione delle differenze tra Paesi, ma una persistente eterogeneità nelle performance.

Dalla Tabella emerge una forte divergenza delle performance e una stabile permanenza dei Paesi nelle posizioni di vertice, suggerendo che i fattori considerati in quest'area siano caratterizzati da dinamiche di lungo periodo e risultano fortemente condizionati dal contesto istituzionale e socio-economico.

Nel 2016, il **Gruppo 1 (high)** includeva esclusivamente Finlandia e Lussemburgo, una configurazione che rimane invariata anche nel 2022. La persistente collocazione di questi Paesi ai livelli più elevati riflette l'esistenza di sistemi consolidati di investimento in ricerca e sviluppo, elevata qualità del capitale umano e forte integrazione tra politiche ambientali, industriali e dell'innovazione. In entrambi i casi, la stabilità politica e la capacità amministrativa hanno svolto un ruolo chiave nel sostenere strategie coerenti e di lungo periodo a supporto dell'economia circolare.

Il **Gruppo 2 (medium – high)** mostra invece una composizione più dinamica. Nel 2016 includeva prevalentemente Paesi dell'Europa occidentale con buone capacità istituzionali, come Austria, Belgio, Germania e Paesi Bassi. Nel 2022, il gruppo si riconfigura, includendo Repubblica Ceca, Romania e Svezia, a fronte dell'uscita di alcune economie mature. Questo cambiamento suggerisce un parziale processo di convergenza istituzionale, in cui alcuni Paesi dell'Europa centro-orientale migliorano il proprio posizionamento grazie al rafforzamento dei sistemi di governance e all'utilizzo più efficace dei fondi europei, mentre altri Paesi si collocano più vicino alla media europea.

Il **Gruppo 3 (medium – low)** resta il più numeroso in entrambi gli anni, comprendendo la maggior parte dei Paesi UE. Questa ampia concentrazione evidenzia come, nell'Area Tematica IV, i progressi siano spesso lenti e disomogenei, riflettendo differenze significative nella capacità di tradurre gli impegni strategici in strumenti operativi. La presenza persistente di grandi economie come Francia, Italia, Germania e Spagna in questo gruppo suggerisce che la dimensione del sistema economico e la complessità istituzionale possono rallentare l'effettiva implementazione di politiche di supporto all'economia circolare, nonostante livelli elevati di sviluppo economico.

È significativo osservare che nessun Paese risulta collocato nel **Gruppo 4 (low)**. Tale evidenza suggerisce l'assenza di situazioni estremamente critiche nell'ambito della competitività e dell'innovazione legate all'economia circolare, indicando che tutti gli Stati membri presentano almeno un livello minimo di capacità innovativa e delle politiche di sostegno alla circular economy all'interno dell'Unione Europea.

Nel complesso, la classificazione conferma che l'Area Tematica IV rappresenta una dimensione strategica della transizione circolare, nella quale i risultati dipendono meno da interventi settoriali e più dalla qualità delle istituzioni, dalla continuità delle politiche pubbliche e dalla capacità di investire in conoscenza e innovazione nel lungo periodo. La stabilità osservata ai livelli più alti e la lenta mobilità tra gruppi suggeriscono che i divari in quest'area tendono a persistere nel tempo, contribuendo a spiegare le differenze di performance osservate anche nelle altre aree tematiche.

## 4.8 Discussioni Finali

L'analisi comparata delle quattro Aree Tematiche dell'economia circolare per gli anni 2016 e 2022 mette in luce come i livelli di sviluppo dei Paesi dell'Unione Europea riflettano una combinazione complessa di fattori economici, istituzionali e sociali, piuttosto che un percorso lineare e uniforme di transizione. In particolare, l'attenzione è stata posta sulla verifica dell'esistenza di progressi complessivi nel tempo e sulla persistenza di disomogeneità strutturali tra i Paesi UE.

Considerate congiuntamente, le quattro Aree Tematiche mostrano come livelli elevati di performance in una singola dimensione non garantiscano automaticamente risultati analoghi nelle altre. Alcuni Paesi presentano buone performance nelle aree più operative, ma mostrano limiti nei fattori abilitanti; altri, al contrario, dispongono di solide strutture istituzionali e di governo che non si traducono immediatamente in risultati tangibili in termini di produzione e consumo circolari. I limiti riguardano principalmente l'Area Tematica IV ("Competitività e innovazione"), che comprende indicatori relativi agli investimenti privati in tecnologie circolari, all'occupazione nel settore, al valore aggiunto generato e, soprattutto, al numero di brevetti relativi al riciclo e alle materie prime secondarie (X17). Tali fattori sono definiti "abilitanti" in quanto rappresentano le condizioni necessarie per chiudere il ciclo circolare in modo efficace e sostenibile nel lungo periodo: l'innovazione tecnologica e la competitività economica costituiscono, infatti, i motori del progresso nelle soluzioni ingegneristiche e di processo che consentono di ridurre l'intensità di generazione dei rifiuti (Area I), ottimizzare la gestione e il recupero dei rifiuti (Area II) e massimizzare l'uso di materiali secondari (Area III). Un Paese può pertanto esibire performance elevate nelle aree più operative – ad esempio alti tassi di riciclaggio o elevato utilizzo di materiali circolari – senza disporre di un robusto apparato innovativo, con il rischio che tali risultati restino fragili. Viceversa, un solido assetto di fattori abilitanti (come elevati livelli di brevetti e investimenti in R&S circolare) può non tradursi immediatamente in miglioramenti tangibili nelle aree a monte del ciclo, a causa di inerzie strutturali, ritardi nell'adozione tecnologica o vincoli istituzionali.

In particolare, i risultati dell'analisi empirica confermano, in primo luogo, l'ipotesi di un miglioramento complessivo, seppur non uniforme, del livello di sviluppo dell'economia circolare nel periodo considerato. L'evoluzione delle classificazioni basate sul metodo  $\text{media} \pm \text{deviazione standard}$  evidenzia, infatti, una mobilità non trascurabile dei Paesi tra i gruppi di performance nelle quattro Aree Tematiche analizzate, indicando che numerosi Stati membri hanno migliorato il proprio posizionamento relativo rispetto alla media europea. Tuttavia, tale progresso appare generalmente graduale e differenziato, suggerendo che la transizione verso modelli circolari avvenga con intensità variabile a seconda del contesto nazionale e della dimensione analizzata.

In secondo luogo, l'analisi conferma l'ipotesi relativa alla presenza di disparità persistenti nel livello di sviluppo dell'economia circolare tra i Paesi UE. L'applicazione del metodo di

classificazione ha permesso di evidenziare come, nonostante alcuni segnali di convergenza in specifiche aree – in particolare nell’Area Tematica II – permangano differenze significative tra Paesi leader e Paesi in ritardo: i sistemi economici «vecchi» mostrano una maggiore maturità nelle fasi a valle del ciclo circolare (gestione rifiuti, materiali secondari e innovazione), mentre i Paesi «nuovi» eccellono nelle fasi a monte (ridotta generazione di rifiuti). Tale diversità mostra la necessità di politiche mirate per una convergenza effettiva. Inoltre, in alcune dimensioni, come l’Area Tematica III e l’Area Tematica IV, le posizioni relative risultano caratterizzate da una forte stabilità nel tempo, a testimonianza dell’elevata inerzia strutturale dei fattori sottostanti, quali l’integrazione dei mercati, la capacità innovativa e la qualità delle istituzioni. In questo senso, gli spostamenti tra i gruppi osservati tra il 2016 e il 2022 riflettono processi di convergenza e divergenza relativi, spesso influenzati da shock esterni – come la pandemia di COVID-19 – e dall’introduzione di nuove linee strategiche a livello europeo, in particolare con il Green Deal e i Piani Nazionali di Ripresa e Resilienza.

Un ulteriore risultato rilevante riguarda la diversa dinamica di avanzamento tra gruppi di Paesi. L’analisi mostra come alcuni Stati membri abbiano registrato miglioramenti più marcati nel periodo 2016–2022, spesso partendo da livelli iniziali relativamente più bassi, mentre i Paesi con performance già elevate tendono a mostrare progressi più contenuti. Tale evidenza è coerente con l’ipotesi secondo cui il miglioramento dei livelli di economia circolare diventa progressivamente più complesso man mano che si raggiungono stadi avanzati di sviluppo, richiedendo investimenti crescenti e interventi strategici sempre più sofisticati.

Nel complesso, i risultati suggeriscono che, sebbene la maggioranza dei Paesi dell’Unione Europea abbia migliorato il proprio livello di sviluppo dell’economia circolare nel periodo analizzato, la riduzione delle disparità tra Stati membri non può considerarsi completa. In alcune aree si osservano segnali di convergenza, mentre in altre persistono, o addirittura si accentuano, differenze strutturali. Ciò conferma l’importanza di politiche europee mirate non solo a promuovere il progresso medio, ma anche a ridurre gli squilibri interni, al fine di garantire una transizione circolare equilibrata e coerente con i principi di coesione economica e sociale dell’Unione Europea.

Le strategie più efficaci per fare ciò sono risultate essere quelle in grado di integrare interventi di breve periodo, orientati al miglioramento delle performance operative, con strategie di lungo periodo volte a rafforzare i fattori abilitanti, quali la solidità istituzionale, l’innovazione e il capitale umano. In assenza di questo coordinamento, il rischio è quello di generare progressi parziali, limitati a specifiche dimensioni dell’economia circolare, senza un reale avanzamento sistemico.

Il capitolo successivo sintetizzerà le conclusioni generali del lavoro, discutendo implicazioni politiche, limiti metodologici dello studio e prospettive per ricerche future, al fine di contribuire al dibattito accademico e istituzionale sull’economia circolare nell’Unione Europea.

## CAPITOLO 5 – CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

Il Capitolo 5 della presente tesi magistrale è interamente dedicato alla discussione critica, all'interpretazione integrata e alla contestualizzazione dei risultati emersi dalle analisi empiriche condotte nei capitoli precedenti. Dopo l'esplorazione descrittiva degli indicatori nel Capitolo 3 e la presentazione dettagliata dei punteggi dell'indice sintetico composito nonché della classificazione cluster nel Capitolo 4, questa sezione offre una lettura complessiva e multidimensionale dei principali risultati relativi al livello di sviluppo dell'economia circolare nei 25 Paesi membri dell'Unione Europea nel periodo 2016 – 2022.

In particolare, vengono analizzate in profondità le dinamiche di convergenza e divergenza registrate, il posizionamento relativo dei Paesi all'interno dei gruppi omogenei identificati mediante le tecniche di *clusterizzazione*, e il contributo specifico delle diverse dimensioni della circolarità – gestione dei rifiuti, utilizzo di materiali secondari e capacità innovativa – nel determinare i profili nazionali di performance. I risultati vengono sistematicamente confrontati con le evidenze dello studio di riferimento “*Statistical Evaluation of the Level of Development of Circular Economy in European Union Member Countries*” di Fura et al. (2020), nonché con la più ampia letteratura scientifica sul tema, al fine di valutarne la coerenza metodologica, l'originalità e le eventuali evoluzioni intervenute nell'arco temporale considerato, in un contesto segnato dal Green Deal europeo, dal nuovo *Circular Economy Action Plan* e dagli shock esogeni della pandemia e della crisi energetica.

Una parte rilevante del capitolo è riservata alla riflessione sulle domande di ricerca formulate all'inizio del lavoro: si verifica in che misura i dati empirici confermano o smentiscono le ipotesi iniziali, si valutano le traiettorie di convergenza/divergenza osservate e si discute il grado di raggiungimento degli obiettivi generali e specifici della tesi. Vengono quindi esplicitate le implicazioni di policy a livello europeo e nazionale, con proposte operative volte a ridurre le persistenti disparità territoriali, ad accelerare la transizione circolare nei Paesi meno avanzati e a rafforzare la resilienza complessiva del sistema produttivo dell'Unione attraverso strumenti di finanziamento mirati, armonizzazione normativa e trasferimento di buone pratiche.

Infine, particolare attenzione è rivolta all'esplicitazione dei limiti della presente ricerca – tra cui le scelte di normalizzazione, il trattamento dei valori mancanti mediante MICE – PMM, la sensibilità della *clusterizzazione* e la disponibilità limitata di indicatori per alcuni anni – nonché ai possibili miglioramenti metodologici che potrebbero essere adottati in analisi future (ad esempio l'introduzione di pesi oggettivi derivati da PCA, l'estensione del panel temporale o l'impiego di modelli panel dinamici). Vengono altresì delineate le prospettive di ricerca futura, suggerendo possibili ampliamenti del set di indicatori, l'integrazione di variabili socio-economiche e ambientali aggiuntive o l'applicazione di tecniche di machine learning per la predizione delle traiettorie di convergenza, contribuendo così al dibattito scientifico e istituzionale sulla misurazione, sul monitoraggio e sulla promozione della transizione circolare nell'ambito dell'Unione Europea.



## 5.1 Verifica delle Domande di Ricerca

Il presente lavoro di tesi, ispirato alla metodologia proposta da Fura et al. (2020), ha consentito una valutazione multivariata del livello di sviluppo dell'economia circolare nei Paesi membri dell'Unione Europea nel periodo 2016 – 2022. L'analisi, condotta attraverso la costruzione di misure sintetiche parziali per le quattro aree tematiche individuate da Eurostat (Produzione e Consumo, Gestione dei rifiuti, Materiali secondari, Competitività e Innovazione) e della misura sintetica generale ( $MS_i^G$ ), ha evidenziato un quadro di progresso moderato ma eterogeneo, con implicazioni significative per la comprensione delle traiettorie nazionali verso la sostenibilità circolare (European Commission, 2023). I risultati principali possono essere sintetizzati come segue.

In particolare, le ipotesi di ricerca formulate nel presente lavoro riguardavano la valutazione del progresso complessivo dei Paesi membri dell'Unione Europea in materia di economia circolare (CE), nonché la distinzione tra Paesi di più antica adesione («vecchi» Stati membri, aderenti prima del 2004) e Paesi di più recente allargamento («nuovi» Stati membri). I valori della misura sintetica generale ( $MS_i^G$ ) e delle misure sintetiche parziali ( $MS_i^A$ ) calcolati per gli anni estremi del panel (2016 e 2022), hanno costituito il criterio per il ranking dei Paesi e per la valutazione della similarità delle classificazioni nei due periodi considerati.

I risultati dell'analisi hanno confermato la prima domanda di ricerca (**D1**), secondo cui nel periodo 2016 – 2022 si è osservato un miglioramento complessivo del livello medio di avanzamento dell'economia circolare nei 26 Paesi UE considerati. Tale progresso si è tradotto in un incremento del valore medio della  $MS_i^G$  (da 0.397 nel 2016 a 0.424 nel 2022, con una variazione positiva del + 6,9%). I ranking confermano un miglioramento della posizione di alcuni Paesi (Tabella 4.2). I progressi più significativi sono stati registrati da Lettonia, Repubblica Ceca, Slovacchia e Slovenia, con variazioni di ranking rispettivamente di +8, +4, +6 e +2 posizioni. I maggiori arretramenti hanno interessato Austria (-5 posizioni), Paesi Bassi (-1) e Lussemburgo (posizione stabile ma con lieve riduzione della  $MS_i^G$ ). Possiamo quindi concludere che la mobilità osservata nelle classificazioni per Aree Tematiche e il miglioramento del posizionamento relativo di numerosi Paesi indicano che la transizione circolare è in atto a livello europeo, sebbene con intensità differenziata e tempi di realizzazione non omogenei. Per l'intera UE, il livellamento delle disparità e delle differenze tra Stati membri riveste un'importanza cruciale non solo per i singoli Paesi, ma per l'intera comunità europea, in quanto contribuisce alla coesione e alla resilienza collettiva (European Commission, 2022).

Anche la seconda domanda (**D2**), relativa alle disparità nel livello di sviluppo dell'economia circolare tra gli Stati membri, risulta confermata. Infatti, l'analisi basata sul metodo  $media \pm$  deviazione standard applicata alle misure parziali della  $MS_i^G$ , mette in luce la persistenza di divari significativi tra Paesi leader e Paesi in ritardo, in particolare nelle Aree Tematiche più strutturali e abilitanti, come quelle legate all'innovazione, agli assetti istituzionali e all'integrazione dei mercati. La differenza tra i valori di dispersione (deviazione standard  $S_r =$

0.096 nel 2016 e  $S_s = 0.094$  nel 2022) è risultata pari a  $-0.002$ , indicando una lieve riduzione della diversificazione tra i Paesi UE. Tali risultati, però, suggeriscono che il semplice avanzamento medio non è sufficiente a garantire una convergenza reale tra gli Stati membri, evidenziando la necessità di politiche differenziate e mirate.

L'applicazione degli stessi indicatori parziali ( $MS_i^A$ ) distinti per “vecchi” e “nuovi” Stati membri ha costituito la base per la verifica della terza domanda (**D3**) che riguarda il progresso differenziato dei due gruppi in materia di CE. I risultati ottenuti sono i seguenti.

#### “Vecchi” Stati membri

|                         |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Media MSG:              | $p_{.r} = 0.422$ (2016) | $p_{.s} = 0.430$ (2022) |
| Deviazione standard:    | $S_{.r} = 0.102$        | $S_{.s} = 0.098$        |
| Variazione media:       | +0.008                  |                         |
| Variazione dispersione: | -0.004                  |                         |

#### “Nuovi” Stati membri

|                         |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Media MSG:              | $p_{.r} = 0.343$ (2016) | $p_{.s} = 0.404$ (2022) |
| Deviazione standard:    | $S_{.r} = 0.062$        | $S_{.s} = 0.071$        |
| Variazione media:       | +0.061                  |                         |
| Variazione dispersione: | -0.009                  |                         |

I risultati suggeriscono cambiamenti significativi nella  $MS_i^G$  tra il 2016 e il 2022 per entrambi i gruppi. Nei “vecchi” Stati membri si è registrato un lieve aumento della media della  $MS_i^G$  (da 0.422 a 0.430), accompagnato da una riduzione della diversificazione (da 0.102 a 0.098). Nei “nuovi” Stati membri, invece, si è osservato un incremento più marcato di tale media (da 0.343 a 0.404), ma con un simultaneo aumento della diversificazione (da 0.062 a 0.071). In entrambi i casi, si nota un'alta coerenza direzionale nelle variazioni della  $MS_i^G$ , indicando che la maggioranza dei Paesi – sia “vecchi” sia “nuovi” – ha migliorato il proprio livello di economia circolare (European Environment Agency, 2023). La scala di crescita media è stata tuttavia sensibilmente maggiore nei «nuovi» Stati membri rispetto ai «vecchi», probabilmente a causa del diverso livello iniziale di partenza, più basso nei primi e quindi più suscettibile di progressi dinamici. Inoltre, nei “vecchi” Stati membri si è osservata una riduzione della differenziazione nello sviluppo della CE, suggerendo una maggiore omogeneità tra Paesi già avanzati. Nei «nuovi» Stati membri, al contrario, le disproporzioni sono aumentate, come confermato non solo dal valore dell'indicatore parziale ma anche dai significativi spostamenti nelle posizioni di ranking dei Paesi selezionati (ad esempio, Lettonia e Slovacchia tra i maggiori progressi). Tale evidenza sottolinea un processo di convergenza dei “nuovi” Stati membri, ma con traiettorie eterogenee che amplificano le disparità interne al gruppo (Milios et al., 2022). Si può quindi concludere che i Paesi che partivano da livelli iniziali più contenuti mostrano, in diversi casi, miglioramenti più marcati nel periodo considerato, mentre le economie già avanzate tendono a registrare progressi più gradualmente. Questo andamento conferma che la transizione verso l'economia circolare presenta rendimenti decrescenti al crescere del livello di sviluppo,

richiedendo investimenti crescenti e un maggiore coordinamento istituzionale nelle fasi più mature del processo.

Nel complesso, la verifica delle ipotesi di ricerca rafforza le conclusioni generali della tesi, secondo cui l'economia circolare in Europa non può essere interpretata come un percorso uniforme, ma come un processo articolato e multidimensionale, fortemente dipendente dal contesto nazionale (Fura et al., 2020). I risultati evidenziano l'importanza di affiancare alle politiche orientate al miglioramento delle performance medie delle strategie esplicitamente volte a ridurre le disparità strutturali tra Paesi, promuovendo una transizione circolare coerente con gli obiettivi di sostenibilità e coesione dell'Unione Europea (European Commission, 2022).

Infine, il presente lavoro evidenzia come l'approccio statistico adottato – in linea con i principi metodologici dell'articolo di riferimento – consente di fornire una valutazione comparabile, sistematica e multivariata del livello di sviluppo dell'economia circolare nei Paesi membri dell'Unione Europea. Tale strumento si rivela particolarmente utile per il monitoraggio dell'efficacia delle politiche pubbliche e per il supporto ai processi decisionali a livello nazionale e internazionale.

L'ambito della ricerca, però, è circoscritto geograficamente ai 25 Paesi dell'Unione Europea e si focalizza solo sugli aspetti economici e ambientali della circolarità. Gli aspetti sociali e comportamentali, pur riconosciuti come rilevanti, vengono affrontati solo marginalmente, poiché non rientrano nell'obiettivo statistico del lavoro.



## 5.2 Limiti

Nonostante la tesi abbia permesso di delineare un quadro sufficientemente chiaro dell'evoluzione della *Circular Economy* (CE) nei paesi dell'Unione Europea dal 2016 al 2022, il lavoro presenta alcuni limiti metodologici che meritano attenzione.

Il primo limite riguarda la scelta e il numero limitato di indicatori adottati per misurare il livello di sviluppo dell'economia circolare. Sebbene si sia fatto ricorso alle variabili più consolidate e armonizzate da Eurostat, la selezione del set rimane necessariamente circoscritta alle informazioni disponibili nei database pubblici. Ne restano escluse, però, dimensioni di crescente rilevanza nel corso degli anni quali l'innovazione tecnologica specificamente circolare, l'efficienza energetica dei processi produttivi, gli investimenti in ricerca e sviluppo, gli indici di qualità istituzionale o la gestione dei rifiuti elettronici (Fura et al., 2020; European Environment Agency, 2023). Tale restrizione ha inevitabilmente ridotto la capacità di cogliere appieno la complessità e le specificità nazionali del fenomeno, nonché di spiegare in modo più approfondito le ragioni delle differenze osservate tra Stati membri. A questo si aggiunge il problema della comparabilità temporale e *cross-country* di alcuni indicatori, derivante da differenze metodologiche nei processi di rilevazione e armonizzazione dei dati tra Stati membri, che possono aver introdotto distorsioni nei trend intertemporali.

Un altro limite emerge dalla metodologia di costruzione dell'indice sintetico composito. La procedura di normalizzazione *zero-unitarization* e di aggregazione semplice, pur essendo fedele all'approccio di Fura et al. (2020) e quindi un approccio consolidato nella letteratura, implica scelte inevitabilmente soggettive sia nella ponderazione delle aree tematiche sia nella tecnica di normalizzazione (OECD/European Commission, Joint Research Centre, 2008). Nel presente studio non sono state condotte analisi di sensibilità estese né sono stati esplorati metodi alternativi di *clusterizzazione* (ad esempio PCA, ponderazioni basate sull'entropia o metodi di ottimizzazione multicriterio), né è stata verificata sistematicamente robustezza della classificazione sotto diversi scenari di ponderazione delle aree tematiche (OECD/European Commission, Joint Research Centre, 2008). Inoltre, l'analisi si è concentrata sul posizionamento relativo e sulla classificazione dei Paesi, senza approfondire le dinamiche interne a ciascun Stato membro, quali politiche nazionali specifiche, meccanismi di incentivazione fiscale o investimenti pubblici e privati in economia circolare, né ha previsto modelli di regressione multivariata o analisi longitudinali più granulari in grado di identificare i fattori causali dei progressi o delle stagnazioni osservate. Infine, il lavoro non ha integrato esplicitamente le interazioni tra economia circolare e altre dimensioni della sostenibilità, quali la decarbonizzazione, le emissioni di gas serra, la gestione delle risorse naturali e la preservazione della biodiversità, aspetti che rappresenterebbero un'evoluzione naturale e auspicabile di questa linea di ricerca (European Commission, 2022). Di conseguenza, i risultati riflettono in parte le assunzioni metodologiche adottate.

Ulteriori limiti derivano dalla natura puramente quantitativa e aggregata dell'analisi. Infatti, l'attenzione di questo lavoro si è concentrata puramente sul posizionamento relativo e sulle dinamiche di convergenza tra Paesi, senza approfondire le specificità nazionali – politiche di incentivazione, meccanismi fiscali, investimenti pubblici e privati o contesti istituzionali – che pure influenzano in misura determinante i percorsi di transizione (European Environment Agency, 2023). Analogamente, non sono state esplorate le interazioni tra economia circolare e altre dimensioni della sostenibilità, quali decarbonizzazione, emissioni di gas serra e preservazione della biodiversità, né sono stati impiegati modelli di regressione o approcci causali in grado di distinguere correlazioni da nessi causali. Senza questa integrazione, l'analisi tende a restituire un quadro prevalentemente descrittivo delle dinamiche osservate, senza consentire una piena distinzione tra relazioni di correlazione e nessi di causalità.

Infine, l'arco temporale considerato (2016 – 2022) è relativamente breve e coincide con eventi straordinari (pandemia di COVID-19, crisi energetica e guerra in Ucraina) e questo potrebbe non solo non rappresentare il reale andamento energetico ma potrebbe anche non catturare pienamente gli effetti di lungo periodo o le variazioni strutturali dovute agli shock esogeni (come crisi economiche o cambiamenti normativi europei). L'assenza di dati consolidati successivi al 2022 limita inoltre la possibilità di valutare l'impatto delle misure più recenti del *Green Deal* e del *Circular Economy Action Plan*. Non solo, ma l'estensione dello studio ad altri paesi non UE o a macroregioni europee specifiche e l'adozione di approcci più dinamici per monitorare le transizioni verso l'economia circolare permetterebbero sia di verificare la robustezza dei risultati ottenuti sia di fornire strumenti più mirati a supporto dei processi decisionale a livello politico e industriale al fine di valutare gli effetti del *Circular Economy Act* atteso per il 2026.

Pur con questi limiti, il presente lavoro intende porsi come base metodologica ed empirica solida per degli sviluppi futuri. Tra le direzioni più promettenti vi sono l'ampliamento del set di indicatori verso dimensioni emergenti, l'applicazione sistematica di analisi di sensibilità e di tecniche di ponderazione oggettiva, e l'integrazione di approcci misti che combinino dati quantitativi con analisi qualitative di policy, come raccomandato nella letteratura sulla costruzione di indici compositi (OECD/European Commission, Joint Research Centre, 2008). È auspicabile altresì l'impiego di modelli di regressione avanzati o tecniche di data mining per individuare relazioni causali tra fattori socio-economici e performance circolari.

Le prospettive future includono l'aggiornamento continuo del dataset, l'estensione geografica dello studio oltre i confini dell'Unione Europea, nonché analisi settoriali volte a comprendere il contributo specifico dei diversi comparti industriali alla transizione circolare. Tali sviluppi permetterebbero non solo di verificare la robustezza dei risultati ottenuti, ma anche di fornire strumenti più mirati a supporto delle decisioni di policy, in linea con gli obiettivi di sostenibilità e coesione dell'Unione Europea (European Commission, 2022).

### 5.3 Miglioramenti

Per arricchire e rafforzare ulteriormente i risultati della tesi e superare i limiti individuati, è possibile immaginare una serie di miglioramenti sia metodologici che applicativi. Dal punto di vista metodologico, è possibile ampliare il set di indicatori includendo misure relative all'innovazione tecnologica, all'efficienza energetica, alla gestione dei rifiuti elettronici, all'impronta ecologica dei materiali e alla circolarità settoriale. L'integrazione di questi indicatori consentirebbe di cogliere un quadro più completo della *Circular Economy*, distinguendo i paesi non solo per performance aggregate, ma anche per punti di forza e criticità specifiche dei singoli paesi e dei diversi settori produttivi (European Environment Agency, 2023).

Sul fronte dell'analisi quantitativa, l'adozione di approcci metodologici più sofisticati come il *machine learning*, l'analisi multivariata o modelli di regressione causale permetterebbero di individuare le relazioni più significative tra fattori socio-economici, politiche nazionali e risultati di *Circular Economy*, di ridurre la soggettività legata alla ponderazione degli indicatori che influenzano la classificazione dei paesi e aumentando la robustezza delle classificazioni (OECD/European Commission, Joint Research Centre, 2008).

Un ulteriore miglioramento riguarda l'integrazione di analisi qualitative e strategiche. L'inserimento di dati su politiche nazionali, incentivi fiscali, strumenti regolatori, investimenti pubblici e privati in CE, e caratteristiche istituzionali attraverso lo sviluppo di strumenti di monitoraggio interattive o di modelli predittivi settoriali, permetterebbe di comprendere meglio le cause alla base dei progressi o delle stagnazioni dei singoli paesi. Ciò consentirebbe di distinguere tra correlazioni osservate nei dati e relazioni causali effettive, fornendo una base più solida per identificare in tempo reale le aree critiche e i settori più promettenti per degli interventi mirati (European Commission, 2022).

Infine, si potrebbero introdurre analisi dinamiche e predittive più dettagliate: estendere lo studio a un arco temporale più lungo, aggiornando i dati anno per anno, permetterebbe di rilevare trend strutturali, misurare l'impatto di shock esogeni (crisi economiche, emergenze ambientali, nuove normative europee) e anticipare scenari futuri.

In sintesi, questi miglioramenti non solo consoliderebbero la solidità scientifica della ricerca, ma aprirebbero la strada a un approccio più integrato, dinamico e operativo, capace di fornire indicazioni concrete per la pianificazione di strategie di economia circolare a livello nazionale ed europeo, in linea con l'approccio multidimensionale proposto nello studio di riferimento (Fura et al., 2020).



## 5.4 Implicazioni Politiche

I risultati emersi dall'analisi empirica, che documentano un progresso medio nel livello di sviluppo dell'economia circolare tra il 2016 e il 2022 (+6,9% nella misura sintetica generale), accompagnati da una persistente eterogeneità tra Stati membri, assumono una rilevanza diretta per l'elaborazione e il raffinamento delle politiche pubbliche a livello europeo e internazionale. Il miglioramento osservato nella misura sintetica generale ( $MS_i^C$ ), in particolare nelle aree della gestione dei rifiuti (Area II) e dei materiali secondari (Area III), può essere ragionevolmente attribuito all'impatto del Pacchetto Economia Circolare del 2018 (Direttive UE 2018/851, 2018/852, 2018/849 e 2018/850) e del Nuovo Piano d'Azione per l'Economia Circolare (European Commission, 2020), che ha introdotto obiettivi vincolanti più ambiziosi in materia di riciclaggio, riduzione delle discariche e promozione del riutilizzo (European Commission, 2018). Tale evidenza suggerisce che meccanismi normativi vincolanti, supportati da un quadro di monitoraggio armonizzato (come il *Circular Economy Monitoring Framework* di Eurostat), rappresentano strumenti efficaci per stimolare il progresso sistemico, confermando l'utilità di strategie di regolazione *top-down* nell'indirizzare transizioni complesse verso la sostenibilità (Eurostat, 2024).

Tuttavia, la persistenza di divari tra Paesi di più antica adesione («vecchi» Stati membri), che dominano le posizioni di eccellenza, e Paesi dell'allargamento («nuovi» Stati membri), che registrano ritardi strutturali soprattutto nelle aree della produzione e consumo (Area I) e della competitività/innovazione (Area IV), sottolineano la necessità di politiche differenziate e mirate (European Environment Agency, 2023). In particolare, i «nuovi» Stati membri dell'Unione Europea – spesso caratterizzati da processi di convergenza in contesti specifici (ad esempio, nei Paesi baltici e dell'Europa centro-orientale) e che hanno mostrato una capacità di convergenza verso i livelli dei membri più consolidati, ma continuano a registrare dei ritardi significativi nell'innovazione brevettuale con performance inferiori nell'innovazione brevettuale – potrebbero trarre un beneficio concreto da un rafforzamento mirato dei fondi strutturali e di coesione, come il Fondo Europeo di Sviluppo Regionale e il *NextGenerationEU*. Un elemento chiave sarebbe l'introduzione di condizioni chiare e vincolanti legate al raggiungimento di obiettivi specifici dell'economia circolare (European Commission, 2022). In questo modo, le risorse potrebbero essere indirizzate con maggiore efficacia verso azioni prioritarie quali il trasferimento tecnologico, il potenziamento delle capacità amministrative e la messa a punto di incentivi fiscali per gli investimenti in ricerca e sviluppo nel settore circolare. Tutto ciò contribuirebbe a ridurre il divario innovativo ancora esistente e a favorire una convergenza più sostanziale e stabile tra i diversi Paesi dell'Unione.

A livello europeo, questi risultati suggeriscono l'opportunità di orientare ulteriormente il *Green Deal* Europeo (European Commission, 2019) verso una maggiore attenzione alla giustizia ambientale e territoriale, inserendo indicatori compositi – come quello elaborato nel presente lavoro – all'interno dei processi di valutazione dell'impatto regolatorio previsti dalla *Better Regulation Agenda* e nei rapporti periodici sullo stato di avanzamento della circolarità.

L'eterogeneità emersa nel corso del tempo, con progressi non omogenei tra i Paesi e qualche arretramento anche in economie più mature, mette inoltre in evidenza il rischio di un progressivo rallentamento nei contesti già avanzati. Per evitare questa saturazione diventa pertanto necessario mantenere una pressione politica costante, attraverso strumenti come l'obbligo di eco-design per i prodotti e appalti pubblici sempre più orientati alla sostenibilità, capaci di preservare la spinta trasformativa anche nelle fasi successive alla transizione iniziale verso la circolarità.

I risultati dell'analisi empirica che, come si è potuto vedere, documentano un progresso moderato nel livello di sviluppo dell'economia circolare tra il 2016 e il 2022 con un aumento della misura sintetica generale (MSG) del +6,9%, assumono una rilevanza diretta per il quadro politico dell'Unione Europea, in particolare nel contesto del *Green Deal* Europeo (2019) e del Nuovo Piano d'Azione per l'Economia Circolare (CEAP, 2020). Tali evidenze confermano l'impatto positivo delle misure introdotte dal CEAP – quali obiettivi vincolanti per il riciclaggio, la riduzione delle discariche e la promozione del design ecocompatibile – soprattutto nelle aree della gestione dei rifiuti e dei materiali secondari, dove si registrano i miglioramenti più marcati. A febbraio 2026, il tasso di utilizzo circolare dei materiali (*Circular Material Use Rate*, CMUR) si attesta intorno al 12% (Eurostat, 2025), con un incremento ancora lento rispetto al decennio precedente. Ciò evidenzia la necessità di accelerare il percorso per raggiungere l'obiettivo del *Clean Industrial Deal* di raddoppiare tale tasso al 24% entro il 2030, mantenendo una pressione politica costante attraverso strumenti quali l'obbligo di eco-design e appalti pubblici orientati alla sostenibilità.

Le implicazioni politiche sono molteplici e si intrecciano con gli sviluppi recenti. Il *Circular Economy Act*, previsto per l'adozione entro la fine del 2026 (Commissione Europea, 2025), rappresenta un'evoluzione orizzontale del CEAP, volto a creare un mercato unico per prodotti e materiali circolari, migliorare la tracciabilità dei rifiuti transfrontalieri, rafforzare gli incentivi alla domanda di riciclati e ridurre le dipendenze da materie prime critiche. Tale atto legislativo risponde direttamente alle disparità osservate nell'analisi: i Paesi “vecchi” (come Paesi Bassi, Belgio e Slovenia), leader in materiali secondari e gestione rifiuti, beneficerebbero di un quadro armonizzato che consolida la loro competitività industriale; i Paesi «nuovi» (come Bulgaria, Cipro ed Estonia), con ritardi persistenti, richiedono condizionalità rafforzate nei fondi di coesione (*NextGenerationEU* e Quadro Finanziario Pluriennale 2021 – 2027) per investimenti in infrastrutture e *capacity building*, al fine di evitare sanzioni per mancato raggiungimento dei target, quali il riciclaggio dei rifiuti urbani al 65% entro il 2035 (European Commission, 2022).

In conclusione, lo studio rafforza la convinzione che l'economia circolare non costituisca unicamente un obiettivo di tutela ambientale, bensì un vero e proprio motore di competitività, innovazione e per l'intera Unione (Fura et al., 2020). Ciò richiede un coordinamento multilivello in grado di coniugare l'ambizione normativa con interventi calibrati sulle specificità nazionali. Le implicazioni politiche qui delineate, fondate su un'analisi statistica multivariata rigorosa e aggiornata, intendono offrire un contributo concreto al dibattito istituzionale dell'Unione

Europea, particolarmente rilevante in vista della revisione del Piano d’Azione per l’Economia Circolare prevista dopo il 2030 (European Environment Agency, 2023).



## CONCLUSIONE

La presente tesi magistrale ha perseguito l'obiettivo di fornire una valutazione aggiornata, multidimensionale e statisticamente rigorosa del livello di sviluppo dell'economia circolare nei 25 Paesi membri dell'Unione Europea nel periodo 2016 – 2022, aggiornando e ampliando l'approccio metodologico proposto da Fura et al. (2020). Attraverso l'impiego combinato di tecniche di normalizzazione *zero-unitarization*, costruzione di un indice sintetico composito ( $MS_t^C$ ), analisi cluster, e trattamento avanzato dei valori mancanti mediante MICE – PMM, lo studio ha permesso di superare i confini di una mera descrizione statistica restituendo un quadro dinamico, comparativo e validato delle performance nazionali.

I risultati ottenuti evidenziano un progresso complessivo moderato ma costante: la misura sintetica generale è passata da 0,397 nel 2016 a 0,424 nel 2022 (+6,9 %), con miglioramenti più marcati nelle aree della gestione dei rifiuti e dei materiali secondari. Emerge chiaramente un processo di convergenza tra “nuovi” e “vecchi” Stati membri: i Paesi dell'allargamento 2004 – 2007 hanno registrato incrementi medi superiori, riducendo il divario iniziale, ma con traiettorie interne eterogenee che hanno talvolta aumentato le disparità all'interno del gruppo. Al contrario, i Paesi dell'Europa nord-occidentale mantengono una leadership consolidata, sebbene con rendimenti decrescenti tipici delle economie già mature. L'analisi cluster ha ulteriormente evidenziato la formazione di profili nazionali distinti, confermando che la transizione circolare non segue un percorso omogeneo, bensì presenta traiettorie fortemente influenzate dal contesto istituzionale, infrastrutturale e tecnologico di ciascun Paese. Come osservato da McDonough e Braungart (2002) in “*Waste Equals Food*”, “i rifiuti non sono un fine, ma una risorsa da reintegrare nei cicli produttivi, un principio che i risultati qui emersi sembrano avvalorare, specialmente nei Paesi che hanno investito in materiali secondari”.

Dal punto di vista metodologico, il lavoro ha introdotto degli elementi originali rispetto allo studio di riferimento (Fura et al., 2020), come il trattamento multiplo dei dati mancanti e una più estesa validazione della *clusterizzazione*, incorporando gli effetti della pandemia e della crisi energetica. Tali innovazioni hanno aumentato la robustezza e la riproducibilità dei risultati, dimostrando come l'approccio statistico multidimensionale possa costituire uno strumento essenziale per il monitoraggio e la valutazione delle politiche di sostenibilità. In questo senso, parafrasando Stahel (2010), “*The Goods of Today are the Resources of Tomorrow at the Resource Prices of Yesterday*”: “la statistica ci aiuta a quantificare non solo il presente, ma a progettare un futuro in cui le risorse siano valorizzate come capitale rigenerativo”.

Le implicazioni per le politiche pubbliche sono chiare: il *Circular Economy Act* atteso per il 2026 e la revisione post-2030 del Piano d'Azione per l'Economia Circolare devono adottare un approccio differenziato, con meccanismi di giustizia territoriale più incisivi. I fondi di coesione e *NextGenerationEU* dovrebbero essere vincolati al raggiungimento di target specifici per i vari Paesi, favorendo il trasferimento tecnologico, il potenziamento delle capacità amministrative e gli incentivi fiscali mirati nei contesti meno avanzati. Solo un coordinamento multilivello che

sappia coniugare ambizione normativa europea con interventi calibrati sulle specificità nazionali potrà trasformare l'economia circolare da obiettivo ambientale in autentico motore di competitività, innovazione e resilienza collettiva. Come sottolinea Fuller (1973), "You never change things by fighting the existing reality. To change something, build a new model that makes the existing model obsolete" ovvero la transizione circolare richiede non solo critiche al lineare, ma la costruzione attiva di alternative sistemiche.

Nonostante i limiti legati alla disponibilità e comparabilità dei dati, alla scelta delle ponderazioni e all'arco temporale ancora relativamente breve, questa tesi intende porsi come un punto di partenza solido per ulteriori approfondimenti. L'integrazione di indicatori settoriali, l'impiego di modelli causali, l'estensione geografica oltre i confini UE e l'adozione di approcci misti quantitativo-qualitativi rappresentano le direzioni naturali di evoluzione.

In ultima analisi, il lavoro dimostra che la statistica non è soltanto uno mero strumento di misurazione, ma è un elemento fondante della transizione stessa: solo attraverso una conoscenza rigorosa, aggiornata e multidimensionale delle disparità è possibile disegnare politiche realmente efficaci, capaci di guidare l'Unione Europea verso un modello di sviluppo sostenibile, inclusivo e resiliente. La strada verso un'economia pienamente circolare è ancora lunga e complessa, ma i risultati qui presentati offrono evidenze empiriche concrete su cui fondare le scelte strategiche dei prossimi anni, nell'interesse delle generazioni presenti e future.

Misurare la circolarità non significa soltanto quantificare quanto ricicliamo: significa misurare quanto siamo disposti a restituire al pianeta ciò che abbiamo preso in prestito dal futuro.

## BIBLIOGRAFIA

Bio Intelligence Service. Implementation of the Waste Framework Directive in EU Member States: Country factsheets. Paris: Bio Intelligence Service, 2021 (aggiornato per il periodo 2018-2022).

Domenech, T.; Bahn-Walkowiak, B. Transition Towards a Circular Economy in Bulgaria: Challenges and Opportunities. *Sustainability* 2021, 13(18), 10214. <https://doi.org/10.3390/su131810214>.

Domenech, T.; Bleischwitz, R. Geopolitical risks and the circular economy: Supply chain resilience after the Ukraine crisis. *Resources, Conservation and Recycling* 2023, 189, 106762. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106762>.

Ellen MacArthur Foundation (2015). Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition.

Ellen MacArthur Foundation (2025). The Global Commitment 2025 Progress Report. Ellen MacArthur Foundation. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/global-commitment-2025/overview>.

European Commission (2015). Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2015) 614 final. Brussels.

European Commission (2016). Country Reports for Cyprus and Malta: Post-Accession Convergence and Innovation Challenges. SWD(2016) series. Brussels.

European Commission (2017). Country Report Romania 2017: Accompanying the Communication on the Annual Growth Survey. SWD(2017) 88 final. Brussels.

European Commission (2018). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on a monitoring framework for the circular economy. COM(2018) 29 final. Brussels.

European Commission (2018). Circular Economy Package. Brussels: European Commission

European Commission (2019). The European Green Deal. Communication COM(2019) 640 final. Brussels, 11.12.2019. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>

European Commission (2019). The European Green Deal. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European

Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2019) 640 final. Brussels.

European Commission (2020). A new Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2020) 98 final. Brussels. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0098>.

European Commission (2021). Fit for 55: Delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2021) 550 final. Brussels.

European Commission (2022). Cohesion Policy and Circular Economy: Supporting Green Innovation in Less Developed Regions. Brussels.

European Commission (2022). Proposal for a Regulation establishing a framework for setting ecodesign requirements for sustainable products (Sustainable Products Initiative). COM(2022) 142 final. Brussels.

European Commission (2022). REPowerEU Plan. Communication COM(2022) 230 final. Brussels, 18.5.2022. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52022DC0230>.

European Commission (2023). Circular Economy Action Plan Indicators: Convergence Analysis. Brussels.

European Commission (2023). Cyprus Recovery and Resilience Plan: Assessment 2023. Brussels.

European Commission (2023). Critical Raw Materials and Circular Economy: Pathways to Resilience. SWD(2023) 160 final. Brussels.

European Commission (2023). Eco-Innovation Scoreboard: Country Profiles 2016-2022. Brussels. Disponibile su: <https://ec.europa.eu/environment/eco-innovation/scoreboard>.

European Commission (2023). Romania's Recovery and Resilience Plan: Assessment and Updates 2023. Brussels.

European Commission (2023). The European Green Deal and the Recovery Plan for Europe: Impact on the circular economy transition. SWD(2023) 276 final. Brussels. Disponibile su: [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/swd\\_2023\\_276.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/swd_2023_276.pdf).

European Commission (2024). Circular Economy Monitoring Framework. Brussels. Disponibile su: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy>.

European Commission (2025). Clean Industrial Deal. Communication from the Commission. [https://commission.europa.eu/topics/competitiveness/clean-industrial-deal\\_en](https://commission.europa.eu/topics/competitiveness/clean-industrial-deal_en).

European Commission (2025). Commission launches consultation for upcoming Circular Economy Act. Press release, 1 August 2025. [https://environment.ec.europa.eu/news/commission-launches-consultation-upcoming-circular-economy-act-2025-08-01\\_en](https://environment.ec.europa.eu/news/commission-launches-consultation-upcoming-circular-economy-act-2025-08-01_en).

European Court of Auditors (2023). *Circular economy: slow transition by Member States despite EU action* (Special Report). Corte dei conti europea. Disponibile su European Circular Economy Stakeholder Platform.

European Environment Agency (EEA). Circular economy challenges in small island states: Malta case study post-COVID. EEA Briefing No 08/2023. Copenhagen: EEA, 2023.

European Environment Agency (EEA). Circular economy in Europe: Insights from Estonia. EEA Report No 12/2022. Copenhagen: EEA, 2022. Disponibile su: <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe>.

European Environment Agency (EEA). Circular economy in Europe: Material flows and trade. EEA Report No 07/2022. Copenhagen: EEA, 2022. Disponibile su: <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-material-flows>.

European Environment Agency (EEA). Eco-innovation and circular economy: Gaps and opportunities in EU Member States. EEA Report No 10/2022. Copenhagen: EEA, 2022.

European Environment Agency (EEA). Impacts of geopolitical shocks on circular material flows in Europe. EEA Report No 22/2023. Copenhagen: EEA, 2023. Disponibile su: <https://www.eea.europa.eu/publications/geopolitical-shocks-circular-economy>.

European Environment Agency (EEA). Innovation for the circular economy: Gaps in EU Member States. EEA Report No 14/2023. Copenhagen: EEA, 2023.

European Environment Agency (EEA). Progress towards circular economy in Europe. EEA Report No 15/2023. Copenhagen: EEA, 2023. Disponibile su: <https://www.eea.europa.eu/publications/progress-towards-circular-economy>.

European Environment Agency (EEA). Waste management challenges in small island developing states: Focus on Malta. EEA Briefing No 06/2022. Copenhagen: EEA, 2022. Disponibile su: <https://www.eea.europa.eu/publications/waste-management-small-island-states>.

European Environment Agency (EEA). Waste management in small island states: The case of Malta. EEA Briefing No 04/2021. Copenhagen: EEA, 2021. Disponibile su: <https://www.eea.europa.eu/publications/waste-management-in-small-island-states>.

European Innovation Scoreboard 2017: Comparative Analysis of Innovation Performance. Brussels: European Commission, 2017 (con focus su piccoli Stati e R&S expenditure <1% PIL in Cipro, Malta, Slovacchia).

European Innovation Scoreboard 2023: Country Profiles for Small Member States (Cyprus, Malta). Brussels: European Commission, 2023.

European Parliament and Council. Regulation (EC) No 2150/2002 of 25 November 2002 on waste statistics (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Communities, L 332, 9.12.2002, p. 1–36. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32002R2150>.

European Patent Office. Convention on the Grant of European Patents (European Patent Convention) of 5 October 1973, as revised (text as adopted on 17 December 1991 and amended). Article 93 – Publication of the European patent application. Munich: EPO. Disponibile su: <https://www.epo.org/law-practice/legal-texts/epc.html>.

European Patent Office (EPO)/Eurostat. Patent statistics on circular economy technologies: Recycling and secondary raw materials. Joint EPO-Eurostat Report 2023. Munich/Luxembourg: EPO/Eurostat, 2023.

Eurostat (2024). Circular economy monitoring framework. Database and dashboard. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy>.

Eurostat. Circular material use rate (code: cei\_srm020) – Metadata. Ultimo aggiornamento 2024. Luxembourg: Eurostat. Disponibile su: [https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/cei\\_srm020\\_esmsip2.htm](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/cei_srm020_esmsip2.htm).

Eurostat. Economy-wide material flow accounts (EW-MFA) – Metadata. Ultimo aggiornamento 2025. Luxembourg: Eurostat. Disponibile su: [https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/env\\_ac\\_mfa\\_esms.htm](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/env_ac_mfa_esms.htm).

Eurostat. Extra-EU trade in recyclable raw materials – Statistics Explained. Ultimo aggiornamento 2024. Luxembourg: Eurostat. Disponibile su: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Trade\\_in\\_recyclable\\_raw\\_materials](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Trade_in_recyclable_raw_materials). (Nota: i metadati evidenziano effetti statistici di “hub” in piccoli Paesi come Lussemburgo per flussi intra-UE).

Eurostat. National accounts – GDP (chain-linked volumes) – Metadata. Ultimo aggiornamento 2025. Luxembourg: Eurostat. Disponibile su:

[https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/nama10\\_gdp\\_esms.htm](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/nama10_gdp_esms.htm). (Nota: i metadati e i quality report associati evidenziano ritardi e revisioni nei conti nazionali di Bulgaria, Romania e Stati baltici nel periodo 2016-2022).

Eurostat. Patents in recycling and secondary raw materials (code: cir\_00110) – Metadata. Ultimo aggiornamento 2024. Luxembourg: Eurostat. Disponibile su: [https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/cei\\_cie010\\_esmsip2.htm](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/cei_cie010_esmsip2.htm). (Nota: i metadati descrivono il lag di 18 mesi derivante dalla procedura EPO e le conseguenti incompletezze per l'anno più recente).

Eurostat. Recycling rate of all waste excluding major mineral waste (code: cei\_wm010) – Metadata. Ultimo aggiornamento 2024. Luxembourg: Eurostat. Disponibile su: [https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/cei\\_wm010\\_esmsip2.htm](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/cei_wm010_esmsip2.htm).

Eurostat. Recycling rate of municipal waste and packaging waste – Metadata. Ultimo aggiornamento 2024. Luxembourg: Eurostat. Disponibile su: [https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/cei\\_wm020\\_esmsip2.htm](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/cei_wm020_esmsip2.htm).

Eurostat. Waste statistics – Statistics Explained. Ultimo aggiornamento 2025. Luxembourg: Eurostat. Disponibile su: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics).

Eurostat. Waste generation and treatment during the COVID-19 pandemic – Statistics Explained. Ultimo aggiornamento 2024. Luxembourg: Eurostat. Disponibile su: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics#Waste\\_generation\\_during\\_the\\_COVID-19\\_pandemic](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics#Waste_generation_during_the_COVID-19_pandemic).

Eurostat. Waste statistics – Statistics Explained. Ultimo aggiornamento 2025. Luxembourg: Eurostat. Disponibile su: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics).

Frosch, R. A., & Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for manufacturing. *Scientific American*, 261(3), 144–152

Fuller, R. B. (1973). *Operating Manual for Spaceship Earth*. Lars Müller Publishers (edizione originale 1969).

Fura, B., Wojnar, J., & Kasprzyk, B. (2020). Statistical Evaluation of the Level of Development of Circular Economy in European Union Member Countries. *Energies*, 13(23), Article 6401. <https://doi.org/10.3390/en13236401>

- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Geng, Y. et al. (2012). Towards a national circular economy indicator system in China: An evaluation and critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, vol. 23, pp. 216 – 224.
- Government of the Netherlands. A Circular Economy in the Netherlands by 2050. The Hague: Ministry of Infrastructure and Water Management, 2016. Disponibile su: <https://www.government.nl/topics/circular-economy>.
- Graedel, T. E., & Allenby, B. R. (1995). *Industrial ecology*. Prentice Hall.
- Graham, J.W. Missing Data Analysis: Making It Work in the Real World. *Annual Review of Psychology* 2009, 60, 549–576. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.58.110405.085530>.
- Grigoryan, A.; Käärik, M.; Leiger, K. The Baltics on their way towards a circular economy. *Baltic Region* 2017, 9(3), 47–58. Disponibile su: [https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/56331/ssoar-balticreg-2017-3-grigoryan\\_et\\_al-The\\_Baltics\\_on\\_their\\_way.pdf](https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/56331/ssoar-balticreg-2017-3-grigoryan_et_al-The_Baltics_on_their_way.pdf).
- Guide, V. D. R. & Van Wassenhove, L. N. (2009). The Evaluation of Closed-Loop Supply Chain Research. *Operation Research*, vol. 57(1), pp. 10 – 18.
- Kirchherr, J., Reike, D. & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resour. Conserv. Recycl*, vol. 127, pp. 221 – 232.
- Korhonen, J., Honkasalo, A. & Seppälä, J. (2022). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, vol. 143, pp. 37 – 46.
- Kukuła, K. *Metoda Unitaryzacji Zerowanej*; Wydawnictwo Naukowe PWN: Warszawa, Poland, 2000; pp. 189–190.
- OECD (2008). *Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide*. OECD Publishing.
- OECD/European Commission, Joint Research Centre. *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*; OECD Publishing: Paris, France, 2008. <https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>.
- Little, R.J.A.; Rubin, D.B. *Statistical Analysis with Missing Data*, 3rd ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2019.

McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press.

Milios, L.; Christensen, L.H.; Dace, E. Convergence in waste management performance across EU Member States: Evidence from circular economy indicators. *Waste Management* 2022, 142, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.005>.

Ministère de l'Économie du Luxembourg. *The Third Industrial Revolution Strategy Study*. Luxembourg, 2016.

Murray, A., Skene, K. & Haynes, K (2017). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *J Bus Ethics*, vol. 140, pp. 369 – 380.

Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., & Giovannini, E. (2008). *Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>.

Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea. Regolamento (UE) n. 549/2013 del 21 maggio 2013 relativo al sistema europeo dei conti nazionali e regionali nell'Unione europea. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, L 174, 26.6.2013, p. 1–727. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:32013R0549>.

Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea. Regolamento (UE) n. 691/2011 del 6 luglio 2011 relativo ai conti economici ambientali europei. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, L 192, 22.7.2011, p. 1–15. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:32011R0691>.

Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea. Directive 2008/98/EC of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. *Official Journal of the European Union*, L 312, 22.11.2008, p. 3–30. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098>.

Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea. Directive (EU) 2018/851 of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste. *Official Journal of the European Union*, L 150, 14.6.2018, p. 109–140. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32018L0851>.

Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea. Regulation (EU) 2021/241 of 12 February 2021 establishing the Recovery and Resilience Facility. *Official Journal of the European Union*, L 57, 18.2.2021, p. 17–75. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R0241>.

Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea. Regulation (EU) 2021/695 establishing Horizon Europe – the Framework Programme for Research and Innovation. Official Journal of the European Union, L 170, 12.5.2021, p. 1–68. Disponibile su: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R0695>.

Pauli, G. (2010). *The Blue Economy: 10 years, 100 innovations, 100 million jobs*. Paradigm Publications.

Plastics Action Centre (n.d.). *The Landmark EU Green Deal's 2022 Ecodesign Requirements for Products are Currently Under Development*. Plastics Action Centre. Disponibile su: <https://plasticactioncentre.ca/directory/eu-ecodesign-requirements-under-development/>.

Porter, M. E. & Van der Linde, C. (1995). *Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship*. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4): 97 – 118.

Potting, J.; Hekkert, M.; Worrell, E.; Hanemaaijer, A. *Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain*. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency Report No 2544. The Hague: PBL, 2017.

R Core Team (2024). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Regolamento (UE) 2019/2152 del Parlamento Europeo e del Consiglio.

RepeatPack. (s.d.). *Infographic: The Difference Between Linear and Circular Economies*. <https://repeatpack.com/blog/infographic-linear-and-circular-economy>.

European Innovation Scoreboard 2017: Comparative Analysis of Innovation Performance. Brussels: European Commission, 2017 (con focus su piccoli Stati e R&S expenditure <1% PIL in Cipro, Malta, Slovacchia).

Research and Innovation Observatory – Horizon 2020 Policy Support Facility. Finland Country Profile: R&I Performance and Bioeconomy. Brussels: European Commission, 2023.

Rifkin, J.; Luxembourg Ministry of the Economy. *Luxembourg Third Industrial Revolution Strategy: Final Report*. Luxembourg, 2016.

Robaina, M.; Teixeira, A.; Moreira, J. Principal component analysis in circular economy indicators: A European Union perspective. *Journal of Cleaner Production* 2021, 296, 126553. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126553>.

Rubin, D.B. *Multiple Imputation for Nonresponse in Surveys*; John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 1987.

Salmenperä, H., Pitkänen, K., Kautto, P., & Hopeajärvi, R. (2021). Current Status of Circular Economy Research in Finland. *Resources*, 10(5), 40. <https://www.mdpi.com/2079-9276/10/5/40>.

Shaikh, W. et al., (2022). Opportunities in Circular Economy for End-of-Life (EOL) of Electric Vehicle Batteries: A Review. Vol. 11, pp. 38 – 53.

Statistical Office of the Republic of Slovenia. Material Flow Accounts and Circular Economy Indicators. Ljubljana: SURS, 2020 (con dati storici 2016).

Sterne, J.A.C.; White, I.R.; Carlin, J.B.; Spratt, M.; Royston, P.; Kenward, M.G.; Wood, A.M.; Carpenter, J.R. Multiple imputation for missing data in epidemiological and clinical research: potential and pitfalls. *BMJ* 2009, 338, b2393. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2393>.

Stahel, W. R., & Reday-Mulvey, G. (1976). The potential for substituting manpower for energy. Report to the Commission of the European Communities.

Stahel, W. R. (2010). *\*The Performance Economy\**. Palgrave Macmillan.

United Nations (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. A/RES/70/1. New York.

Van Buuren, S. *Flexible Imputation of Missing Data*, 2nd ed.; Chapman & Hall/CRC: Boca Raton, FL, USA, 2018. (Capitolo 2 e Sezione 12.1 sulle limitazioni della single imputation e rischi di uncongeniality/overfitting).

Vilcina, A.; Apine, I.; Blumberga, D. Waste management in post-soviet countries: how far from the EU? *Detritus* 2018, 3, 117–127. <https://doi.org/10.31083/detritus/2018.03.0117>.

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd. Circular Economy and Sustainable Materials: Annual Report 2022. Espoo: VTT, 2023. Disponibile su: <https://www.vttresearch.com/en/our-services/circular-economy>.

Walesiak, M. The application of multidimensional scaling to measure and asses changes in the level of social cohesion of the lower Silesia region in the period 2005–2015. *Econometrics* 2007, 3, 9–25.

Watkins, E.; Schweitzer, J.-P.; Leinala, E.; Börkey, P. Policy instruments to promote circular economy in waste management: Evidence from EU countries. *Resources, Conservation and Recycling* 2020, 160, 104908. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104908>.

Wilts, H.; von Gries, N.; Bahn-Walkowiak, B. Trade in secondary materials: Challenges and opportunities for the EU circular economy. *Resources, Conservation and Recycling* 2021, 171, 105624. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105624>.

Zaman, G.; Georgescu, G. The Romanian economy-four years after the EU accession. *Romanian Journal of Economics* 2011, 32(1), 41–62.

Zaman, G.; Georgescu, G. Structural Changes in the Romanian Economy: Challenges for Circular Transition. *Procedia Economics and Finance* 2015, 22, 165–174. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00256-9](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00256-9).