

From Concept to Practice: A Comparative Analysis of Circular Economy Indicators at the Meso Scale in the Agri-Food Sector

Francesca Abastante^{1,*}, Valeria Baglione²

¹ Interuniversity Department of Regional and Urban Studies and Planning (DIST), viale Pier Andrea Mattioli 39, 10125, Politecnico di Torino, Torino, Italy; francesca.abastante@polito.it

² Interuniversity Department of Regional and Urban Studies and Planning (DIST), viale Pier Andrea Mattioli 39, 10125, Politecnico di Torino, Torino, Italy; valeria.baglione@polito.it

* corresponding author

Keywords

Circular Economy
Agri-food
sectorIndicatorsSustaina
ble development,
Decision-making

Abstract

Measuring and monitoring territories within the framework of the Circular Economy (CE) is gaining increasing relevance across Europe. As an evolving field involving both academia and business, CE generates growing demand for tools and methodologies capable of assessing its impacts at the territorial scale. Although often treated as an umbrella concept, CE is closely linked to sustainable development and is increasingly translated into strategies, programs, and action plans supported by indicators at enterprise, sectoral, and socio-economic levels. In this context, the 2030 Agenda and the Sustainable Development Goals (SDGs) provide a key reference framework. CE contributes directly to several SDGs, particularly SDG12 (Responsible Consumption and Production), SDG9 (Industry, Innovation, and Infrastructure), SDG11 (Sustainable Cities and Communities), and SDG13 (Climate Action), highlighting the importance of robust indicators. Despite growing attention, the development and application of CE indicators in the secondary agri-food sector remain challenging, particularly in capturing life-cycle complexity and integrating environmental, economic, and social dimensions. While CE assessment has been widely addressed at macro scales, meso-scale studies remain limited, and existing indicators often fail to account for negative effects or performance declines. This research, conducted within the NODES project funded by the Italian Ministry of University and Research (MUR) under the National Recovery and Resilience Plan (PNRR), addresses this gap by developing a tailored set of CE indicators at the meso scale, focusing on the secondary agri-food sector in the Piedmont Region (Italy).

1. Introduction

The need to measure and monitor territorial systems within a development model informed by the Circular Economy (CE) is increasingly recognized at the European level (OECD, 2024; Dragomir & Dumitru, 2024). CE has emerged as a rapidly evolving field of research, engaging both academia and industry, with growing attention to tools and methodologies capable of assessing tangible impacts in specific contexts (Sassanelli et al., 2019). Over the coming decade, the ecological transition is expected to profoundly reshape the agri-food sector, requiring a substantial reduction

in the environmental footprint of production activities across the entire value chain (Aimone & Vernoni, 2021).

Circular Economy (CE) has become a key paradigm for the transition of economic systems towards greater sustainability (Geissdoerfer et al., 2017). It is no coincidence that promoting a transition towards a circular economy has become a priority, particularly within the European Union, as evidenced by the increasing policy frameworks and action plans aimed at the adoption of circular models (European Commission, 2019, 2021, 2023, and 2025). In the context of the agri-food sector, the circularity paradigm is seen as a tool to achieve greater competitiveness of supply chains. Transitioning to circular agri-food systems involves, instead, radical changes that co-evolve at multiple levels (Loorbach et al., 2017) and remains an open and uncertain challenge.

Often described as an umbrella concept (Blomsma & Brennan, 2017), CE encompasses diverse interpretations and applications (Kirchherr et al., 2017) and is closely aligned with the principles of sustainable development. Although no universally agreed definition exists, CE is increasingly operationalized through strategies, programs, and action plans supported by dedicated indicators (Moraga et al., 2019). These indicators are essential for guiding and monitoring the transition across multiple levels enterprise, sectoral, and territorial socio-economic systems (Abastante & Penza, 2025; Lami et al., 2023; Sassanelli et al., 2019).

Within this framework, the United Nations 2030 Agenda and its Sustainable Development Goals (SDGs – UN General Assembly, 2015) provide a key reference for orienting sectoral and territorial strategies towards greater equity, resilience, and sustainability. CE contributes directly to several SDGs, notably SDG 12 (Responsible Consumption and Production), SDG 9 (Industry, Innovation, and Infrastructure), SDG 13 (Climate Action), and SDG 11 (Sustainable Cities and Communities). The adoption of CE-specific indicators therefore serves a dual purpose: advancing local and sectoral transitions while simultaneously measuring progress toward global sustainability targets.

The development of circularity frameworks and indicators, however, presents considerable challenges. Integrating a wide range of environmental, economic, and social variables across the life cycle of production systems remains complex (Sassanelli et al., 2019). While much of the literature has addressed these issues at broad scales—metropolitan, regional, national, or global—meso and micro scales remain underexplored. These include eco-industrial districts (Ghisellini et al., 2016), supply chains, firms, and products (Moraga et al., 2019; Kirchherr et al., 2017). At these levels, existing indicators often offer only partial insights, overlooking potential negative effects or unintended performance trade-offs (Niero & Kalbar, 2019), thereby limiting the effective implementation of CE principles.

This study is part of the project NODES which has received funding from the MUR - M4C2 1.5 of PNRR funded by the European Union – NextGenerationEU under the National Recovery and Resilience Plan (PNRR). Specifically, it forms part of Spoke 7, which focuses on Cultural Needs in the secondary agri-food sector. The project seeks to support producers and consortia in adopting more sustainable models by promoting the transfer and dissemination of CE-inspired best practices.

While acknowledging CE's relevance to multiple SDGs, this research prioritizes SDG 12, identified as the most strategically significant in relation to production dynamics. Its centrality lies in its alignment with NODES objectives, being directly concerned with the sustainable transformation of industrial processes and the strengthening of territorial resilience.

The contribution presented here aims to develop a concise, operational set of indicators for measuring CE at the meso scale, based on a comparative analysis of tools currently applied at macro, meso, and micro levels (Schofer, 1975). It is important to specify that the macro scale refers to the metropolitan, regional, and national levels; the meso scale refers to eco-industrial districts, value chains, and the enterprise level; and the micro scale refers to the product level. Following Moraga et al. (2019), the meso terminology should be accompanied by the specific range of analysis. In the present article, we associate the meso scale with the agri-food value chain. Moreover, the secondary agri-food sector encompasses the network of firms involved in the transformation and

processing of raw agricultural materials. The detailed empirical focus is here on the secondary agri-food sector in the Piedmont Region.

The study addresses three key research questions:

- i) Which indicators are currently employed to measure CE in line with major European strategies within the secondary agri-food sector?
- ii) What strengths and weaknesses do these indicators present for the secondary agri-food sector at the meso scale?
- iii) How can these indicators be translated from strategic frameworks into operational tools?

The article is structured as follows: Section 2 outlines the methodology for building the theoretical framework and contextualizing the research; Section 3 examines the datasets available for CE measurement; Section 4 identifies gaps between existing indicators; and Section 5 concludes with a discussion of key findings and directions for future research.

2. Research methodology and state of the art

The research is organized according to three different phases as showed in Figure 1.

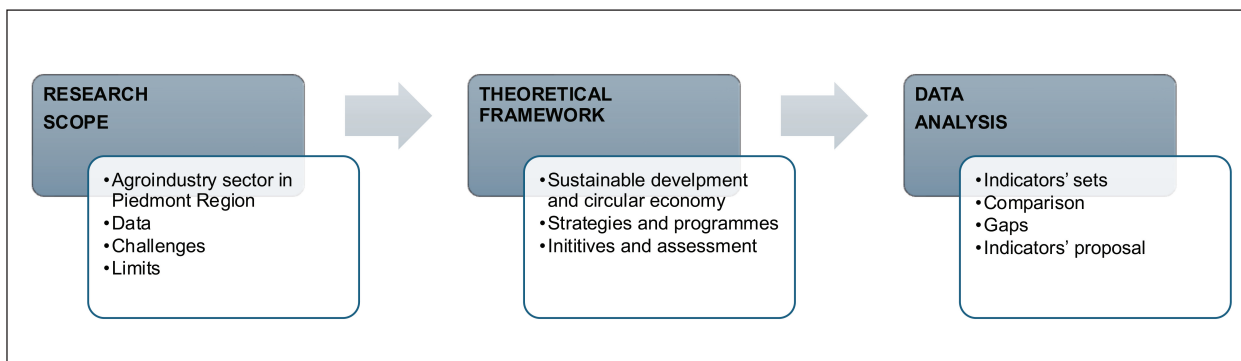


Figure 1. Research methodology framework

- i) Definition of the research scope, aimed at understanding the territorial context of the secondary agri-food sector in the Piedmont Region, in terms of distinctive features, available data, territorial challenges, and current limitations;
- ii) Definition of the theoretical framework, designed to:
 - a. investigate the concepts of sustainable development and CE in the context of the agri-food sector through the analysis of strategies, programs, and initiatives;
 - b. map the indicators currently in use (Table 1).
- iii) Data analysis, aimed at:
 - a. identifying similarities and differences between SDG 12 indicators and CE indicators (Table 1);
 - b. comparing international CE indicators with national and regional strategies (Tables 2 and 3);
 - c. highlighting existing gaps at the regional level (Table 4).

2.1 The current context of the secondary agri-food sector in the Piedmont Region

The secondary agri-food sector forms part of the broader agrifood system, which rests on four pillars: i) primary production, including agriculture, livestock, forestry, and fisheries; ii) food processing, concerned with transforming products derived from primary production; iii) industries

producing machinery for agriculture, livestock, and food processing, as well as agrochemicals; and iv) distribution and marketing (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021, 2022).

This study focuses on the second pillar—food processing, with particular attention to the transformation of agricultural products (secondary agro-industry). To investigate sustainability and CE dynamics, and to propose a set of relevant indicators, the research examines the Piedmont Region (Italy), considering the rationalization processes faced by firms producing finished and semi-finished goods for human and animal consumption. The centrality of the agrifood system in Piedmont's economy is evident: around 3,739 firms operate in the food sector, employing approximately 38,582 workers (Regione Piemonte, 2023). Although the number of firms has declined significantly since 2007 (−37%; Adamo & Cavalletto, 2024), industrial production in the regional agrifood sector has gradually stabilized, even recording growth in early 2023 (+2.9%; Adamo & Cavalletto, 2024; Adamo et al., 2023).

The regional food-processing sector is highly diversified, comprising two main categories of firms (Aimone & Vernoni, 2021):

- Small-scale (<50 employees), craft-oriented enterprises, often rooted in local traditions, specializing in high-quality products for export (e.g. wine, cereals, fruit and vegetables, dairy, beef). These firms frequently combine processing with primary production, and in some cases manage distribution through short supply chains. Their proximity to agricultural production fosters district-like configurations (Galardi et al., 2022; Fabianelli, 2024).
- Medium-sized enterprises (<250 employees), which rely primarily on imported raw materials, with only limited use of local inputs (e.g. confectionery, bakery products, preserved foods, coffee). Many of these firms operate internationally and are located mainly in urban peripheries, where logistics for import, export, and distribution are more efficient (Fanfani, 2009; Aimone & Vernoni, 2021).

These different modes of using local resources generate distinct territorial linkages and influence the spatial distribution of enterprises. The resulting fragmentation, combined with limited awareness of CE principles among food-sector firms (Unioncamere Piemonte, 2021), complicates coordination across supply chains and hinders the definition, implementation, and monitoring of indicators necessary for advancing the circular transition (Regione Piemonte, 2022).

Nonetheless, the sector is expected to undergo significant transformation by 2025. Growing consumer demand for quality, sustainable processes, and food safety is pushing firms toward a new phase of innovation. According to the Circular Economy Network (2024), at least 10% of enterprises have expressed interest in adopting CE practices, though progress remains constrained by limited incentives, production complexity, and administrative burdens. In this context, European, national, and regional policies have played a decisive role, promoting actions to reduce the environmental impact of distribution chains, foster circular economy schemes, expand renewable energy, safeguard landscapes, and strengthen irrigation systems (Aimone & Vernoni, 2021, p. 56).

Firms will thus play an increasingly pivotal role, requiring substantial technological, process, and product innovation. Defining the research field considering these characteristics and configurations allows for the subsequent development of a theoretical framework to address the challenges and limitations identified in the transition to CE, recognizing that the qualification of any system depends on the establishment of a monitoring architecture grounded in robust indicators.

2.2 Sustainable development and circular economy: a close relationship

The Circular Economy (CE) is widely regarded as an umbrella concept (Blomsma & Brennan, 2017), often associated with the 3R framework of Reduce, Reuse, and Recycle (United Nations

Environment Programme, 2004). Its core objective is to eliminate waste and retain the maximum possible value of products and materials (Kirchherr et al., 2017), while promoting renewable energy use and phasing out toxic substances (Sassanelli et al., 2019). Despite being theorized for over a decade, CE remains a contested and evolving domain in scientific literature due to its blurred boundaries and lack of a shared definition (Winans et al., 2017; Suarez-Eiroa et al., 2019; Moraga et al., 2019; Fauzi, 2024; ISO, 2024). This highlights the need for stronger conceptualization to clarify its scope, dimensions, and applications (Schögl et al., 2020).

According to the European Commission, CE supports all three pillars of sustainable development by delivering environmental benefits, economic growth, and job creation (UN General Assembly, 2015). In Italy, the Ministry of Environment and Energy Security define CE as a new model of production and consumption that ensures efficient resource use and circular flows, while minimizing waste and maximizing recovery, reuse, and recycling—thus generating secondary raw material supply chains to replace virgin ones (MiTE, 2022). Within the agrifood domain, *Circular Economy for Food* (CEFF) (Fassio & Tecco, 2018) aims to “preserve and regenerate natural capital, optimize the extraction, production, and use of resources, and manage material and energy flows in ways that renew or extend their value over time” (Ellen MacArthur Foundation, 2015). CEFF positions urban and regional metabolisms not as producers of waste, but as generators of economic and social value aligned with natural ecosystems and territorial potential (Fassio & Minotti, 2019).

In this respect, CE can be understood as an operational lever for sustainable development (Brundtland Report, 1987; Ellen MacArthur Foundation, 2015, 2021; Prieto-Sandoval et al., 2018; Geissdoerfer et al., 2017), complementary to the SDGs (Schröder & Barrie, 2024). This is confirmed by major global and European policy frameworks, including the UN 2030 Agenda (UN General Assembly, 2015) and the European Green Deal (European Commission, 2019). To date, more than 75 national CE action plans, roadmaps, and strategies have been launched, with an additional 14 under development (Schröder & Barrie, 2024).

Globally, the 2030 Agenda provides the main framework for sustainable development, articulated into 17 SDGs. Among them, SDG 12 (Responsible Consumption and Production) plays a central role in advancing CE by targeting waste reduction, resource efficiency, and sustainable production models. In the agrifood sector, SDG 12 underpins systemic transformations that regenerate material and value flows across the supply chain (Geissdoerfer et al., 2017; Kirchherr et al., 2017). Although SDG 12 is the most directly linked to CE, its implementation has cascading effects on multiple other SDGs, including SDG 6 (Clean Water and Sanitation), SDG 7 (Affordable and Clean Energy), SDG 8 (Decent Work and Economic Growth), SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure), SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), SDG 13 (Climate Action), and SDG 15 (Life on Land) (Geng et al., 2019; Schröder et al., 2018; Schröder & Barrie, 2024). Progress on SDG 12 thus acts as a catalyst for integrated and systemic sustainability.

At the European scale, the Green Deal sets out measures to make energy, food, resources, and lifestyles more sustainable (European Commission, 2019). The *Farm to Fork Strategy* aims to make food systems fair, healthy, and environmentally sustainable, introducing 27 policies addressing food production, processing, retail, consumption, and food loss and waste. Complementarily, the *Circular Economy Action Plan* (CEAP – European Commission, 2021) promotes sustainable products, empowers consumers and public buyers, focuses on resource-intensive sectors (including food, water, and nutrients), drives waste reduction, and embeds circularity at local and global levels.

Nationally, Italy has aligned with the 2030 Agenda through its National Sustainable Development Strategy (SNSvS – MASE, 2023), which serves as a framework for regional strategies. In line with CEAP, Italy also introduced the National Circular Economy Strategy (MiTE, 2022), outlining objectives and instruments to 2035. Key priorities include eco-design, reuse and repair, end-of-waste regulation, critical raw materials, secondary raw material markets, green public procurement, industrial symbiosis, extended producer responsibility, and digitalization.

At the regional level, Piedmont has adopted its Regional Sustainable Development Strategy (SRSvS – Regione Piemonte, 2022), structured around: i) an integrated knowledge system

standardized to indicator frameworks; ii) an integrated method for policy design and territorialization; and iii) a governance model linking institutional and territorial systems. The strategy explicitly adopts CE as a socio-economic model for enabling sustainable transition, industrial conversion, and entrepreneurial development, aiming to balance economic, environmental, and social sustainability while increasing competitiveness and reducing environmental impacts and social inequalities.

A common feature across global, European, national, and regional strategies is the use of indicators to monitor progress and communicate sustainability and circularity principles (UN General Assembly, 2015; European Commission, 2023). In this research, indicators are understood as variables, quantitative or qualitative, that provide information on circularity and its effects (Moraga et al., 2019). Communicating circularity through indicators is therefore essential to interpret the complexity and uncertainty of transition processes (Koch & Krellenberg, 2018), define problems, raise awareness among decision-makers, and expand the decision-making base (Abastante & Mecca, 2025; Lami et al., 2023).

2.3 The indicator as an assessment tool

Indicators are evaluative tools that provide relevant information for decision-making processes (Gallopín, 1996; Waas et al., 2014). Dente and De Vecchi (1999) offer a widely accepted definition, framing an indicator as *“a synthetic quantitative measure, either coinciding with a variable or composed of multiple variables, capable of representing a phenomenon and synthesizing its trend [...] An indicator does not necessarily measure a phenomenon, but rather an element of it that is able to capture a significant dimension. In this sense, the use of a quantitative tool does not preclude highlighting qualitative aspects of the phenomenon under analysis. [...] The aim of evaluation is performance measurement rather than conformity: the goal is thus to obtain a set of data to construct a picture of ‘where we are and where we are heading’.”* In the relationship between sustainability and CE, this definition proves particularly fitting. Without systematic monitoring, sustainability and CE strategies risk evolving into fragmented and incoherent sets of indicators. In such a scenario, firms and institutions operating across different sectors, lacking a shared framework, may adopt solutions aligned only with their individual agendas, without contributing to broader circularity objectives (Pauliuk, 2018).

Against this background, it becomes necessary to establish a concise state-of-the-art overview of existing datasets that monitor indicators assessing progress towards sustainable and circular transitions.

With respect to sustainability, the Sustainable Development Goals (SDGs) are monitored through 248 indicators (UN-IAEG-SDGs, 2024). At the European level, EUROSTAT annually tracks member states' progress toward the SDGs using 102 indicators, partially overlapping with global ones while considering metadata and targets, and publishes reports that include recommendations tailored to each country (EUROSTAT, 2024). Each country is further required to construct a national set of indicators and statistical measures adapted to its specific context and local data availability (UN, 2015; Miola et al., 2019). In Italy, this responsibility is entrusted to the National Institute of Statistics (ISTAT), which monitors the National Strategy for Sustainable Development (SNSvS) and produces annual reports (ISPRA, 2024). In 2024, ISTAT measured 139 of the global indicators (ISTAT, 2024). However, about SDG 12, central to this research, only three indicators are currently monitored by ISTAT: Material Footprint (12.2.1), Recycling Rate (12.5.1), and Green Public Procurement (12.7.1). These are macro-scale indicators.

At the regional level, the Piedmont Region's Strategy for Sustainable Development (SRSvS) incorporates 39 indicators to assess the region's positioning within the national context. Beyond these, the strategy foresees the use of additional meso-scale indicators designed to capture and interpret in greater detail the socio-economic and environmental dynamics of specific territories (Piedmont Region, 2022).

In the transition towards CE, monitoring and analytical tools are likewise organized across multiple territorial scales (macro, meso, and micro). At the European level, the European

Commission has developed the *Circular Economy Monitoring Framework* (European Commission, 2023), which includes 27 indicators grouped into five clusters: Production and Consumption (P&C), Waste Management (WM), Secondary Raw Materials (SRM), Competitiveness and Innovation (C&I), and Ecological Sustainability and Resilience (S&R). These indicators are used to monitor member states' progress and are complemented by the *European Circular Economy Stakeholder Platform* (ECESP – European Commission, 2025), which promotes multi-level practices and policies.

In Italy, the *National Strategy for Circular Economy* (MiTE, 2022) proposes a roadmap to 2035 structured around 25 indicators, consistent with the European framework but limited in terms of territorial disaggregation. Complementary initiatives, such as the Circular Economy Network (2024) and the *Italian Circular Economy Stakeholder Platform* (ICESP – ENEA, 2025), seek to bridge this gap by promoting indicators and practices at meso and micro levels.

At the regional scale, *Regional Strategies for Sustainable Development* (SRSvS), such as that of Piedmont, explicitly incorporate circularity among their economic priorities. Piedmont, for example, applies 39 core indicators in addition to meso-scale analytical tools that enable a more fine-grained assessment of local environmental and production dynamics (Piedmont Region, 2022).

3. Dataset analysis

Building on the theoretical framework, this research conducts an analysis of CE measurement datasets, focusing primarily on three levels of comparison:

- ii) between sets of sustainable development indicators and CE indicators at the European scale (Table 1);
- ii) between the European CE indicator set and the national set (Table 2);
- ii) between regional CE indicators and those adopted at higher governance levels (Table 3).

The latter comparison required a reclassification of the regional indicator set according to the consolidated clusters established at both European and national levels.

With respect to sustainable development, the study concentrates on SDG 12, considered the primary reference for the secondary agri-food sector, as it includes a range of indicators relevant for assessing the performance of production processes linked to the transformation of agricultural raw materials. Specifically, the following indicators were considered: Consumption of chemicals by hazardousness (SDG_12_10): monitors the use of hazardous chemicals, which are frequently employed in the preservation, processing, and packaging of agri-food products; Raw material consumption (SDG_12_21): reflects pressures on material resources, many of which represent primary inputs in agri-food production cycles; Consumption footprint (SDG_12_31): assesses the environmental impact of domestic consumption, accounting for global supply-chain pressures along product life cycles—particularly relevant for a sector strongly engaged in import/export activities; Circular material use rate (SDG_12_41): measures the share of materials reintroduced into the economic system, a key parameter for evaluating recycling and the reuse of food by-products and industrial waste; Generation of waste by hazardousness (SDG_12_51): tracks both the volume and type of waste generated through industrial treatment processes; Gross value added in the environmental goods and services sector (SDG_12_61): measures the contribution of the agri-food sector to green economic growth, including activities linked to sustainable production and efficient resource management.

In addition, two complementary indicators, though not formally codified under SDG 12, were also included given their relevance in assessing its performance: Energy productivity (SDG_07_30), which measures energy efficiency in production processes, a crucial factor in agri-food transformation facilities; Average CO₂ emissions per km from new passenger cars (SDG_13_20) that provides insights into logistics and the large-scale distribution of food products.

As for CE, the *Circular Economy Monitoring Framework* (European Commission, 2023) provides a structured set of indicators to track progress toward the objectives of the Circular Economy

Action Plan (CEAP) (European Commission, 2021). The framework is organized into five thematic clusters:

- Production and Consumption (P&C): nine indicators assessing resource-use efficiency and the environmental impact of production and consumption patterns.
- Waste Management (WM): five indicators addressing recycling rates and waste prevention.
- Secondary Raw Materials (SRM): five indicators evaluating the use of recycled materials and their contribution to raw material demand.
- Competitiveness and Innovation (C&I): four indicators examining green innovation, investment, and employment in CE-related sectors.
- Ecological Sustainability and Resilience (S&R): four indicators monitoring overall environmental impacts, including the consumption footprint and greenhouse gas emissions.

The first step of the dataset analysis therefore compares sustainable development and CE indicators within the framework of European Union strategies (EUROSTAT, 2024), highlighting their similarities, differences, and complementarities (Table 1).

Table 1. Analogies (A) and complementarities (C) between SDG 12 indicators and CE indicators (Source: own elaboration from EUROSTAT, 2023 and European Commission, 2023)

DG 12 indicatorsEUROSTAT, 2024	CE IndicatorsMonitoring FrameworkEuropean Commission, 2023	Analogous (A)/ complementary (C) indicators
Raw material consumption	Material footprint	Circular material use rates (A)
Consumption of chemicals by hazardousness	Resource productivity	Consumption footprint (A)
Consumption footprint	Green public procurement	Gross value added in environmental goods and services sector & Gross value added (A)
Circular material use rate	Waste generation per capita	Raw material consumption & Material footprint (A)
Generation of waste by hazardousness	Generation of waste excluding major mineral wastes per GDP unit	Generation of waste by hazardousness & waste generation per capita (C)
Gross value added in environmental goods and services sector	Generation of municipal waste per capita	
Energy productivity	Food waste	
Average CO2 emissions per km from new passenger cars	Generation of packaging waste per capita	
	Generation of plastic packaging waste per capita	
	Recycling rate of municipal waste	
	Recycling rate of all waste excluding major mineral waste	

Fallow Table 1. Analogies (A) and complementarities (C) between SDG 12 indicators and CE indicators (Source: own elaboration from EUROSTAT, 2023 and European Commission, 2023)

DG 12 indicators	EUROSTAT, 2024	CE Indicators	Monitoring Framework	European Commission, 2023	Analogous (A)/ complementary (C) indicators
Average CO2 emissions per km from new passenger cars				Recycling rate of packaging waste overall packaging	
				Recycling rate of plastic packaging percentage	
				Recycling rate of waste of electrical and electronic equipment (WEEE) separately collected	
				Circular material use rate	
				Contribution of recycled materials to raw materials demand - end-of-life recycling input rates (EOL-RIR)	
				Trade in recyclable raw materials - Imports from non-EU countries	
				Trade in recyclable raw materials - Imports to non-EU countries	
				Trade in recyclable raw materials - Intra UE trade	
				Private investments related to circular economy sectors	
				Persons employed in circular economy sectors	
				Gross value added	
				Patents related to recycling and secondary raw materials	
				Consumption footprint	
				Greenhouse gases emissions from production activities	
				Material import dependency	
				EU self-sufficiency for raw materials	

As shown in Table 1, the two European datasets analysed present markedly different numbers of indicators, resulting in both overlaps and divergences. In terms of similarities, two indicators are explicitly shared by both frameworks: Circular material use rate, which measures the proportion of recycled materials reintroduced into the economy, and Consumption footprint, which captures the overall life-cycle impact of goods and services. Furthermore, although calculated through different methodologies, Raw material consumption (RMC) and Material footprint both assess the use of primary resources and can therefore be considered analogous. Similarly, Gross value added in environmental goods and services sector and Gross value added

measure the same phenomenon, namely the economic value generated by environmental goods, although the SDG 12 framework specifies this within the services sector.

Beyond these overlaps, the two sets also include complementary indicators, making the frameworks mutually reinforcing. For instance, Generation of waste by hazardousness, which focuses on safe management policies and specialized treatment, complements Waste generation per capita, which is more relevant to prevention and waste reduction strategies. Moreover, the CE framework significantly broadens the analytical scope compared to SDG 12, integrating indicators related to waste production and management, systemic efficiency, intra and extra EU market measures, as well as energy and environmental dimensions.

By contrast, SDG 12 lacks critical indicators for measuring CE, such as recycling rates, economic values, waste management practices, material reuse, and attention to technological innovation. Conversely, the CE framework omits indicators concerning hazardous chemical consumption and consumer responsibility. As a result, neither framework is exhaustive on its own; rather, their joint use is necessary to more effectively pursue strategic objectives of sustainability and circularity.

The second step of the dataset analysis compares the CE indicators introduced at the European level (Table 1) with those at the national level (MiTE, 2022). Compared to the European framework, the Italian National Strategy for the Circular Economy proposes 25 indicators for monitoring the implementation of strategic objectives, organized into nine thematic clusters. The clusters include production and consumption, promoting sustainable production and consumption models with a focus on resource efficiency and waste reduction; waste management, addressing prevention, collection, treatment, and disposal of waste, with emphasis on recycling and recovery; secondary raw materials, measuring the capacity to reintegrate recovered materials into production cycles; competitiveness and innovation, fostering the transition toward a circular economy through research, development, and green investment; sustainability and resilience, including cross-cutting principles linked to ecological systems' capacity to adapt and withstand environmental pressures; soil remediation, monitoring the reclamation of contaminated sites and the recovery of degraded soils; water resources, assessing efficiency in the use and management of water; air quality, focusing on reducing air pollution, including that linked to waste management; and environmental education, promoting public awareness and citizen engagement in the ecological transition.

Table 2 therefore presents a comparative analysis between the Circular Economy Monitoring Framework (European Commission, 2023) and the Italian National Strategy for the Circular Economy (MiTE, 2022). The comparison assesses the coherence of the two monitoring systems and their effectiveness in guiding public policy, fostering investment, and supporting the circular transition across different levels of governance. Notably, the "clusters" column in Table 2 follows the categorization adopted in the National Strategy for the Circular Economy.

Table 2. Common CE indicators at European and national scale (Source: own elaboration based on EUROSTAT and European Commission, 2023 and on CE National Strategy dataset, 2022)

Clusters	Common indicators	CE Indicators Strategia Nazionale dell'Economia Circolare MiTE, 2022	Common indicators
<i>Production and consumption (P&C)</i>	Material footprint	Green public procurement	Green public procurement
	Resource productivity	Waste generation	Waste generation
	Green public procurement	Material footprint	Material footprint
	Waste generation per capita	Waste management costs	Food waste
	Generation of waste excluding major mineral wastes per GDP unit	Food waste	-
	Generation of municipal waste per capita	-	-
	Food waste	-	-
	Generation of packaging waste per capita	-	-
	Generation of plastic packaging waste per capita	-	-
<i>Waste management (WM)</i>	Recycling rate of municipal waste	Preparation for re-use	Recycling rate of municipal waste
	Recycling rate of all waste excluding major mineral waste	Recycling rate of municipal waste	Recycling rate of waste excluding major mineral waste
	Recycling rate of packaging waste overall packaging	Recycling rate of waste excluding major mineral waste	Recycling rate of packaging waste packaging
	Recycling rate of plastic packaging percentage	Recycling rate of packaging waste packaging	Recycling rate of plastic packaging
	Recycling rate of waste of electrical and electronic equipment (WEEE) separately collected	Recycling rate of plastic packaging	Recycling rate of waste electrical and electronic equipment (WEEE)
	-	Wood packaging waste recycling rate	-
	-	Recycling rate of waste electrical and electronic equipment (WEEE)	-
	-	Recycling rate of organic municipal waste	-

Follow Table 2. Common CE indicators at European and national scale (Source: own elaboration based on EUROSTAT and European Commission, 2023 and on CE National Strategy dataset, 2022)

Clusters	Common indicators	CE Indicators Strategia Nazionale dell'Economia Circolare MiTE, 2022	Common indicators
<i>Secondary raw materials (SRM)</i>	Circular material use rate	Contribution of recycled materials to raw material demand – circular material use rate	Circular material use rate
	Contribution of recycled materials to raw materials demand - end-of-life recycling input rates (EOL-RIR)	-	-
	Trade in recyclable raw materials - Imports from non-EU countries	-	-
	Trade in recyclable raw materials - Imports to non-EU countries	-	-
	Trade in recyclable raw materials - Intra UE trade	-	-
<i>Competitiveness and Innovation (C&I)</i>	Private investments related to circular economy sectors	Investments related to circular economy sectors – patents related to the circular economy	Patents related to the circular economy
	Persons employed in circular economy sectors	Measures for 'Faro' Project	Investments related to circular economy sectors
	Gross value added	Measures for waste management improvement projects	-
	Patents related to recycling and secondary raw materials	Measures for economic and productive activities in the circular economy sectors support	-
<i>Ecological Sustainability and Resilience (S&R)</i>	Consumption footprint	-	-
	Greenhouse gases emissions from production activities	-	-
	Material import dependency	-	-
	EU self-sufficiency for raw materials	-	-

Follow Table 2. Common CE indicators at European and national scale (Source: own elaboration based on EUROSTAT and European Commission, 2023 and on CE National Strategy dataset, 2022)

Clusters	Common indicators	CE Indicators Strategia Nazionale dell'Economia Circolare MiTE, 2022	Common indicators
<i>Soil - soil remediation</i>	-	Rehabilitated Orphan Sites	-
	-	Reduction of Nationally Significant Contaminated Sites	-
<i>Water resource - Purification</i>	-	Wastewater Treatment	-
<i>Air quality - Emissions</i>	-	Contribution of Greenhouse Gases in the Waste Sector	-
	-	Urban Air Quality	-
<i>Environmental education</i>	-	Communication campaigns on circular economy	

As illustrated in Table 2, the two indicator frameworks under analysis share four clusters: production and consumption, waste management, secondary raw materials, and competitiveness and innovation. At the indicator level, numerous similarities are evident, particularly across twelve key indicators: four within the production and consumption cluster, five within waste management, one within secondary raw materials, and two within competitiveness and innovation. These indicators are directly comparable between the two frameworks as they share common definitions and units of measurement. This alignment demonstrates the coherence of the Italian approach with the European framework, facilitating reporting and the integration of national data into European-level monitoring, which is essential for assessing progress toward strategic objectives.

From another perspective, the two frameworks are complementary in defining strategies. The European framework includes the cluster of global sustainability and resilience, which in the national framework does not have dedicated indicators and is currently defined through general guidelines. Conversely, the national indicator framework incorporates additional clusters which are not present at the European level, addressing soil conditions, water resource management, air quality, and environmental education. These indicators complement the European framework by reflecting the specific characteristics of the Italian context and aligning with national policy priorities. Indicators supporting economic activities connected to the circular economy reflect Italian policy priorities in promoting innovation and the transition of the productive sector, while indicators on communication and environmental education emphasize the role of behavioural change and public awareness. These complementary indicators provide a richer understanding of implementation at the national level and enable policymakers to address context-specific economic and environmental challenges.

Despite the similarities and complementarities, some significant discrepancies remain. Notably, the European framework includes indicators on international trade of recyclable materials and dependence on raw material imports, which are not captured by the Italian strategy but are essential for assessing supply chain resilience. These gaps indicate a need for greater harmonization between the two levels of monitoring and suggest potential extensions of the EU framework, incorporating operational and policy-relevant indicators already in use at the national level. More generally, all indicators remain focused on macro-scale measurement, overlooking meso- and micro-scale dimensions.

The third step of the dataset analysis advances the comparison further by examining indicators developed at the European, national, and regional levels, specifically referencing the Circular Economy indicator system of the Piedmont Region. The analysis proposes a structured comparison (Table 3) to assess the extent to which supra-national and national strategies are implemented and adapted at the regional level, particularly with respect to territorial industrial and production policies. It is important to note that the regional strategy explicitly refers to CE principles, although it does not classify indicators into clusters. To facilitate comparison across the different indicator sets, each regional indicator was assigned to the clusters adopted in the European and national frameworks, ensuring coherence with higher-level strategies.

Table 3. Comparison of CE indicators at European, national and regional scale (Source: own elaboration from EUROSTAT, 2023; European Commission, 2023; CE National Strategy dataset, 2022; Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Clusters	CE Indicators Monitoring FrameworkEuropean Commission, 2023	CE Indicators Strategia Nazionale dell'Economia Circolare MiTE, 2022	CE Indicators SRSvSPiedmont Region, 2022
<i>Production and consumption (P&C)</i>	Material footprint	Green public procurement	Non-hazardous special waste produced by production activities
	Resource productivity	Waste generation	Hazardous special waste produced by production activities
	Green public procurement	Material footprint	-
	Waste generation per capita	Waste management costs	-
	Generation of waste excluding major mineral wastes per GDP unit	Food waste	-
	Generation of municipal waste per capita	-	-
	Food waste	-	-
	Generation of packaging waste per capita	-	-
	Generation of plastic packaging waste per capita	-	-
<i>Waste management (WM)</i>	Recycling rate of municipal waste	Preparation for re-use	Special Waste incineration plants or energy recovery plants
	Recycling rate of all waste excluding major mineral waste	Recycling rate of municipal waste	Green composting plants and mechanical-biological treatment plants
	Recycling rate of packaging waste overall packaging	Recycling rate of waste excluding major mineral waste	-
	Recycling rate of plastic packaging percentage	Recycling rate of packaging waste packaging	-

Follow Table 3. Comparison of CE indicators at European, national and regional scale (Source: own elaboration from EUROSTAT, 2023; European Commission, 2023; CE National Strategy dataset, 2022; Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Clusters	CE Indicators Monitoring FrameworkEuropean Commission, 2023	CE Indicators Strategia Nazionale dell'Economia Circolare MiTE, 2022	CE Indicators SRSvSPiedmont Region, 2022
<i>Waste management (WM)</i>	Recycling rate of waste of electrical and electronic equipment (WEEE) separately collected	Recycling rate of plastic packaging	-
	-	Wood packaging waste recycling rate	-
	-	Recycling rate of waste electrical and electronic equipment (WEEE)	-
	-	Recycling rate of organic municipal waste	-
<i>Secondary raw materials (SRM)</i>	Circular material use rate	Contribution of recycled materials to raw material demand – circular material use rate	-
	Contribution of recycled materials to raw materials demand - end-of-life recycling input rates (EOL-RIR)	-	-
	Trade in recyclable raw materials - Imports from non-EU countries	-	-
	Trade in recyclable raw materials - Imports to non-EU countries	-	-
	Trade in recyclable raw materials - Intra UE trade	-	-
<i>Competitiveness and Innovation (C&I)Ecological Sustainability and Resilience (S&R)</i>	Private investments related to circular economy sectors	Investments related to circular economy sectors – patents related to the circular economy	Total registered enterprises
	Persons employed in circular economy sectors	Measures for 'Faro' Project	Total enterprise demographic balance
	Gross value added	Measures for waste management improvement projects	Enterprise growth rate
	Patents related to recycling and secondary raw materials	Measures for economic and productive activities in the circular economy sectors support	Enterprises that made investments (2016–2018) and produce enabling technologies
	-	-	Enterprises that made investments (2016–2018) and use enabling technologies

Follow Table 3. Comparison of CE indicators at European, national and regional scale (Source: own elaboration from EUROSTAT, 2023; European Commission, 2023; CE National Strategy dataset, 2022; Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Clusters	CE Indicators Monitoring FrameworkEuropean Commission, 2023	CE Indicators Strategia Nazionale dell'Economia Circolare MiTE, 2022	CE Indicators SRSvSPiedmont Region, 2022
	-	-	Enterprises that made investments (2016–2018) and have produced or used enabling technologies – At least one investment area
	-	-	Enterprises with product and/or process innovation activities (per 100 enterprises)
	-	-	Production system innovation rate – Enterprises with at least 10 employees that introduced technological innovations, product and process, (2016–2018), as a percentage of the total enterprises with at least 10 employees
	-	-	Average regional spending on business innovation – Average regional innovation spending per employee in the total business population
	-	-	Business birth rate in knowledge-intensive sectors
	-	-	Three-year survival rate of businesses in knowledge-intensive sectors
	-	-	Employment rate (ages 20–64)
	-	-	Female employment rate (ages 20–64)
	-	-	Number of employees in knowledge-intensive sectors in industry and service enterprises – Employees in knowledge-intensive sectors as a percentage of total employees, in local units of industry and service enterprises

Follow Table 3. Comparison of CE indicators at European, national and regional scale (Source: own elaboration from EUROSTAT, 2023; European Commission, 2023; CE National Strategy dataset, 2022; Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Clusters	CE Indicators Monitoring FrameworkEuropean Commission, 2023	CE Indicators Strategia Nazionale dell'Economia Circolare MiTE, 2022	CE Indicators SRSvSPiedmont Region, 2022
	-	-	Enterprises benefiting in innovation hubs
	Consumption footprint	-	Enterprises that have undertaken actions of environmental sustainability, social responsibility, and safety – TOTAL
	Greenhouse gases emissions from production activities	-	Enterprises that have undertaken actions of environmental sustainability, social responsibility and safety to reduce environmental impact
	Material import dependency	-	Enterprises that have undertaken actions of environmental sustainability, social responsibility and safety to improve workplace well-being
	EU self-sufficiency for raw materials	-	Enterprises that have undertaken actions of environmental sustainability, social responsibility and safety to support or carry out collective interest initiatives
	-	-	Enterprises that have undertaken actions of environmental sustainability, social responsibility and safety to support or carry out initiatives benefiting the local production system
	-	-	Enterprises that have undertaken actions of environmental sustainability, social responsibility and safety to increase safety levels within the enterprise or near area

Follow Table 3. Comparison of CE indicators at European, national and regional scale (Source: own elaboration from EUROSTAT, 2023; European Commission, 2023; CE National Strategy dataset, 2022; Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Clusters	CE Indicators Monitoring FrameworkEuropean Commission, 2023	CE Indicators Strategia Nazionale dell'Economia Circolare MiTE, 2022	CE Indicators SRSvSPiedmont Region, 2022
	-	-	Enterprises benefiting from interventions related to energy efficiency and installation of renewable energy systems
Soil - soil remediation	-	Rehabilitated Orphan Sites	-
	-	Reduction of Nationally Significant Contaminated Sites	-
Water resource - Purification	-	Wastewater Treatment	Density of consortium treatment plants
Air quality - Emissions	-	Contribution of Greenhouse Gases in the Waste Sector	-
	-	Urban Air Quality	-
Environmental education	-	Communication campaigns on circular economy	-

The comparison between the three frameworks (Table 3) reveals that no single indicator is directly aligned across all three strategies. However, partial overlaps exist in the dimensions of production and consumption, waste management, particularly concerning special and hazardous waste, and competitiveness and innovation, including employment in circular or knowledge-intensive sectors. Between the national and regional datasets, further convergence is observed regarding special waste generation, investments in technology and innovation, and environmental and social actions by firms, captured through regional indicators on corporate social responsibility, workplace well-being, and safety.

The three frameworks are thus largely complementary, offering a multi-level coverage that reflects different governance scales and strategic priorities. The European dataset provides a macro-structural perspective with systemic indicators such as material footprint, resource productivity, intra- and extra-EU trade flows, patents, and greenhouse gas emissions. It also emphasizes material flow, waste cycles, value added, and employment in circular economy sectors. The national dataset integrates operational, regulatory, and environmental indicators, including governance tools such as green public procurement, circular economy communication campaigns, interventions in production sectors, and wastewater treatment. It also highlights social and territorial impact measures, such as contaminated site remediation and urban air quality. The regional strategy offers a territorial and entrepreneurial perspective, encompassing firm-level dynamics including business birth, growth, and survival, measures of technological innovation and participation in innovation hubs, sustainability actions and corporate social responsibility, infrastructure data for incineration, mechanical-biological treatment, composting, and wastewater treatment plants, as well as enterprise-specific interventions on energy efficiency and

enabling technologies, which are particularly relevant for local policy-making.

A closer analysis of the regional strategy shows that most indicators focus on the competitiveness and innovation dimension, articulating the European investment perspective at the regional level through fifteen indicators. These indicators provide evidence on entrepreneurial capacity to introduce technological innovations in products and processes, innovation rates within the production system, average innovation expenditure, firm dynamics and employment in knowledge-intensive sectors, and overall employment rates. Regarding waste production, the Piedmont region limits application to the productive sector, distinguishing between hazardous and non-hazardous waste through two indicators. In the sustainability and resilience dimension, in the absence of equivalent European or national indicators, seven regional indicators measure voluntary corporate sustainability actions, including reductions in environmental impact, improvements in workplace well-being, collective or local system initiatives, participation in local innovation hubs, and the number of enterprises benefiting from energy efficiency and renewable energy interventions. Only two measures in the regional dataset relate to waste management, namely incineration and composting facilities. One regional indicator addresses wastewater treatment, reflecting the national focus by introducing the density of consortial treatment plants.

No regional indicators directly measure the secondary raw materials dimension, a critical component of the circular economy. This limitation reduces the capacity to effectively monitor recovery, reuse, and reintegration of resources, which are essential pillars in the transition toward a circular and sustainable production model.

Overall, significant gaps remain across the three frameworks. The European framework does not consider local environmental quality, voluntary corporate actions, or participation in territorial innovation hubs. The national framework lacks indicators on firm demographics, structured innovation, and the territorial distribution of infrastructure. The regional framework does not include key indicators for assessing material circularity, such as material footprint, resource productivity, circular material use rate, secondary raw material utilization, EU/non-EU trade flows, or indicators on environmental and strategic governance.

Analysing the regional strategy in the context of the European framework suggests that Piedmont invests more in conserving embedded energy through incineration and composting and in measuring the linear economy as a reference scenario, rather than promoting higher-value circular strategies such as product life extension, service/product functions, and the use of secondary materials through recycling or upcycling. This indicates a perspective still partially oriented toward managing existing resources rather than fully transitioning to high-value circular models.

4. Indicators' gap

After conducting a detailed analysis of the similarities and differences between indicator sets derived from official sources and identifying gaps in terms of content and alignment with circular economy clusters, the research continues with an examination of the operational aspects of the indicators. The goal is to understand whether and how these indicator sets can be operationalized to support the secondary agri-food system at the meso scale.

According to the scientific literature, the selection and evaluation of the operational validity of indicators can be based on three main criteria:

- i) **Relevance to the objective:** Indicators must be directly related to the objectives of the strategy, program, or action plan, as well as to the specific field of study. This link is essential to ensure the representativeness and usefulness of the selected measurements (Lami et al., 2023; Hák et al., 2016; Lennie et al., 2011; Zall Kusek & Rist, 2004).
- ii) **Relevance to the context:** Indicators must be appropriate for the territorial scale and the specific priorities of the local context. Indicators developed for the macro scale, for example, may be inadequate for representing phenomena at the meso or micro scale, reducing their interpretative effectiveness (da Silva et al., 2020; Miola et al., 2019; Hák et al., 2016).

- iii) Feasibility: The operational aspects of indicators must account for the limitations related to data availability, quality, continuity, and granularity, as well as their integration with geospatial information. Difficulties in accessing and using existing databases, often non-interoperable or based on closed technologies, represent a significant obstacle to their effective application (Lami et al., 2023; van Vuuren et al., 2022; da Silva et al., 2020; Hák et al., 2016).

Within the SRSvS framework, the Piedmont Region adopts the circular economy as a guiding principle to direct regional planning toward a development model that combines competitiveness, environmental sustainability, and social equity. In particular, the strategic objectives and guidelines outlined by Strategic Macro-Area 1 (MAS 1) aim at transforming the regional production system and promoting new entrepreneurship in a circular perspective through technological and social innovation levers (Piedmont Region, 2022).

Table 4. Indicators' gap at regional scale (Source: own elaboration from Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Clusters	Aims SRSvS Piedmont Region, 2022 MAS 1 (Pr. 1a e 1b)	CE Indicators SRSv SPiedmont Region, 2022 MAS 1 (Pr. 1a e 1b)
<i>Production and consumption (P&C)</i>	Increase the sustainability of products and production processes, also by leveraging the full potential of the most innovative technologies (OBJ. 1)	Non-hazardous special waste produced by production activities
	-	Hazardous special waste produced by production activities
<i>Waste management (WM)</i>	-	Special Waste incineration plants or energy recovery plants
	-	Green composting plants and mechanical-biological treatment plants
<i>Secondary raw materials (SRM)</i>	Support the creation of regional value chains (OBJ. 3)	-
<i>Competitiveness and Innovation (C&I)</i>	Support the development of new high-innovation production specializations based on the circular economy and bioeconomy paradigms (OBJ. 2)	Total registered enterprises
	Promote research and innovation by enhancing the synergy between the production sector and the research system (OBJ. 4)	Total enterprise demographic balance
	-	Enterprise growth rate
		Enterprises that made investments (2016–2018) and produce enabling technologies

Fallow Table 4. Indicators' gap at regional scale (Source: own elaboration from Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Clusters	Aims SRSvS Piedmont Region, 2022 MAS 1 (Pr. 1a e 1b)	CE Indicators SRSv SPiedmont Region, 2022 MAS 1 (Pr. 1a e 1b)
<i>Competitiveness and Innovation (C&I)</i>	-	Enterprises that made investments (2016–2018) and use enabling technologies
	-	Enterprises that made investments (2016–2018) and have produced or used enabling technologies – At least one investment area
	-	Enterprises with product and/or process innovation activities (per 100 enterprises)
	-	Production system innovation rate – Enterprises with at least 10 employees that introduced technological innovations, product and process, (2016–2018), as a percentage of the total enterprises with at least 10 employees
	-	Average regional spending on business innovation – Average regional innovation spending per employee in the total business population
	-	Business birth rate in knowledge-intensive sectors
	-	Three-year survival rate of businesses in knowledge-intensive sectors
	-	Employment rate (ages 20–64)
	-	Female employment rate (ages 20–64)
	-	Number of employees in knowledge-intensive sectors in industry and service enterprises – Employees in knowledge-intensive sectors as a percentage of total employees, in local units of industry and service enterprises
<i>Ecological Sustainability and Resilience (S&R)</i>	-	Enterprises benefiting in innovation hubs
	-	Enterprises that have undertaken actions of environmental sustainability, social responsibility, and safety – TOTAL

Fallow Table 4. Indicators' gap at regional scale (Source: own elaboration from Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Clusters	Aims SRSvS Piedmont Region, 2022 MAS 1 (Pr. 1a e 1b)	CE Indicators SRSv SPiedmont Region, 2022 MAS 1 (Pr. 1a e 1b)
<i>Ecological Sustainability and Resilience (S&R)</i>	-	Enterprises that have undertaken actions of environmental sustainability, social responsibility and safety to reduce environmental impact
	-	Enterprises that have undertaken actions of environmental sustainability, social responsibility and safety to improve workplace well-being
	-	Enterprises that have undertaken actions of environmental sustainability, social responsibility and safety to support or carry out collective interest initiatives
	-	Enterprises that have undertaken actions of environmental sustainability, social responsibility and safety to support or carry out initiatives benefiting the local production system
	-	Enterprises that have undertaken actions of environmental sustainability, social responsibility and safety to increase safety levels within the enterprise or near area
	-	Enterprises benefiting from interventions related to energy efficiency and installation of renewable energy systems
<i>Water resource - Purification</i>	-	Density of consortium treatment plants

Based on the three criteria outlined above, the analysis highlights several gaps in the current regional CE indicator set (Piedmont Region, 2022).

Regarding the first criterion, relevance to the objective, the regional strategy outlines strategic goals and guidance without explicitly structuring an operational set of indicators linked to these objectives (Table 4). In particular, the stated objective of experimenting with the closure of production cycles at the regional level, starting with the most mature supply chains, such as the agri-food sector, is accompanied by conceptual references, including support from utilities, the transition from a service provider model to a “solution partner” model, the adoption of social innovation approaches, and the promotion of circular and systemic models. However, these remain without corresponding operational and quantitative indicators.

This limitation affects the capacity to monitor and concretely evaluate the effectiveness of regional policies, particularly regarding their operational application to the secondary agri-food

system at the meso scale, which requires tools adapted and contextualized to territorial and supply chain specifics.

In general, the analysed indicator set shows good alignment with the strategic objectives outlined by the SRSvS of the Piedmont Region (2022), although some gaps and potential weaknesses remain due to the absence of:

- Indicators related to production cycle closure, industrial symbiosis, and inter-company cooperation;
- Social impact indicators;
- Indicators connected to specific strategic supply chains;
- Indicators specifically oriented to integrated environmental performance.

Regarding relevance to the objective, the current indicator set is strongly focused on innovation and competitiveness aspects of the production system, showing an insufficient capacity to measure circularity dynamics. To improve adherence to CE principles, it is necessary to integrate indicators related to the Production & Consumption dimension, with attention to the environmental quality of products and processes along the entire life cycle (Life Cycle Assessment). For the Secondary Raw Materials dimension, indicators capturing input and output flows are needed, particularly concerning secondary raw materials and the presence of industrial symbiosis practices, valorisation of waste, and by-products. In parallel, for the Competitiveness & Innovation dimension, technological and organizational innovation should be explicitly addressed in a circular perspective, for example by introducing indicators on the emergence of CE-oriented start-ups and spin-offs and the diffusion of innovative business models, such as leasing, pay-per-use, or utility-as-a-service. For Waste Management, there is a need to integrate indicators measuring recovery efficiency and the percentage of waste reintegrated into production cycles. Overall, measuring circularity requires an indicator structure consistent with the five thematic clusters consolidated at the European and national levels.

Regarding the second criterion, relevance to the context, the indicators included in the SRSvS of the Piedmont Region (2022) are mainly positioned at the meso scale, observing the regional production system in aggregate. While useful for outlining general dynamics of innovation, sustainability, and entrepreneurship, these indicators do not allow a detailed reading of phenomena and specificities of individual production chains.

For example, indicators such as the innovation rate, special waste production, or average R&D expenditure are referenced to entire sectors or territorial aggregates but do not provide disaggregated evidence on individual value chains, their localization, or interconnections necessary to assess industrial symbiosis. As noted by Nakamura and Managi (2020), micro-scale analysis is essential to capture sectoral and territorial differences and to support targeted policies on specific hubs or districts.

Relevance to the context also implies that CE measurement should be more specifically tailored to individual sectors or supply chains. Data collection and analysis should provide disaggregated information on secondary raw materials, environmental impact of processing activities, and the spread of start-ups and business models oriented toward circularity. A more detailed mapping of the density and quality of circular business networks, such as zero-waste industrial hubs, local reuse platforms, and logistics and technology centres dedicated to material exchange among companies, is also needed. Measurement of waste should be strengthened, linking the type of waste generated by different supply chains with the types of facilities available locally to more precisely assess recovery efficiency per production sector.

Regarding the third criterion, feasibility, the SRSvS indicator set of the Piedmont Region (2022) is only partially compliant. Although six institutional bodies are responsible for data collection and dissemination (ISTAT, Finpiemonte, Unioncamere, Agenzia delle Entrate, Piedmont Region, ARPA Piemonte), the databases they manage present significant limitations in terms of operability and data accessibility. Many indicators rely on aggregated, heterogeneous, and outdated information, severely compromising the possibility of using these data for operational

purposes, such as monitoring circular performance at the supply chain level or defining targeted policies.

In some cases, to obtain data effectively useful at the micro scale, such as on corporate sustainability practices, adoption of circular technologies, or industrial symbiosis, alternative data sources are required, including private databases or surveys conducted by trade associations and producer organizations. This makes the use of public indicators less effective in supporting territorial governance of the circular transition.

5. Conclusions and future developments

This research critically analysed the indicator sets currently used to measure CE at the meso scale, with a specific focus on the secondary agroindustry sector in Piedmont (Italy). Based on a literature review, an analysis of regional policies, and a comparison of existing frameworks, elements useful for addressing the three guiding questions of the study were identified.

- i) Which indicators are currently used to measure CE in line with major European strategies? The analysis showed that the indicators currently in use are mostly derived from international and strategic frameworks, partially adopted by regional strategies but not always adapted to the meso scale. They primarily cover the European CE thematic clusters, but their level of detail, structure, and coherence remain heterogeneous. The most consolidated indicators refer to resource efficiency, waste management, and R&D expenditure, while indicators related to industrial symbiosis, inter-company cooperation, and environmental and social impacts along the supply chain remain underdeveloped.
- ii) What are the strengths and weaknesses of these indicators with reference to the secondary agri-food system at the meso scale? The main strengths lie in the presence of an existing institutional infrastructure for data collection and the general alignment between regional objectives and CE principles. However, significant weaknesses emerge in terms of coverage, with low disaggregation for specific sectors such as the secondary agri-food system; territorial adequacy, since many indicators operate at the regional or national scale without allowing analysis at the level of districts, hubs, or business networks; operational dimension, with data often aggregated, discontinuous, and poorly interoperable; and impact measurement, particularly regarding the integrated social and environmental dimensions of circularity.
- iii) How can these indicators be translated from a strategic to an operational perspective? To facilitate the transition from a strategic to a fully operational perspective, the research proposes several priority directions, including:
 - Sectoral adaptation of indicators through the definition of metrics specific to production chains, such as those in the agri-food system, capable of capturing key processes such as reuse, internal recycling, waste transformation, and adoption of circular business models;
 - Greater territorial granularity through the collection of disaggregated data for districts, hubs, or functional areas, also involving consortia, trade associations, and local utilities;
 - Development of composite indicators (Freudenberg, 2003; Rijpma et al., 2025) capable of integrating environmental, economic, and social dimensions, and highlighting industrial symbiosis practices (Chertow, 2000; Lombardi & Laybourn, 2012);
 - Strengthening the information system by improving data quality, frequency, and accessibility, also using alternative sources such as administrative data, open data, and citizen-generated data (Wu, 2020).

In summary, the transition toward a more circular agri-food system requires integrated action on indicator quality, contextualization, and the construction of enabling data infrastructures to provide truly operational tools for guiding and monitoring the sustainable

transformation of production systems at the meso scale. Future work could focus on piloting indicators and co-designing monitoring tools with local stakeholders to translate CE principles into measurable and implementable practices.

In this context, systemic strengthening of monitoring capabilities is necessary through the definition of new disaggregated indicators by sector, territory, and life cycle stage, integrated with established methodologies such as Life Cycle Assessment (LCA), Material Flow Analysis (MFA), and multi-criteria decision-making approaches (Sala et al., 2021; Figueira et al., 2005). These tools, if supported by multi-level and multi-actor governance, can not only provide a more realistic reading of circularity processes but also foster the emergence of systemic innovation practices capable of integrating environmental, social, and economic dimensions. The use of alternative data, including those generated by local stakeholders, producer organizations, and supply chains, or derived from non-conventional sources such as citizen-generated data (Wu, 2020), could help fill informational gaps, making the measurement system more dynamic and adaptable.

Authors' contribution

The work should be attributed equally to all authors.

Fundings

This publication is part of the project NODES which has received funding from the MUR - M4C2 1.5 of PNRR funded by the European Union - NextGenerationEU (Grant agreement no. ECS00000036)

Bibliography

- Abastante F., Mecca B. (2025). Urban projects and the policy-making cycle: indicators for effective governance. *Sustainability*, 17(14), 6305.
- Abastante F., Penza M. (2025). Towards Sustainable Neighbourhoods: Implementing an Integrated Evaluation System. *Valori e Valutazioni*, (37).
- Adamo M., Cavalletto S., Tron S. (2023). *Piemonte Rurale 2023: Rapporto annuale dell'Osservatorio Rurale*. Istituto di Ricerche Economico Sociali del Piemonte. https://www.ires.piemonte.it/wp-content/uploads/pubblicazioni/Pubblicazioni_2023/Piemonte-Rurale-2023.-Rapporto-annuale-dell'Osservatorio-Rurale.pdf
- Adamo M. & Cavalletto S. (2024). *Piemonte Rurale 2024: Rapporto annuale dell'Osservatorio Rurale*. Istituto di Ricerche Economico Sociali del Piemonte. https://www.ires.piemonte.it/wp-content/uploads/pubblicazioni/Pubblicazioni_2024/Piemonte-Rurale-2024.-Rapporto-annuale-dell'Osservatorio-Rurale.pdf
- Aimone S. & Vernoni G. (2021). *Imprese, lavoro e competenze nel sistema agroalimentare piemontese: Una ricognizione a supporto della gestione della formazione professionale* (Rapporto di ricerca). Istituto di Ricerche Economico Sociali del Piemonte. <https://sisform.piemonte.it/ambiti-osservazione/analisi-dei-fabbisogni>
- Blomsma F. & Brennan G. (2017). The emergence of circular economy: A new framing around prolonging resource productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 603–614. <https://doi.org/10.1111/jiec.12603>
- Chertow M.R. (2000). Industrial symbiosis: Literature and Taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment* 25, 313–337
- Circular Economy Network (2024). *6° Rapporto sull'economia circolare in Italia*. <https://circular-economy-network.it/wp-content/uploads/2024/05/CEN2024-Impagina-TOT-DEF.pdf>
- da Silva J., Fernandes V., Limont M. & Bonino Rauen W. (2020). Sustainable development assessment from a capitals perspective: Analytical structure and indicator selection criteria, *Journal of Environmental Management*, Vol. 260, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110147>
- Dente B. & De Vecchi G., (1999). "La valutazione e il controllo strategico", in Azzone G., Dente B.

- (eds.), *Valutare per governare*, Etas, Milano, 1999
- Dragomir V. & Dumitru M. (2024). *The state of the research on circular economy in the European Union: A bibliometric review*. *Cleaner Waste Systems*, 7, 100127. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100127>
- Ellen MacArthur Foundation (2015). *Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition*. <https://doi.org/2012-04-03>
- Ellen MacArthur Foundation (2021). *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. Ellen MacArthur Foundation. <https://content.ellenmacarthurfoundation.org/m/3eac8667edd240cc/original/Completing-the-picture-How-the-circular-economy-tackles-climate-change.pdf>
- ENEA (2025). *Piattaforma Italiana degli attori per l'Economia Circolare (ICESP)*. Recuperato da <https://www.icesp.it/>
- European Commission (2019). *The European Green Deal*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>
- European Commission (2021). *Circular Economy Action Plan*. https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_it?etrans=it
- European Commission (2023). *Circular Economy Monitoring Framework*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/monitoring-framework>
- European Commission (2025). *European Circular Economy Stakeholder Platform*. <https://circular-economy.europa.eu/platform/en>
- EUROSTAT (2024). *Sustainable development in the European Union - Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context* doi: 10.2785/98370 <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-flagship-publications/w/ks-05-24-071>
- Fabianelli A. (2024). Local value creation for developing business relationships: An SME case study in the pasta industry. *Italian Journal of Marketing*, 2024(1)
- Fanfani R. (2009). Structural Changes and the Role of Districts in the Development of the Italian Food Industry. *Sociologia Ruralis*, 49(3), 207–225
- Fassio F. & Tecco N., 2018. *Turin Food Atlas: Sharing knowledge towards urban food policies to develop circular cities*.
- Fassio F. (2022). *Economia circolare nel sistema agroalimentare piemontese. Rapporto di ricerca*. https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2023-02/report_unisg_definitivo.pdf
- Fassio F. & Tecco N. (2018). *Circular Economy for Food. Matter, energy and knowledge, in a circle*. Edizioni Ambiente, Milan, Italy. ISBN 9788866272588
- Fassio F. & Minotti B. (2019). Circular Economy for Food Policy: The Case of the RePoPP Project in The City of Turin (Italy). *Sustainability* 11, no. 21: 6078
- Fauzi M.A., Zainal Abidin N.H., Omer M.M., Kineber A.F. & Abdul Rahman A.R. (2024). *Role of sustainable development goals in advancing the circular economy: A state-of-the-art review on past, present and future directions*. *Waste Management & Research*, 42(7), 1234-1250
- Figueira J., Greco S. & Ehrigott M. (Eds.) (2005). *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021). *The State of Food and Agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4476en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022). *The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging automation in agrifood systems*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/1c329966-521a-4277-83d7-07283273b64b/content>
- Freudenberg M. (2003). Composite indicators of country performance: a critical assessment
- Galardi M., Moruzzo R., Riccioli F., Granai G. & Di Iacovo F. (2022). Small Rural Enterprises and Innovative Business Models: A Case Study of the Turin Area. *Sustainability*, 14(3), 1265
- Gallopín G.C. (1996). Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach. *Environ. Model. Assess.* 1, 101–117. <https://doi.org/10.1007/BF01874899>

- 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
- Geng, Y., Sarkis J. & Bleischwitz R. (2019). How to globalize the circular economy. *Nature* 565, 153–155. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-00017-z>
- Ghisellini P., Cialani C. & Ulgiati S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *J. Clean. Prod.* 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Håk T., Janoušková S. & Moldan B. (2016). Sustainable Development Goals: A need for relevant indicators, *Ecological Indicators*, Vol. 60, 2016, pp. 565-573. <https://doi.org/10.1016/j.ecoind.2015.08.003>
- International Organization for Standardization (2024). ISO 59004:2024 – Circular economy – Vocabulary, principles and implementation guidance. ISO. <https://www.iso.org/standard/81621.html>
- ISPRA (2024). Ambiente in Italia: uno sguardo d'insieme. Annuario dei dati ambientali 2024. https://indicatoriambientali.isprambiente.it/sites/default/files/pdf/Ambiente%20in%20Italia%202024/Ambiente%20in%20Italia-Annuario%202024_finaleA4.pdf
- ISTAT (2024). Rapporto SDGs 2024. Informazioni statistiche per l'Agenda 2030 in Italia. <https://www.istat.it/produzione-editoriale/rapporto-sdgs-2024/>
- Italian Circular Economy Stakeholder Platform (2019). *Rapporto delle attività 2018. Strumenti per la misurazione dell'economia circolare del GdL 3 della Piattaforma ICESP*. <https://www.icesp.it/GdL/3>
- Italian Circular Economy Stakeholder Platform (2020). *Rapporto 2020. Lo scenario internazionale e nazionale iniziative per la misurazione economia circolare. Aggiornamento del report 2018*. <https://doi.org/10.12910/DOC2020-009>
- Kirchherr J., Reike D. & Hekkert M. (2017). Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling* 127, 221–232
- Koch F. & Krellenberg K. (2018). How to Contextualize SDG 11? Looking at Indicators for Sustainable Urban Development in Germany, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(12):464 DOI:10.3390/ijgi7120464
- Lami I., Abastante F., Gaballo M., Mecca B. & Todella E. (2023). Fostering sustainable cities through additional SDG 11 - related indicators. *Valori e Valutazioni* 32, (45-61)
- Lennie J., Tacchi J., Koirala B., Wilmore M. & Skuse A.J. (2011). *Equal Access Participatory Monitoring and Evaluation Toolkit* https://www.betterevaluation.org/sites/default/files/EA_PM%2526E_toolkit_front_pages%2526introduction_for_publication.pdf, consulted online on December 11th 2022
- Loorbach D., Frantzeskaki N., Avelino F. (2017). Sustainability transitions research: transforming science and practice for societal change. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 42, (599-626)
- Lombardi D.R. & Laybourn P. (2012). Redefining Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology* 16 1, 28-37. DOI:10.1111/j.1530-9290.2011.00444.x
- Ministero della Transizione Ecologica – MiTE (2022). *Strategia nazionale per l'economia circolare. Linee programmatiche per l'aggiornamento, documento per la consultazione*. https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/economia_circolare/SEC_30092021_1.pdf
- Ministero dell'Ambiente e della sicurezza energetica – MASE (2023). *Strategia nazionale per lo sviluppo sostenibile 2023*. https://www.mase.gov.it/portale/documents/d/guest/snsvs22_aggiornata_completa-pdf
- Miola A., Borchardt S., Neher F. & Buscaglia D. (2019). *Interlinkages and policy coherence for the Sustainable Development Goals implementation. An operational method to identify trade-offs and co-benefits in a systemic way*, Publications Office of the European Union
- Moraga G., Huysveldt S., Mathieux F., Blengnin G.A., Alaerts L., Van Ackerd K., de Meester S. & Dewulfa J. (2019). Circular economy indicators: What do they measure?, *Resources, Conservation and Recycling* 146, 452-461
- Niero M. & Kalbar P.P. (2019). Coupling material circularity indicators and life cycle based indicators: A proposal to advance the assessment of circular economy strategies at the product level.

- Resources, Conservation and Recycling* 140, 305–312
- OECD (2024). *An international review of national and subnational circular economy monitoring frameworks: Lessons and ways forward for Italy*. OECD Regional Development Papers, No. 74. <https://doi.org/10.1787/854b848b-en>
- Pauliuk S. (2018). Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. *Resources, Conservation and Recycling* 129, 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.019>
- Prieto-Sandoval V., Jaca C. & Ormazabal M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production* 179, 605–615
- Potting J., Hekkert M.P., Worrell E. & Hanemaaijer A. (2017). Circular economy: measuring innovation in the product chain. *Planbureau voor de Leefomgeving*, (2544)
- Regione Piemonte (2022). *Relazione regionale sulla sostenibilità 2022: Strategia Regionale per lo Sviluppo Sostenibile del Piemonte (SRSvS)*. Disponibile online: <https://relazione.ambiente.piemonte.it/2022/it/sostenibilita>
- Regione Piemonte (2023). *I numeri del Piemonte – Annuario statistico regionale*. Torino: Regione Piemonte. <https://www.regione.piemonte.it/web/amministrazione/finanza-programmazione-statistica/statistica/numeri-piemonte-annuario-statistico-regionale>
- Rijpma A., Philips R.C. & Van Bavel B.J. (2025). Multidimensional composite indicators of well-being: Applications in economic history. *Journal of Economic Surveys*, 39(2), 672–705
- Sala S., Amadei A. M., Beylot A. & Ardente F. (2021). The evolution of life cycle assessment in European policies over three decades. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26, 2295–2314
- Sassanelli C., Rosa P., Rocca R. & Terzi S. (2019). Circular economy performance assessment methods: A systematic literature review. *Journal of cleaner production*, 229, 440–453
- Schofer J. P. (1975). Territoriality at the micro-, meso-, and macro-scales. *Journal of Geography*, 74 (3), 151–158. <https://doi.org/10.1080/00221347508979880>
- Schögl, J-P., Stumpf L. & Baumgartner R.J. (2020). The narrative of sustainability and circular economy - A longitudinal review of two decades of research, *Resources, Conservation and Recycling*, 163, 1050
- Schröder P., Anggraeni K. & Weber U. (2018). The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals, *Journal of Industrial Ecology* Volume 23, Number 1
- Schröder P. & Barrie J. (2024). How the circular economy can revive the Sustainable Development Goals: Priorities for immediate global action, and a policy blueprint for the transition to 2050, *Research Paper*, London: Royal Institute of International Affairs, <https://doi.org/10.55317/9781784136222>
- Suarez-Eiroa B., Fernandez E. & Mendez G. (2021). Integration of the circular economy paradigm under the just and safe operating space narrative: Twelve operational principles based on circularity, sustainability and resilience. *Journal of Cleaner Production* 322, 1–13
- Unioncamere Piemonte (2021). *Economia Circolare in Piemonte*. <https://www.csрпиemonte.it/economia-circolare/dwd/report-ec-2021.pdf>
- United Nations Environment Programme (2004). *Reduce, reuse and recycle concept (the “3Rs”) and life-cycle economy: Note by the Executive Director* (UNEP/GC/23/INF/11). <https://digitallibrary.un.org/record/542126>
- United Nations General Assembly (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*(A/RES/70/1). United Nations. <https://digitallibrary.un.org/record/3923923> (accessed July 2, 2025)
- United Nation General Assembly (2015). Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf
- Van Vuuren D.P., Zimm C., Busch S., Kriegler E., Leininger J., Messner D., Nakicenovic N., Rockstrom J., Riahi K., Sperling F., Bosetti V., Cornell S., Gaffney O., Lucas P.L., Popp A., Ruhe C., Von Schiller A., Schmidt J.O. & Soergel B. (2022). Defining a sustainable development target space for 2030 and 2050, *One Earth*, Vol. 5, No. 2, 2022 pp. 142–156. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.01.003>

- Zall Kusek J. & Rist R.C. (2004). A Handbook for Development Practitioners. Ten Steps to a Results-Based Monitoring and Evaluation System, The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Washington D.C.
- Waas T., Hugé J., Block T., Wright T., Benitez-Capistros F. & Verbruggen A. (2014). Sustainability Assessment and Indicators: Tools in a Decision-Making Strategy for Sustainable Development. *Sustainability* 6, 5512–5534. <https://doi.org/10.3390/su6095512>
- Winans K., Kendall A. & Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68:1, 825–833
- Wu W.N. (2020). Determinants of citizen-generated data in a smart city: Analysis of 311 system user behavior. *Sustainable Cities and Society*, 59, 102167

Dal concetto alla pratica: un'analisi comparativa degli indicatori di economia circolare su scala meso nel settore agroalimentare

Francesca Abastante^{1,*}, Valeria Baglione²

¹ Dipartimento Interateneo di Scienze Progetto e Politiche del territorio (DIST), viale Pier Andrea Mattioli 39, 10125, Politecnico di Torino, Torino, Italia; francesca.abastante@polito.it

² Dipartimento Interateneo di Scienze Progetto e Politiche del territorio (DIST), viale Pier Andrea Mattioli 39, 10125, Politecnico di Torino, Torino, Italia; valeria.baglione@polito.it

* autore corrispondente

Parole chiave

economia circolare, settore agro-alimentare, indicatori, sviluppo sostenibile, decision-making

Abstract

Misurare e monitorare i territori nel contesto dell'Economia Circolare (EC) sta assumendo un'importanza crescente in Europa. In quanto ambito in rapida evoluzione, l'EC coinvolge sia il mondo accademico sia quello imprenditoriale, generando una domanda crescente di strumenti e metodologie in grado di valutarne gli impatti reali su scala territoriale. Sebbene spesso considerata un concetto "ombrello", l'EC è strettamente connessa allo sviluppo sostenibile e viene progressivamente tradotta in strategie, programmi e piani d'azione supportati da indicatori a livello d'impresa, settoriale e socioeconomico. In questo contesto, l'Agenda 2030 e gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG) rappresentano un quadro di riferimento fondamentale. L'economia circolare contribuisce direttamente a diversi SDG, in particolare agli Obiettivi 12 (Consumo e produzione responsabili), 9 (Imprese, innovazione e infrastrutture), 11 (Città e comunità sostenibili) e 13 (Lotta contro il cambiamento climatico), rendendo essenziale l'uso di indicatori per tradurre i principi in strumenti operativi. Lo sviluppo e l'applicazione di indicatori di EC nel settore agroalimentare secondario rimangono complessi, soprattutto nel cogliere la multidimensionalità dei sistemi produttivi lungo il ciclo di vita e nell'integrare aspetti ambientali, economici e sociali. Sebbene la valutazione dell'EC sia stata ampiamente affrontata su scala macro, gli studi a livello meso risultano ancora limitati. Questa ricerca, condotta nell'ambito del progetto NODES-Spoke 7 finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR) tramite il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), affronta tale lacuna sviluppando un set di indicatori di EC adattati alla scala meso riferito al settore agroalimentare secondario della Regione Piemonte (Italia), proponendo un quadro metodologico operativo.

1. Introduzione

La necessità di misurare e monitorare i sistemi territoriali all'interno di un modello di sviluppo ispirato all'economia circolare (EC) è riconosciuta a livello europeo (OECD, 2024; Dragomir & Dumitru, 2024). L'EC si configura oggi come un ambito di ricerca in rapida evoluzione, che coinvolge tanto il mondo accademico quanto quello industriale, con una crescente attenzione verso strumenti e metodologie capaci di valutare gli impatti concreti in contesti specifici (Sassanelli et

al., 2019). Nel prossimo decennio, la transizione ecologica è destinata a trasformare profondamente il settore agroalimentare, imponendo una sostanziale riduzione dell'impronta ambientale delle attività produttive lungo l'intera catena del valore (Aimone & Vernoni, 2021).

L'economia circolare è divenuta un paradigma centrale per guidare la transizione dei sistemi economici verso modelli più sostenibili (Geissdoerfer et al., 2017) tanto che la promozione di tale transizione è attualmente una priorità dell'Unione Europea (European Commission, 2019, 2021, 2023, and 2025).

Nel settore agroalimentare, il paradigma della circolarità è considerato uno strumento strategico per accrescere la competitività delle filiere. Tuttavia, la transizione verso sistemi agroalimentari circolari richiede cambiamenti profondi e coevolutivi a molteplici livelli (Loorbach et al., 2017) e rappresenta una sfida tuttora aperta e incerta.

Spesso descritta come un concetto ombrello (Blomsma & Brennan, 2017), l'EC racchiude interpretazioni e applicazioni eterogenee (Kirchherr et al., 2017) e risulta strettamente connessa ai principi dello sviluppo sostenibile. Sebbene non esista una definizione universalmente condivisa, l'EC viene resa operativa attraverso strategie, programmi e piani d'azione supportati da indicatori dedicati (Moraga et al., 2019). Tali indicatori sono fondamentali per orientare e monitorare la transizione su diversi livelli d'impresa, settoriale e territoriale-socioeconomico (Abastante & Penza, 2025; Lami et al., 2023; Sassanelli et al., 2019).

In questo contesto, l'Agenda 2030 e i relativi Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG – UN General Assembly, 2015) rappresentano un riferimento essenziale per orientare le strategie settoriali e territoriali verso una maggiore equità, resilienza e sostenibilità. L'EC contribuisce direttamente a diversi SDG, in particolare allo SDG 12 (Consumo e produzione responsabili), allo SDG 9 (Industria, innovazione e infrastrutture), allo SDG 13 (Lotta contro il cambiamento climatico) e allo SDG 11 (Città e comunità sostenibili). L'adozione di indicatori specifici per l'EC assolve dunque una duplice funzione: favorire le transizioni locali e settoriali e, al contempo, misurare i progressi verso gli obiettivi globali di sostenibilità.

Lo sviluppo di quadri di riferimento e indicatori di circolarità presenta tuttavia notevoli sfide. Integrare una vasta gamma di variabili ambientali, economiche e sociali lungo l'intero ciclo di vita dei sistemi produttivi rimane un compito complesso (Sassanelli et al., 2019). Sebbene gran parte della letteratura abbia affrontato tali questioni su scale ampie (metropolitana, regionale, nazionale o globale) le scale meso e micro restano ancora poco indagate. Queste includono distretti eco-industriali (Ghisellini et al., 2016), filiere, imprese e prodotti (Moraga et al., 2019; Kirchherr et al., 2017). A questi livelli, gli indicatori disponibili forniscono spesso una visione parziale, trascurando effetti negativi o compromessi prestazionali imprevisti (Niero & Kalbar, 2019), limitando così l'effettiva applicazione dei principi dell'EC.

Questo studio si colloca nell'ambito del progetto NODES-Spoke 7, finanziato dal MUR – M4C2 1.5 del PNRR e sostenuto dall'Unione Europea – NextGenerationEU all'interno del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Tale progetto mira a supportare produttori e consorzi nell'adozione di modelli più sostenibili, promuovendo il trasferimento e la diffusione di buone pratiche ispirate ai principi dell'EC.

Pur riconoscendo la rilevanza dell'EC rispetto a molteplici SDG, la ricerca attribuisce priorità allo SDG12, identificato come il più strategico in relazione alle dinamiche produttive. La sua centralità risiede nella coerenza con gli obiettivi del progetto NODES, poiché riguarda direttamente la trasformazione sostenibile dei processi industriali e il rafforzamento della resilienza territoriale.

Il contributo qui proposto mira a sviluppare un insieme sintetico e operativo di indicatori per la misurazione dell'EC su scala meso, basandosi su un'analisi comparativa degli strumenti attualmente applicati alle scale macro, meso e micro (Schofer, 1975). È opportuno precisare che la scala macro si riferisce ai livelli metropolitano, regionale e nazionale; la scala meso ai distretti eco-industriali, alle filiere e al livello d'impresa; mentre la scala micro al livello del prodotto. Seguendo Moraga et al. (2019), la terminologia "meso" deve essere accompagnata dallo specifico ambito di analisi. Nel presente articolo, tale scala è associata alla filiera agroalimentare. Inoltre, il settore agroalimentare secondario comprende la rete di imprese impegnate nella trasformazione

e lavorazione delle materie prime agricole. L'attenzione empirica dello studio è rivolta al settore agroalimentare secondario della Regione Piemonte.

Lo studio affronta tre principali domande di ricerca:

- i) Quali indicatori vengono attualmente utilizzati per misurare l'EC in coerenza con le principali strategie europee nel settore agroalimentare secondario?
- ii) Quali punti di forza e di debolezza presentano tali indicatori per il settore agroalimentare secondario su scala meso?
- iii) In che modo questi indicatori possono essere tradotti da quadri strategici in strumenti operativi?

L'articolo è strutturato come segue: la Sezione 2 illustra la metodologia utilizzata per la costruzione del quadro teorico e la contestualizzazione della ricerca; la Sezione 3 analizza i dataset disponibili per la misurazione dell'EC; la Sezione 4 individua le lacune tra gli indicatori esistenti; infine, la Sezione 5 presenta le principali conclusioni e le prospettive di ricerca futura.

2. Metodologia della ricerca e stato dell'arte

La ricerca è organizzata in tre fasi (Fig. 1)

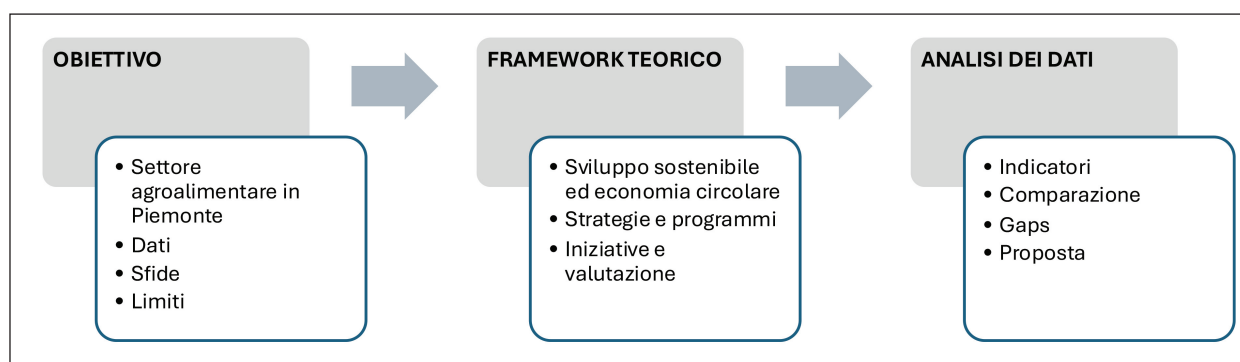


Figura 1. Metodologia

- i) Definizione dell'ambito della ricerca, finalizzata a comprendere il contesto territoriale del settore agroalimentare secondario nella Regione Piemonte, in termini di caratteristiche distintive, dati disponibili, sfide territoriali e limiti attuali;
- ii) Definizione del quadro teorico, volto a:
 - a. analizzare i concetti di sviluppo sostenibile ed economia circolare (EC) nel contesto del settore agroalimentare attraverso l'esame di strategie, programmi e iniziative
 - b. mappare gli indicatori attualmente in uso (Tabella 1).
- iii) Analisi dei dati, finalizzata a:
 - a. individuare similitudini e differenze tra gli indicatori dell'SDG 12 e quelli dell'EC (Tabella 1);
 - b. confrontare gli indicatori internazionali dell'EC con le strategie nazionali e regionali (Tabelle 2 e 3);
 - c. evidenziare le lacune esistenti a livello regionale (Tabella 4).

2.1 L'attuale contesto del settore agro-industriale della Regione Piemonte

Il settore agroalimentare secondario fa parte del più generale sistema agroalimentare il quale si fonda su quattro pilastri: i) la produzione primaria, che comprende agricoltura, allevamento, silvicoltura e pesca; ii) la trasformazione alimentare, relativa alla lavorazione dei prodotti derivati dalla produzione primaria; iii) le industrie che producono macchinari per l'agricoltura, l'alleva-

mento e la trasformazione alimentare, oltre ai prodotti agrochimici; e iv) la distribuzione e la commercializzazione (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021, 2022).

Questo studio si concentra sul secondo pilastro con particolare attenzione alla lavorazione dei prodotti agricoli (agroindustria secondaria). Per analizzare le dinamiche di sostenibilità e di EC e proporre un insieme di indicatori pertinenti, la ricerca prende in esame la Regione Piemonte (Italia), considerando i processi di razionalizzazione che interessano le imprese produttrici di beni finiti e semilavorati destinati al consumo umano e animale. La centralità del sistema agroalimentare nell'economia piemontese è evidente: circa 3.739 imprese operano nel settore alimentare, impiegando complessivamente 38.582 lavoratori (Regione Piemonte, 2023). Sebbene il numero di imprese sia diminuito in modo significativo dal 2007 (-37%; Adamo & Cavalletto, 2024), la produzione industriale del comparto agroalimentare regionale si è progressivamente stabilizzata, registrando una crescita all'inizio del 2023 (+2,9%; Adamo & Cavalletto, 2024; Adamo et al., 2023). Il settore regionale della trasformazione alimentare è altamente diversificato e comprende due principali categorie di imprese (Aimone & Vernoni, 2021):

- Piccole imprese (<50 addetti) di tipo artigianale, spesso radicate nelle tradizioni locali e specializzate in prodotti di alta qualità destinati all'esportazione (es. vino, cereali, frutta e verdura, latticini, carne bovina). Queste aziende frequentemente integrano la lavorazione con la produzione primaria e gestiscono la distribuzione attraverso filiere corte. La loro prossimità alla produzione agricola favorisce configurazioni di tipo distrettuale (Galardi et al., 2022; Fabianelli, 2024);
- Medie imprese (<250 addetti) che si approvvigionano principalmente di materie prime importate, con un utilizzo limitato di risorse locali (es. dolciario, panificazione, conserve, caffè). Molte di esse operano a livello internazionale e si trovano prevalentemente nelle periferie urbane, dove la logistica di importazione, esportazione e distribuzione risulta più efficiente (Fanfani, 2009; Aimone & Vernoni, 2021).

Queste differenti modalità di utilizzo delle risorse locali generano legami territoriali distinti e influenzano inevitabilmente la distribuzione delle imprese sul territorio. Tale frammentazione, unita alla scarsa conoscenza dei principi di EC tra le aziende del settore alimentare (Unioncamere Piemonte, 2021), rende complessa la coordinazione lungo le filiere e ostacola la definizione, l'attuazione e il monitoraggio degli indicatori necessari a sostenere la transizione circolare (Regione Piemonte, 2022).

Nonostante le difficoltà, la crescente domanda dei consumatori per prodotti di qualità, processi sostenibili e sicurezza alimentare sta spingendo le imprese verso una nuova fase di innovazione. Secondo il Circular Economy Network (2024), almeno il 10% delle imprese ha manifestato interesse nell'adozione di pratiche di EC, sebbene i progressi siano ancora limitati da incentivi insufficienti, complessità produttive e oneri amministrativi. In questo contesto, le politiche europee, nazionali e regionali hanno svolto un ruolo determinante, promuovendo azioni volte a ridurre l'impatto ambientale delle catene distributive, favorire schemi di economia circolare, ampliare l'uso di energie rinnovabili, tutelare il paesaggio e rafforzare i sistemi irrigui (Aimone & Vernoni, 2021 P. 56).

Le imprese sono dunque chiamate a svolgere un ruolo sempre più centrale, richiedendo innovazioni significative a livello tecnologico, di processo e di prodotto. Definire il campo di ricerca tenendo conto di tali caratteristiche e configurazioni consente di sviluppare un quadro teorico in grado di affrontare le sfide e i limiti emersi nella transizione verso l'economia circolare, riconoscendo che la qualificazione di qualsiasi sistema dipende dalla costruzione di un'architettura di monitoraggio fondata su indicatori solidi.

2.2 Sviluppo sostenibile ed economia circolare: una relazione stretta

L'EC è considerata un concetto ombrello (Blomsma & Brennan, 2017), spesso associato al modello delle 3R (Ridurre, Riutilizzare e Riciclare - United Nations Environment Programme, 2004). Il suo obiettivo principale è eliminare gli sprechi e mantenere il massimo valore possibile di pro-

dotti e materiali (Kirchherr et al., 2017), promuovendo al contempo l'uso di energie rinnovabili e la progressiva eliminazione delle sostanze tossiche (Sassanelli et al., 2019). Pur essendo teorizzata da oltre un decennio, l'EC rimane un ambito di ricerca controverso e in evoluzione nella letteratura scientifica, a causa dei suoi confini sfumati e dell'assenza di una definizione condivisa (Winans et al., 2017; Suarez-Eiroa et al., 2019; Moraga et al., 2019; Fauzi, 2024; ISO, 2024) evidenziando la necessità di una concettualizzazione più solida, capace di chiarirne ambito, dimensioni e applicazioni (Schögl et al., 2020).

Secondo la Commissione Europea, l'EC sostiene i tre pilastri dello sviluppo sostenibile, generando benefici ambientali, crescita economica e creazione di occupazione (UN General Assembly, 2015). In Italia, il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica definisce l'EC come un nuovo modello di produzione e consumo che assicura l'uso efficiente delle risorse e la circolarità dei flussi, minimizzando gli sprechi e massimizzando il recupero, il riutilizzo e il riciclo e generando così catene di approvvigionamento di materie prime seconde in sostituzione di quelle vergini (MiTE, 2022). Nel contesto agroalimentare, la Circular Economy for Food (CEFF - Fassio & Tecco, 2018) mira a "preservare e rigenerare il capitale naturale, ottimizzare l'estrazione, la produzione e l'uso delle risorse, e gestire i flussi materiali ed energetici in modo da rinnovarne o estenderne il valore nel tempo" (Ellen MacArthur Foundation, 2015). La CEFF interpreta i metabolismi urbani e regionali non come produttori di scarti, ma come generatori di valore economico e sociale, in armonia con gli ecosistemi naturali e le potenzialità territoriali (Fassio & Minotti, 2019).

In questa prospettiva, l'EC può essere considerata una leva operativa per lo sviluppo sostenibile (Brundtland Report, 1987; Ellen MacArthur Foundation, 2015, 2021; Prieto-Sandoval et al., 2018; Geissdoerfer et al., 2017), complementare agli SDG (Schröder & Barrie, 2024) come confermato dai principali quadri politici globali ed europei, tra cui l'Agenda 2030 (UN General Assembly, 2015) e il Green Deal europeo (European Commission, 2019). Ad oggi, sono stati lanciati oltre 75 piani d'azione, roadmap e strategie nazionali per l'EC, con ulteriori 14 in fase di sviluppo (Schröder & Barrie, 2024).

A livello globale, l'Agenda 2030 costituisce il principale quadro di riferimento per lo sviluppo sostenibile, articolato in 17 SDG. Tra questi, lo SDG 12 (Consumo e produzione responsabili) svolge un ruolo centrale nel promuovere l'EC, puntando alla riduzione degli sprechi, all'efficienza nell'uso delle risorse e a modelli di produzione sostenibili. Nel settore agroalimentare, lo SDG 12 sostiene trasformazioni sistemiche che rigenerano i flussi di materiali e di valore lungo la catena di approvvigionamento (Geissdoerfer et al., 2017; Kirchherr et al., 2017). Sebbene lo SDG 12 sia quello più direttamente connesso all'EC, la sua attuazione produce effetti a cascata su numerosi altri SDG, tra cui lo SDG 6 (Acqua pulita e servizi igienico-sanitari), lo SDG 7 (Energia pulita e accessibile), lo SDG 8 (Lavoro dignitoso e crescita economica), lo SDG 9 (Industria, innovazione e infrastrutture), lo SDG 11 (Città e comunità sostenibili), lo SDG 13 (Lotta contro il cambiamento climatico) e lo SDG 15 (Vita sulla terra) (Geng et al., 2019; Schröder et al., 2018; Schröder & Barrie, 2024). Il progresso sullo SDG 12 agisce quindi come catalizzatore per una sostenibilità integrata e sistemica.

Su scala europea, il Green Deal definisce misure per rendere più sostenibili energia, alimentazione, risorse e stili di vita (European Commission, 2019). La strategia "Farm to Fork" mira a rendere i sistemi alimentari equi, sani e rispettosi dell'ambiente, introducendo 27 politiche che riguardano produzione, trasformazione, distribuzione, consumo e riduzione degli sprechi alimentari. In modo complementare, il Circular Economy Action Plan (CEAP - European Commission, 2021) promuove prodotti sostenibili, rafforza il ruolo di consumatori e acquirenti pubblici, si concentra sui settori ad alta intensità di risorse (tra cui alimenti, acqua e nutrienti), favorisce la riduzione dei rifiuti e integra la circolarità a livello locale e globale.

A livello nazionale, l'Italia ha recepito l'Agenda 2030 attraverso la Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile (SNSvS - MASE, 2023), che funge da quadro di riferimento per le strategie regionali. In coerenza con il CEAP, l'Italia ha inoltre adottato la Strategia Nazionale per l'Economia Circolare (MiTE, 2022), che definisce obiettivi e strumenti con orizzonte temporale al 2035. Le priorità principali includono eco-design, riuso e riparazione, regolamentazione del fine vita, materie prime critiche, mercati delle materie seconde, appalti verdi, simbiosi industriale, responsabilità estesa del produttore e digitalizzazione.

A livello regionale, il Piemonte ha adottato la propria Strategia Regionale per lo Sviluppo Sostenibile (SRSvS – Regione Piemonte, 2022), articolata in tre assi: i) un sistema integrato di conoscenza standardizzato su quadri di indicatori; ii) un metodo integrato per la progettazione e la territorializzazione delle politiche; iii) un modello di governance che collega sistemi istituzionali e territoriali. Tale strategia adotta esplicitamente l'EC come modello socioeconomico per abilitare la transizione sostenibile, la riconversione industriale e lo sviluppo imprenditoriale, con l'obiettivo di bilanciare sostenibilità economica, ambientale e sociale, accrescendo la competitività e riducendo gli impatti ambientali e le disuguaglianze sociali.

Un elemento comune alle strategie globali, europee, nazionali e regionali è l'uso degli indicatori per monitorare i progressi e comunicare i principi di sostenibilità e circolarità (UN General Assembly, 2015; European Commission, 2023).

Nella ricerca qui presentata, gli indicatori sono intesi come variabili, quantitative o qualitative, che forniscono informazioni sul grado di circolarità e sui suoi effetti (Moraga et al., 2019). Comunicare la circolarità attraverso gli indicatori è infatti essenziale per interpretare la complessità e l'incertezza dei processi di transizione (Koch & Krellenberg, 2018), definire le problematiche, sensibilizzare i decisori e ampliare la base decisionale (Abastante & Mecca, 2025; Lami et al., 2023).

2.3 L'indicatore come strumento di valutazione

Gli indicatori sono intesi come strumenti di valutazione che forniscono informazioni rilevanti per i processi decisionali (Gallopín, 1996; Waas et al., 2014). Dente e Vecchi (1999) forniscono una definizione di indicatore ad oggi condivisa e che vede l'indicatore come *“una misura quantitativa sintetica, coincidente con una variabile o composta da più variabili, in grado di fornire la rappresentazione di un fenomeno e di sintetizzarne l'andamento [...] L'indicatore non misura necessariamente un fenomeno, ma un elemento di esso in grado di rappresentarne una dimensione significativa. In questo senso, l'utilizzo di uno strumento quantitativo non impedisce di evidenziare aspetti qualitativi del fenomeno analizzato. [...] L'obiettivo della valutazione è la misurazione della performance e non di conformità: si tratta quindi di ottenere una serie di dati per creare un quadro “di dove si è e dove si sta andando”. [...]”*

Nel rapporto tra sostenibilità CE, questa definizione risulta particolarmente appropriata poiché, senza un monitoraggio sistematico, le strategie di sostenibilità e di CE rischiano di evolversi in insiemi frammentati e incoerenti di indicatori. In tale scenario, imprese e istituzioni operanti in diversi settori, prive di un quadro di riferimento condiviso, potrebbero adottare soluzioni allineate unicamente alle proprie agende, senza contribuire agli obiettivi di circolarità più ampi (Pauliuk, 2018).

In questo contesto, diventa necessario elaborare una sintesi aggiornata e concisa dei dataset esistenti che monitorano indicatori utili a valutare i progressi verso transizioni sostenibili e circolari.

Per quanto riguarda la sostenibilità, gli SDGs sono monitorati attraverso 248 indicatori (UN-IAEG-SDGs, 2024). A livello europeo, EUROSTAT rileva annualmente i progressi degli Stati membri verso gli SDGs utilizzando 102 indicatori, in parte sovrapposti a quelli globali ma adattati in termini di metadati e target, e pubblica rapporti che includono raccomandazioni specifiche per ciascun Paese (EUROSTAT, 2024). Ogni nazione deve inoltre definire un proprio set di indicatori e misure statistiche adattati al contesto locale e alla disponibilità di dati (UN, 2015; Miola et al., 2019). In Italia, tale compito è affidato all'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT), che monitora la Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile (SNSvS) e redige rapporti annuali (ISPRA, 2024). Nel 2024, ISTAT ha misurato 139 degli indicatori globali (ISTAT, 2024). Tuttavia, riguardo allo SDG12, centrale per questa ricerca, ISTAT monitora attualmente solo tre indicatori: Impronta dei materiali (12.2.1), Tasso di riciclo (12.5.1) e Appalti pubblici verdi (12.7.1). Si tratta di indicatori a scala macro.

A livello regionale, la SRSvS include 39 indicatori per valutare la posizione della regione nel contesto nazionale. Oltre a questi, la strategia prevede l'utilizzo di ulteriori indicatori a scala meso,

progettati per analizzare e interpretare in modo più dettagliato le dinamiche socio-economiche e ambientali dei territori specifici (Regione Piemonte, 2022).

Nel percorso di transizione verso l'economia circolare, anche gli strumenti di monitoraggio e analisi sono organizzati su più scale territoriali (macro, meso e micro). A livello europeo, la Commissione Europea ha sviluppato il *Circular Economy Monitoring Framework* (European Commission, 2023), che comprende 27 indicatori raggruppati in cinque cluster: Produzione e Consumo (P&C), Gestione dei Rifiuti (WM), Materie Prime Secondarie (SRM), Competitività e Innovazione (C&I) e Sostenibilità Ecologica e Resilienza (S&R). Tali indicatori vengono utilizzati per monitorare i progressi degli Stati membri e sono integrati dalla *European Circular Economy Stakeholder Platform* (ECESP – European Commission, 2025), che promuove pratiche e politiche multilivello.

In Italia, la Strategia Nazionale per l'Economia Circolare (MiTE, 2022) propone una roadmap al 2035 articolata su 25 indicatori, coerenti con il quadro europeo ma limitati in termini di disaggregazione territoriale. Iniziative complementari, come il *Circular Economy Network* (2024) e la *Italian Circular Economy Stakeholder Platform* (ICESP – ENEA, 2025), cercano di colmare questo divario promuovendo indicatori e pratiche a livello meso e micro.

Su scala regionale, le SRSvS, come quella del Piemonte, includono esplicitamente la circolarità tra le priorità economiche. Il Piemonte, ad esempio, utilizza 39 indicatori principali, oltre a strumenti analitici a scala meso che consentono una valutazione più dettagliata delle dinamiche ambientali e produttive locali (Regione Piemonte, 2022).

3. Analisi dei dataset

Partendo dal quadro teorico, questa ricerca analizza i dataset di misurazione della CE, concentrandosi principalmente su tre livelli di confronto:

- i) tra gli insiemi di indicatori di sviluppo sostenibile e quelli di CE a scala europea (Tabella 1);
- ii) tra il set di indicatori di CE europea e quello nazionale (Tabella 2);
- iii) tra gli indicatori di CE regionali e quelli adottati a livelli di governance superiori (Tabella 3).

Quest'ultimo confronto ha richiesto una riclassificazione del set di indicatori regionali in base ai cluster consolidati a livello europeo e nazionale.

Per quanto riguarda lo sviluppo sostenibile, lo studio si concentra sull'SDG 12, considerato il principale riferimento per il settore agroalimentare secondario, poiché include una serie di indicatori rilevanti per valutare la performance dei processi produttivi legati alla trasformazione delle materie prime agricole. In particolare, sono stati considerati i seguenti indicatori:

- Consumo di sostanze chimiche per pericolosità (SDG_12_10): monitora l'uso di sostanze chimiche pericolose, spesso impiegate nella conservazione, trasformazione e confezionamento dei prodotti agroalimentari;
- Consumo di materie prime (SDG_12_21): riflette le pressioni sulle risorse materiali, molte delle quali rappresentano input primari nei cicli produttivi agroalimentari;
- Impronta dei consumi (SDG_12_31): valuta l'impatto ambientale dei consumi interni, considerando le pressioni globali lungo le catene di approvvigionamento – particolarmente rilevante per un settore fortemente orientato all'import/export;
- Tasso di utilizzo circolare dei materiali (SDG_12_41): misura la quota di materiali reintrodotti nel sistema economico, parametro chiave per valutare il riciclo e il riuso di sottoprodotti e scarti industriali;
- Produzione di rifiuti per pericolosità (SDG_12_51): monitora volume e tipologia dei rifiuti generati dai processi di trattamento industriale;
- Valore aggiunto lordo nel settore dei beni e servizi ambientali (SDG_12_61): misura il contributo del settore agroalimentare alla crescita verde, includendo attività legate alla produzione sostenibile e alla gestione efficiente delle risorse.

Inoltre, sono stati inclusi due indicatori complementari, pur non formalmente codificati nell'SDG 12, ma rilevanti per valutarne le prestazioni:

- Produttività energetica (SDG_07_30): misura l'efficienza energetica nei processi produttivi, fattore cruciale negli impianti di trasformazione agroalimentare;
- Emissioni medie di CO₂ per km dalle nuove autovetture (SDG_13_20): fornisce indicazioni sulla logistica e la distribuzione su larga scala dei prodotti alimentari.

Per quanto riguarda la CE, il *Circular Economy Monitoring Framework* (European Commission, 2023) offre un insieme strutturato di indicatori per monitorare i progressi verso gli obiettivi del *Circular Economy Action Plan* (CEAP) (European Commission, 2021). Il framework è articolato in cinque cluster tematici:

- Produzione e Consumo (P&C): nove indicatori che valutano l'efficienza nell'uso delle risorse e l'impatto ambientale dei modelli produttivi e di consumo;
- Gestione dei Rifiuti (WM): cinque indicatori relativi ai tassi di riciclo e alla prevenzione dei rifiuti;
- Materie Prime Secondarie (SRM): cinque indicatori che misurano l'uso di materiali riciclati e il loro contributo alla domanda di materie prime;
- Competitività e Innovazione (C&I): quattro indicatori che analizzano innovazione verde, investimenti e occupazione nei settori legati alla CE;

Sostenibilità Ecologica e Resilienza (S&R): quattro indicatori che monitorano gli impatti ambientali complessivi, inclusa l'impronta dei consumi e le emissioni di gas serra. Il primo passo dell'analisi dei dataset confronta dunque gli indicatori di sviluppo sostenibile e quelli di CE nel quadro delle strategie dell'Unione Europea (EUROSTAT, 2024), mettendo in evidenza somiglianze, differenze e complementarità (Tabella 1).

Tabella 1. Analogie (A) e complementarità (C) fra lo SDG12 e gli indicatori CE (Fonte: elaborazione propria da EUROSTAT, 2023 e European Commission, 2023)

Indicatori SDG12(EUROSTAT, 2024)	Indicatori CE(Quadro di monitoraggioCommissione europea, 2023)	Indicatori analoghi (A)/Complementari (C)
Consumo di materie prime	Impronta dei materiali	Tasso di utilizzo circolare dei materiali (A)
Consumo di sostanze chimiche per pericolosità	Produttività delle risorse	Impronta dei consumi (A)
Impronta dei consumi	Appalti pubblici verdi	Valore aggiunto lordo nel settore dei beni e servizi ambientali e valore aggiunto lordo (A)
Tasso di utilizzo circolare delle risorse	Produzione di rifiuti pro capite	Consumo di materie prime e impronta dei materiali (A)
Produzione di rifiuti in base alla pericolosità	Produzione di rifiuti esclusi i rifiuti minerali principali per unità di PIL	Produzione di rifiuti per pericolosità e produzione di rifiuti pro capite (C)
Valore aggiunto lordo nel settore dei beni e servizi ambientali	Produzione di rifiuti urbani pro capite	
Produttività energetica	Rifiuti alimentari	
Emissioni medie di CO ₂ per km delle autovetture nuove	Produzione di rifiuti da imballaggi pro capite	

Segue Tabella 1. Analogie (A) e complementarità (C) fra lo SDG12 e gli indicatori CE (Fonte: elaborazione propria da EUROSTAT, 2023 e European Commission, 2023)

Indicatori SDG12(EUROSTAT, 2024)	Indicatori CE(Quadro di monitoraggioCommissione europea, 2023)	Indicatori analoghi (A)/Complementari (C)
Emissioni medie di CO ₂ per km delle autovetture nuove	Produzione di rifiuti da imballaggi in plastica pro capite	
	Tasso di riciclaggio dei rifiuti urbani	
	Tasso di riciclaggio di tutti i rifiuti esclusi i rifiuti minerali principali	
	Tasso di riciclaggio dei rifiuti di imballaggio complessivi	
	Tasso di riciclaggio degli imballaggi in plastica in percentuale	
	Tasso di riciclaggio dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) raccolti separatamente	
	Tasso di utilizzo dei materiali circolari	
	Contributo dei materiali riciclati alla domanda di materie prime - tassi di input di riciclaggio a fine vita (EOL-RIR)	
	Commercio di materie prime riciclabili - Importazioni da paesi extra UE	
	Commercio di materie prime riciclabili - Importazioni verso paesi terzi	
	Commercio di materie prime riciclabili - Commercio intracomunitario	
	Investimenti privati relativi ai settori dell'economia circolare	
	Persone impiegate nei settori dell'economia circolare	
	Valore aggiunto lordo	
	Brevetti relativi al riciclaggio e alle materie prime secondarie	
	Impronta di consumo	
	Emissioni di gas serra derivanti dalle attività produttive	
	Dipendenza dall'importazione di materiali	
	Autosufficienza dell'UE per le materie prime	

Come mostrato nella Tabella 1, i due dataset europei analizzati presentano un numero di indicatori nettamente differente, generando al contempo sovrapposizioni e divergenze.

In termini di similitudini, due indicatori risultano esplicitamente condivisi da entrambi i framework: il tasso di utilizzo circolare dei materiali, che misura la quota di materiali riciclati reintrodotti nell'economia, e l'impronta dei consumi, che rappresenta l'impatto complessivo lungo il ciclo di vita di beni e servizi. Inoltre, sebbene calcolati secondo metodologie differenti, il consumo di materie prime (RMC) e l'impronta dei materiali valutano entrambi l'impiego di risorse primarie e possono pertanto essere considerati analoghi. In modo simile, l'indicatore valore aggiunto lordo nel settore dei beni e servizi ambientali e quello di valore aggiunto lordo misurano il medesimo fenomeno, ossia il valore economico generato dai beni ambientali, sebbene il framework dello SDG12 lo specifichi all'interno del settore dei servizi.

Oltre a queste sovrapposizioni, i due insiemi comprendono anche indicatori complementari, che rendono i framework mutuamente rafforzanti. Ad esempio, l'indicatore produzione di rifiuti per pericolosità, focalizzato sulle politiche di gestione sicura e sui trattamenti specializzati, completa il parametro produzione di rifiuti pro capite, più rilevante per le strategie di prevenzione e riduzione dei rifiuti. Inoltre, il framework dell'economia circolare amplia in modo significativo la portata analitica rispetto allo SDG12, integrando indicatori relativi alla produzione e gestione dei rifiuti, all'efficienza sistemica, agli scambi intra ed extra UE, nonché alle dimensioni energetiche e ambientali.

Al contrario, lo SDG12 risulta carente di indicatori chiave per la misurazione della CE, come i tassi di riciclo, i valori economici, le pratiche di gestione dei rifiuti, il riuso dei materiali e l'attenzione all'innovazione tecnologica. Viceversa, il framework della CE non include indicatori relativi al consumo di sostanze chimiche pericolose e alla responsabilità del consumatore. Ne consegue che nessuno dei due framework risulta esaustivo se considerato singolarmente; al contrario, il loro utilizzo congiunto appare necessario per perseguire in modo più efficace gli obiettivi strategici di sostenibilità e circolarità.

Il secondo passo dell'analisi dei dataset confronta gli indicatori di economia circolare introdotti a livello europeo (Tabella 1) con quelli adottati a livello nazionale (MiTE, 2022).

Rispetto al framework europeo, la Strategia Nazionale per l'Economia Circolare italiana propone 25 indicatori per il monitoraggio dell'attuazione degli obiettivi strategici, organizzati in nove cluster tematici:

- Produzione e consumo, per la promozione di modelli produttivi e di consumo sostenibili, con particolare attenzione all'efficienza delle risorse e alla riduzione dei rifiuti;
- Gestione dei rifiuti, che affronta la prevenzione, la raccolta, il trattamento e lo smaltimento dei rifiuti, ponendo enfasi sul riciclo e sul recupero;
- Materie prime secondarie, che misura la capacità di reintegrare i materiali recuperati nei cicli produttivi;
- Competitività e innovazione, volto a favorire la transizione verso un'economia circolare attraverso ricerca, sviluppo e investimenti verdi;
- Sostenibilità e resilienza, che include principi trasversali legati alla capacità dei sistemi ecologici di adattarsi e resistere alle pressioni ambientali;
- Bonifica del suolo, per il monitoraggio della riqualificazione dei siti contaminati e del recupero dei terreni degradati;
- Risorse idriche, che valuta l'efficienza nell'uso e nella gestione dell'acqua;
- Qualità dell'aria, con focus sulla riduzione dell'inquinamento atmosferico, inclusa la componente legata alla gestione dei rifiuti;
- Educazione ambientale, finalizzata alla promozione della consapevolezza pubblica e del coinvolgimento dei cittadini nella transizione ecologica.

La Tabella 2 presenta quindi un'analisi comparativa tra il Circular Economy Monitoring Framework (European Commission, 2023) e la Strategia Nazionale per l'Economia Circolare (MiTE, 2022).

Il confronto valuta la coerenza dei due sistemi di monitoraggio e la loro efficacia nel guidare le politiche pubbliche, incentivare gli investimenti e sostenere la transizione circolare a diversi livelli di governance. È importante notare che la colonna “cluster” della Tabella 2 segue la classificazione adottata nella Strategia Nazionale per l'Economia Circolare.

Tabella 2. Indicatori comuni di CE alla scala Europea e Nazionale (Fonte: elaborazione propria da EUROSTAT e European Commission, 2023 basata sul dataset della strategia nazionale dell'economia circolare, 2022)

Cluster	Indicatori CEQuadro di monitoraggioCommissione europea, 2023	Indicatori CEStrategia Nazionale dell'Economia CircolareMiTE, 2022	Indicatori comuni
<i>Produzione e consumo (P&C)</i>	Impronta dei materiali	Appalti pubblici verdi	Appalti pubblici verdi
	Produttività delle risorse	Produzione di rifiuti	Produzione di rifiuti
	Appalti pubblici verdi	Impronta dei materiali	Impronta dei materiali
	Produzione di rifiuti pro capite	Costi di gestione dei rifiuti	Sprechi alimentari
	Produzione di rifiuti esclusi i principali rifiuti minerali per unità di PIL	Sprechi alimentari	-
	Produzione di rifiuti urbani pro capite	-	-
	Rifiuti alimentari	-	-
	Produzione di rifiuti da imballaggi pro capite	-	-
	Produzione di rifiuti di imballaggio in plastica pro capite	-	-
<i>Gestione dei rifiuti (WM)</i>	Tasso di riciclaggio dei rifiuti urbani	Preparazione per il riutilizzo	Tasso di riciclaggio dei rifiuti urbani
	Tasso di riciclaggio di tutti i rifiuti esclusi i rifiuti minerali di grandi dimensioni	Tasso di riciclaggio dei rifiuti urbani	Tasso di riciclaggio dei rifiuti esclusi i rifiuti minerali di grandi dimensioni
	Tasso di riciclaggio dei rifiuti di imballaggio complessivi	Tasso di riciclaggio dei rifiuti esclusi i rifiuti minerali principali	Tasso di riciclaggio dei rifiuti di imballaggio
	Tasso di riciclaggio degli imballaggi in plastica percentuale	Tasso di riciclaggio dei rifiuti di imballaggio	Tasso di riciclaggio degli imballaggi in plastica
	Tasso di riciclaggio dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) raccolti separatamente	Tasso di riciclaggio degli imballaggi in plastica	Tasso di riciclaggio dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE)
	-	Tasso di riciclaggio dei rifiuti di imballaggi in legno	-
	-	Tasso di riciclaggio dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE)	-

Segue Tabella 2. Indicatori comuni di CE alla scala Europea e Nazionale (Fonte: elaborazione propria da EURO-STAT e European Commission, 2023 basata sul dataset della strategia nazionale dell'economia circolare, 2022)

Cluster	Indicatori CEQuadro di monitoraggioCommissione europea, 2023	Indicatori CEStrategia Nazionale dell'Economia CircolareMiTE, 2022	Indicatori comuni
<i>Gestione dei rifiuti (WM)</i>	-	Tasso di riciclaggio dei rifiuti organici urbani	-
<i>Materie prime secondarie (SRM)</i>	Tasso di utilizzo circolare dei materiali	Contributo dei materiali riciclati alla domanda di materie prime - tasso di utilizzo circolare dei materiali	Tasso di utilizzo circolare dei materiali
	Contributo dei materiali riciclati alla domanda di materie prime - tassi di input di riciclaggio a fine vita (EOL-RIR)	-	-
	Commercio di materie prime riciclabili - Importazioni da paesi extra UE	-	-
	Commercio di materie prime riciclabili - Esportazioni verso paesi extra UE	-	-
	Commercio di materie prime riciclabili - Commercio intracomunitario	-	-
	Investimenti privati relativi ai settori dell'economia circolare	Brevetti relativi all'economia circolare	Brevetti relativi all'economia circolare
<i>Competitività e innovazione (C&I)</i>	Persone impiegate nei settori dell'economia circolare	Misure per il progetto "Faro"	Investimenti relativi ai settori dell'economia circolare
	Valore aggiunto lordo	Misure per progetti di miglioramento della gestione dei rifiuti	-
	Brevetti relativi al riciclaggio e alle materie prime secondarie	Misure a sostegno delle attività economiche e produttive nei settori dell'economia circolare	-
	Impronta di consumo	-	-
<i>Sostenibilità ecologica e resilienza (S&R)</i>	Emissioni di gas serra derivanti dalle attività produttive	-	-
	Dipendenza dall'importazione di materiali	-	-
	Autosufficienza dell'UE per le materie prime	-	-

Segue Tabella 2. Indicatori comuni di CE alla scala Europea e Nazionale (Fonte: elaborazione propria da EURO-STAT e European Commission, 2023 basata sul dataset della strategia nazionale dell'economia circolare, 2022)

Cluster	Indicatori CEQuadro di monitoraggioCommission e europea, 2023	Indicatori CEStrategia Nazionale dell'Economia CircolareMiTE, 2022	Indicatori comuni
	-	Siti abbandonati bonificati	-
<i>Suolo - bonifica del suolo</i>	-	Riduzione dei siti contaminati di rilevanza nazionale	-
<i>Risorse idriche - Depurazione</i>	-	Trattamento delle acque reflue	-
<i>Qualità dell'aria - Emissioni</i>	-	Contributo dei gas serra nel settore dei rifiuti	-
	-	Qualità dell'aria urbana	-
<i>Educazione ambientale</i>	-	Campagne di comunicazione sull'economia circolare	-

Come illustrato nella Tabella 2, i due framework di indicatori analizzati condividono quattro cluster tematici: produzione e consumo, gestione dei rifiuti, materie prime secondarie e competitività e innovazione.

A livello di indicatori, emergono numerose similitudini, in particolare in dodici indicatori chiave: quattro appartenenti al cluster produzione e consumo, cinque alla gestione dei rifiuti, uno alle materie prime secondarie e due a competitività e innovazione.

Questi indicatori risultano direttamente comparabili tra i due framework poiché condividono definizioni e unità di misura comuni. Tale allineamento dimostra la coerenza dell'approccio italiano con il quadro europeo, agevolando le attività di reporting e l'integrazione dei dati nazionali nel sistema di monitoraggio a livello europeo, elemento essenziale per valutare i progressi verso gli obiettivi strategici.

Da un'altra prospettiva, i due framework risultano complementari nella definizione delle strategie.

Il framework europeo include il cluster relativo alla sostenibilità e resilienza globali, che nel quadro nazionale non presenta indicatori dedicati ed è attualmente definito tramite linee guida generali.

Viceversa, il framework nazionale incorpora cluster aggiuntivi non presenti a livello europeo, riguardanti le condizioni del suolo, la gestione delle risorse idriche, la qualità dell'aria e l'educazione ambientale.

Tali indicatori completano il framework europeo riflettendo le specificità del contesto italiano e allineandosi alle priorità politiche nazionali.

Gli indicatori a supporto delle attività economiche connesse all'economia circolare rispecchiano la volontà politica italiana di promuovere innovazione e la transizione del settore produttivo, mentre quelli relativi alla comunicazione e all'educazione ambientale evidenziano il ruolo del cambiamento comportamentale e della consapevolezza pubblica.

Questi indicatori complementari offrono quindi una comprensione più articolata dell'attuazione a livello nazionale e consentono ai decisori politici di affrontare in modo mirato le sfide economiche e ambientali specifiche del contesto.

Nonostante le somiglianze e le complementarità, permangono alcune discrepanze significative.

In particolare, il framework europeo comprende indicatori relativi al commercio internazionale di materiali riciclabili e alla dipendenza dalle importazioni di materie prime, che non sono inclusi nella strategia italiana ma risultano fondamentali per valutare la resilienza delle catene di approvvigionamento.

Queste lacune evidenziano la necessità di una maggiore armonizzazione tra i due livelli di monitoraggio e suggeriscono la possibile integrazione del framework europeo con indicatori operativi e politicamente rilevanti già utilizzati a livello nazionale.

Più in generale, tutti gli indicatori restano orientati a una misurazione su scala macro, trascurando le dimensioni meso e micro.

Il terzo passo dell'analisi dei dataset approfondisce ulteriormente il confronto, esaminando gli indicatori sviluppati a livello europeo, nazionale e regionale, con riferimento specifico al sistema di indicatori dell'Economia Circolare della Regione Piemonte.

L'analisi propone un confronto strutturato (Tabella 3) per valutare in che misura le strategie sovranazionali e nazionali siano attuate e adattate a livello regionale, in particolare rispetto alle politiche territoriali industriali e produttive.

È importante sottolineare che la strategia regionale fa esplicito riferimento ai principi dell'economia circolare, pur non classificando gli indicatori in cluster.

Per agevolare il confronto tra i diversi insiemi di indicatori, ciascun indicatore regionale è stato ricondotto ai cluster adottati nei framework europeo e nazionale, garantendo così coerenza con le strategie di livello superiore (Tabella 3).

Tabella 3. Comparazione fra gli indicatori di CE alle scale Europea, Nazionale e Regionale (Fonte: elaborazione propria da EUROSTAT, 2023; European Commission, 2023; CE National Strategy dataset, 2022; Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Cluster	Indicatori CE Quadro di monitoraggio Commissione europea, 2023	Indicatori CE Strategia Nazionale dell'Economia Circolare MiTE, 2022	Indicatori CESRSvS Regione Piemonte, 2022
Produzione e consumo (P&C)	Impronta dei materiali	Appalti pubblici verdi	Rifiuti speciali non pericolosi prodotti dalle attività produttive
	Produttività delle risorse	Produzione di rifiuti	Rifiuti speciali pericolosi prodotti dalle attività produttive
	Appalti pubblici verdi	Impronta dei materiali	-
	Produzione di rifiuti pro capite	Costi di gestione dei rifiuti	-
	Produzione di rifiuti esclusi i principali rifiuti minerali per unità di PIL	Rifiuti alimentari	-
	Produzione di rifiuti urbani pro capite	-	-
	Rifiuti alimentari	-	-
	Produzione di rifiuti da imballaggi pro capite	-	-
	Produzione di rifiuti di imballaggio in plastica pro capite	-	-
Gestione dei rifiuti (WM)	Tasso di riciclaggio dei rifiuti urbani	Preparazione per il riutilizzo	Impianti di incenerimento dei rifiuti speciali o impianti di recupero energetico

Segue Tabella 3. Comparazione fra gli indicatori di CE alle scale Europea, Nazionale e Regionale
(Fonte: elaborazione propria da EUROSTAT, 2023; European Commission, 2023; CE National Strategy
dataset, 2022; Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Cluster	Indicatori CE Quadro di monitoraggio Commissione europea, 2023	Indicatori CE Strategia Nazionale dell'Economia Circolare MiTE, 2022	Indicatori CESRSvS Regione Piemonte, 2022
<i>Gestione dei rifiuti (WM)</i>	Tasso di riciclaggio di tutti i rifiuti esclusi i rifiuti minerali principali	Tasso di riciclaggio dei rifiuti urbani	Impianti di compostaggio verde e impianti di trattamento meccanico-biologico
	Tasso di riciclaggio dei rifiuti di imballaggio complessivi	Tasso di riciclaggio dei rifiuti, esclusi i rifiuti minerali principali	-
	Tasso di riciclaggio degli imballaggi in plastica percentuale	Tasso di riciclaggio dei rifiuti di imballaggio	-
	Tasso di riciclaggio dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) raccolti separatamente	Tasso di riciclaggio degli imballaggi in plastica	-
	-	Tasso di riciclaggio dei rifiuti di imballaggi in legno	-
	-	Tasso di riciclaggio dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE)	-
	-	Tasso di riciclaggio dei rifiuti urbani organici	-
	Tasso di utilizzo circolare dei materiali	Contributo dei materiali riciclati alla domanda di materie prime - tasso di utilizzo circolare dei materiali	-
<i>Materie prime secondarie (SRM)</i>	Contributo dei materiali riciclati alla domanda di materie prime - tassi di input di riciclaggio a fine vita (EOL-RIR)	-	-
	Commercio di materie prime riciclabili - Importazioni da paesi extra UE	-	-
	Commercio di materie prime riciclabili - Importazioni verso paesi extra UE	-	-
	Commercio di materie prime riciclabili - Commercio intracomunitario	-	-

Segue Tabella 3. Comparazione fra gli indicatori di CE alle scale Europea, Nazionale e Regionale
(Fonte: elaborazione propria da EUROSTAT, 2023; European Commission, 2023; CE National Strategy dataset, 2022; Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Cluster	Indicatori CE Quadro di monitoraggio Commissione europea, 2023	Indicatori CEStrategia Nazionale dell'Economia Circolare MiTE, 2022	Indicatori CESRSvSRegione Piemonte, 2022
Competitività e innovazione (C&I)Sostenibilità ecologica e resilienza (S&R)	Investimenti privati relativi ai settori dell'economia circolare	Investimenti relativi ai settori dell'economia circolare – brevetti relativi all'economia circolare	Totale imprese registrate
	Persone impiegate nei settori dell'economia circolare	Misure per il progetto "Faro"	Bilancio demografico totale delle imprese
	Valore aggiunto lordo	Misure per i progetti di miglioramento della gestione dei rifiuti	Tasso di crescita delle imprese
	Brevetti relativi al riciclaggio e alle materie prime secondarie	Misure a sostegno delle attività economiche e produttive nei settori dell'economia circolare	Imprese che hanno effettuato investimenti (2016-2018) e producono tecnologie abilitanti
	-	-	Imprese che hanno effettuato investimenti (2016-2018) e utilizzano tecnologie abilitanti
	-	-	Imprese che hanno effettuato investimenti (2016-2018) e hanno prodotto o utilizzato tecnologie abilitanti – Almeno un settore di investimento
	-	-	Imprese con attività di innovazione di prodotto e/o di processo (per 100 imprese)
	-	-	Tasso di innovazione dei sistemi di produzione – Imprese con almeno 10 dipendenti che hanno introdotto innovazioni tecnologiche, di prodotto e di processo (2016-2018), in percentuale sul totale delle imprese con almeno 10 dipendenti
	-	-	Spesa media regionale per l'innovazione aziendale – Spesa media regionale per l'innovazione per dipendente sul totale delle imprese
	-	-	

Segue Tabella 3. Comparazione fra gli indicatori di CE alle scale Europea, Nazionale e Regionale
(Fonte: elaborazione propria da EUROSTAT, 2023; European Commission, 2023; CE National Strategy
dataset, 2022; Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Cluster	Indicatori CE Quadro di monitoraggio Commissione europea, 2023	Indicatori CE Strategia Nazionale dell'Economia Circolare MiTE, 2022	Indicatori CESRSvS Regione Piemonte, 2022
Competitività e innovazione (C&I) Sostenibilità ecologica e resilienza (S&R)	-	-	Tasso di natalità delle imprese nei settori ad alta intensità di conoscenza
	-	-	Tasso di sopravvivenza triennale delle imprese nei settori ad alta intensità di conoscenza
	-	-	Tasso di occupazione (età 20-64)
	-	-	Tasso di occupazione femminile (età 20-64)
	-	-	Numero di dipendenti nei settori ad alta intensità di conoscenza nell'industria e nei servizi - Dipendenti nei settori ad alta intensità di conoscenza in percentuale sul totale dei dipendenti, nelle unità locali dell'industria e dei servizi
	-	-	Imprese che beneficiano dei centri di innovazione
	Impronta di consumo	-	Imprese che hanno intrapreso azioni di sostenibilità ambientale, responsabilità sociale e sicurezza - TOTALE
	Emissioni di gas serra derivanti dalle attività produttive	-	Imprese che hanno intrapreso azioni di sostenibilità ambientale, responsabilità sociale e sicurezza per ridurre l'impatto ambientale
	Dipendenza dall'importazione di materiali	-	Imprese che hanno intrapreso azioni di sostenibilità ambientale, responsabilità sociale e sicurezza per migliorare il benessere sul posto di lavoro
	Autosufficienza dell'UE per le materie prime	-	Imprese che hanno intrapreso azioni di sostenibilità ambientale, responsabilità sociale e sicurezza per sostenere o realizzare iniziative di interesse collettivo

Segue Tabella 3. Comparazione fra gli indicatori di CE alle scale Europea, Nazionale e Regionale (Fonte: elaborazione propria da EUROSTAT, 2023; European Commission, 2023; CE National Strategy dataset, 2022; Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Cluster	Indicatori CE Quadro di monitoraggio Commissione europea, 2023	Indicatori CE Strategia Nazionale dell'Economia Circolare MiTE, 2022	Indicatori CESRSvS Regione Piemonte, 2022
<i>Competitività e innovazione (C&I) Sostenibilità ecologica e resilienza (S&R)</i>	-	-	Imprese che hanno intrapreso azioni di sostenibilità ambientale, responsabilità sociale e sicurezza per sostenere o realizzare iniziative a beneficio del sistema produttivo locale
	-	-	Imprese che hanno intrapreso azioni di sostenibilità ambientale, responsabilità sociale e sicurezza per aumentare i livelli di sicurezza all'interno dell'impresa o nelle aree circostanti
	-	-	Imprese che beneficiano di interventi relativi all'efficienza energetica e all'installazione di sistemi di energia rinnovabile
<i>Suolo - bonifica del suolo</i>	-	Siti abbandonati bonificati	-
	-	Riduzione dei siti contaminati di rilevanza nazionale	-
<i>Risorse idriche - Depurazione</i>	-	Trattamento delle acque reflue	Densità degli impianti di trattamento consortili
<i>Qualità dell'aria - Emissioni</i>	-	Contributo dei gas serra nel settore dei rifiuti	-
	-	Qualità dell'aria urbana	-
<i>Educazione ambientale</i>	-	Campagne di comunicazione sull'economia circolare	-

Il confronto tra i tre framework (Tabella 3) rivela che nessun indicatore risulta direttamente allineato tra tutte e tre le strategie. Tuttavia, si riscontrano parziali sovrapposizioni nelle dimensioni di produzione e consumo, gestione dei rifiuti, in particolare per quanto riguarda i rifiuti speciali e pericolosi, e competitività e innovazione, che includono l'occupazione nei settori circolari o ad alta intensità di conoscenza.

Tra i dataset nazionale e regionale emergono ulteriori convergenze, relative alla produzione di rifiuti speciali, agli investimenti in tecnologia e innovazione, e alle azioni ambientali e sociali delle imprese, rilevate attraverso indicatori regionali su responsabilità sociale d'impresa, benessere lavorativo e sicurezza nei luoghi di lavoro.

I tre framework risultano pertanto ampiamente complementari, offrendo una copertura multilivello che riflette le differenti scale di governance e priorità strategiche.

Il dataset europeo fornisce una prospettiva macro-strutturale, con indicatori sistemici quali l'impronta dei materiali, la produttività delle risorse, i flussi commerciali intra ed extra-UE, i brevetti e le emissioni di gas serra. Esso enfatizza inoltre i flussi di materiali, i cicli dei rifiuti, il valore aggiunto e l'occupazione nei settori dell'economia circolare.

Il dataset nazionale integra indicatori operativi, regolatori e ambientali, includendo strumenti di governance quali gli appalti pubblici verdi, le campagne di comunicazione sulla CE, gli interventi nei settori produttivi e il trattamento delle acque reflue evidenziando misure relative agli impatti sociali e territoriali, come la bonifica dei siti contaminati e la qualità dell'aria urbana.

La strategia regionale, invece, offre una prospettiva territoriale e imprenditoriale, includendo dinamiche a livello aziendale quali la nascita, crescita e sopravvivenza delle imprese, le misure di innovazione tecnologica e la partecipazione ai poli di innovazione, le azioni di sostenibilità e responsabilità sociale d'impresa, i dati sulle infrastrutture per l'incenerimento, il trattamento meccanico-biologico, il compostaggio e gli impianti di trattamento delle acque reflue, nonché interventi aziendali su efficienza energetica e tecnologie abilitanti, particolarmente rilevanti per la politica locale.

Un'analisi più approfondita della strategia regionale mostra che la maggior parte degli indicatori è concentrata nella dimensione di competitività e innovazione, traducendo la prospettiva di investimento europea in ambito regionale attraverso quindici indicatori, i quali forniscono evidenze sulla capacità imprenditoriale di introdurre innovazioni tecnologiche nei prodotti e nei processi, sui tassi di innovazione del sistema produttivo, sulla spesa media per l'innovazione, sulle dinamiche d'impresa e sull'occupazione nei settori ad alta intensità di conoscenza, oltre che sui tassi complessivi di occupazione.

Per quanto riguarda la produzione di rifiuti, la Regione Piemonte limita l'applicazione al settore produttivo, distinguendo tra rifiuti pericolosi e non pericolosi mediante due indicatori.

Nella dimensione di sostenibilità e resilienza, in assenza di indicatori equivalenti a livello europeo o nazionale, sette indicatori regionali misurano le azioni volontarie di sostenibilità aziendale, tra cui la riduzione dell'impatto ambientale, il miglioramento del benessere lavorativo, le iniziative collettive o di sistema locale, la partecipazione ai poli di innovazione locali e il numero di imprese beneficiarie di interventi di efficienza energetica e fonti rinnovabili.

Solo due misure del dataset regionale si riferiscono alla gestione dei rifiuti, nello specifico agli impianti di incenerimento e compostaggio. Un ulteriore indicatore regionale riguarda il trattamento delle acque reflue, riflettendo il focus nazionale mediante l'introduzione della densità degli impianti di trattamento consortili.

Non sono presenti indicatori regionali che misurino direttamente la dimensione delle materie prime secondarie, componente cruciale dell'economia circolare.

Questa limitazione riduce la capacità di monitorare in modo efficace le attività di recupero, riuso e reintegrazione delle risorse, che rappresentano pilastri fondamentali nella transizione verso un modello produttivo circolare e sostenibile.

Nel complesso, permangono lacune significative tra i tre framework. Il framework europeo non considera la qualità ambientale locale, le azioni volontarie delle imprese o la partecipazione ai poli di innovazione territoriali. Il framework nazionale manca di indicatori relativi alla demografia d'impresa, all'innovazione strutturata e alla distribuzione territoriale delle infrastrutture. Il framework regionale, infine, non include indicatori chiave per la valutazione della circolarità dei materiali, come l'impronta dei materiali, la produttività delle risorse, il tasso di utilizzo circolare dei materiali, l'uso di materie prime secondarie, i flussi commerciali UE/non UE, né indicatori di governance ambientale e strategica.

L'analisi della strategia regionale nel contesto del framework europeo suggerisce che il Piemonte investa maggiormente nella conservazione dell'energia incorporata attraverso incenerimento e compostaggio, e nella misurazione dell'economia lineare come scenario di riferimento, piuttosto che nella promozione di strategie circolari a più alto valore aggiunto, come l'estensione della vita dei prodotti, le funzioni di servizio/prodotto e l'utilizzo di materiali secondari tramite riciclo o *upcycling*.

Ciò indica una prospettiva ancora parzialmente orientata alla gestione delle risorse esistenti, più che a una piena transizione verso modelli circolari ad alto valore.

4. Gap tra indicatori

Dopo aver condotto un'analisi dettagliata delle somiglianze e delle differenze tra i set di indicatori derivati da fonti ufficiali e aver individuato le lacune in termini di contenuto e allineamento con i cluster dell'economia circolare, la ricerca prosegue con un esame degli aspetti operativi degli indicatori.

L'obiettivo è comprendere se e come tali set di indicatori possano essere operazionalizzati per supportare il sistema agroalimentare secondario alla scala meso.

Secondo la letteratura scientifica, la selezione e la valutazione della validità operativa degli indicatori possono basarsi su tre criteri principali:

- i) Rilevanza rispetto all'obiettivo: gli indicatori devono essere direttamente collegati agli obiettivi della strategia, del programma o del piano d'azione, nonché al campo di studio specifico. Questo legame è essenziale per garantire la rappresentatività e l'utilità delle misurazioni selezionate (Lami et al., 2023; Hák et al., 2016; Lennie et al., 2011; Zall Kusek & Rist, 2004).
- ii) Rilevanza rispetto al contesto: gli indicatori devono essere adeguati alla scala territoriale e alle priorità specifiche del contesto locale. Gli indicatori sviluppati per la scala macro, ad esempio, possono risultare inadeguati a rappresentare fenomeni alla scala meso o micro, riducendo la loro efficacia interpretativa (da Silva et al., 2020; Miola et al., 2019; Hák et al., 2016).
- iii) Fattibilità: gli aspetti operativi degli indicatori devono tener conto delle limitazioni legate alla disponibilità, qualità, continuità e granularità dei dati, nonché della loro integrazione con le informazioni geospaziali. Le difficoltà di accesso e utilizzo delle banche dati esistenti, spesso non interoperabili o basate su tecnologie chiuse, rappresentano un ostacolo significativo alla loro applicazione efficace (Lami et al., 2023; van Vuuren et al., 2022; da Silva et al., 2020; Hák et al., 2016).

All'interno del quadro SRSvS, la Regione Piemonte adotta l'economia circolare come principio guida per orientare la pianificazione regionale verso un modello di sviluppo che coniughi competitività, sostenibilità ambientale ed equità sociale. In particolare, gli obiettivi strategici e le linee guida delineati dalla Macroarea Strategica 1 (MAS 1) mirano a trasformare il sistema produttivo regionale e promuovere una nuova imprenditorialità in un'ottica circolare attraverso leve di innovazione tecnologica e sociale (Regione Piemonte, 2022).

Tabella 4. Gap di indicatori alla scala regionale (Fonte: elaborazione propria da Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Cluster	Obiettivi SRSvS Regione Piemonte, 2022 MAS 1 (Pr. 1a e 1b)	Indicatori CESRSvS Regione Piemonte, 2022 MAS 1 (Pr. 1a e 1b)
Produzione e consumo (P&C)	Aumentare la sostenibilità dei prodotti e dei processi produttivi, anche sfruttando appieno il potenziale delle tecnologie più innovative (OBJ. 1)	Rifiuti speciali non pericolosi prodotti dalle attività produttive
	-	Rifiuti speciali pericolosi prodotti dalle attività produttive

Segue Tabella 4. Gap di indicatori alla scala regionale (Fonte: elaborazione propria da Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Cluster	Obiettivi SRSvS Regione Piemonte, 2022 MAS 1 (Pr. 1a e 1b)	Indicatori CESRSvS Regione Piemonte, 2022 MAS 1 (Pr. 1a e 1b)
<i>Gestione dei rifiuti (WM)</i>	-	Impianti di incenerimento dei rifiuti speciali o impianti di recupero energetico
	-	Impianti di compostaggio verde e impianti di trattamento meccanico-biologico
<i>Materie prime secondarie (SRM)</i>	Sostenere la creazione di (OBIETTIVO 3)	-
<i>Competitività e innovazione (C&I)</i>	Sostenere lo sviluppo di nuove specializzazioni produttive altamente innovative basate sui paradigmi dell'economia circolare e della bioeconomia (OBIETTIVO 2)	Totale imprese registrate
	Promuovere la ricerca e l'innovazione rafforzando la sinergia tra il settore produttivo e il sistema di ricerca (OBIETTIVO 4)	Bilancio demografico totale delle imprese
	-	Tasso di crescita delle imprese
	-	Imprese che hanno effettuato investimenti (2016-2018) e producono tecnologie abilitanti
	-	Imprese che hanno effettuato investimenti (2016-2018) e utilizzano tecnologie abilitanti
	-	Imprese che hanno effettuato investimenti (2016-2018) e hanno prodotto o utilizzato tecnologie abilitanti - Almeno un'area di investimento
	-	Imprese con attività di innovazione di prodotto e/o di processo (per 100 imprese)
	-	Tasso di innovazione dei sistemi di produzione - Imprese con almeno 10 dipendenti che hanno introdotto innovazioni tecnologiche, di prodotto e di processo (2016-2018), in percentuale sul totale delle imprese con almeno 10 dipendenti
	-	Spesa media regionale per l'innovazione aziendale - Spesa media regionale per l'innovazione per dipendente sul totale della popolazione aziendale
	-	Tasso di natalità delle imprese nei settori ad alta intensità di conoscenza

Segue Tabella 4. Gap di indicatori alla scala regionale (Fonte: elaborazione propria da Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Cluster	Obiettivi SRSvS Regione Piemonte, 2022 MAS 1 (Pr. 1a e 1b)	Indicatori CESRSvS Regione Piemonte, 2022 MAS 1 (Pr. 1a e 1b)
<i>Competitività e innovazione (C&I)</i>	-	Tasso di sopravvivenza triennale delle imprese nei settori ad alta intensità di conoscenza
	-	Tasso di occupazione (età 20-64)
	-	Tasso di occupazione femminile (età 20-64)
	-	Numero di dipendenti nei settori ad alta intensità di conoscenza nell'industria e nei servizi - Dipendenti nei settori ad alta intensità di conoscenza in percentuale sul totale dei dipendenti, nelle unità locali dell'industria e dei servizi
	-	Imprese che beneficiano dei centri di innovazione
<i>Sostenibilità ecologica e resilienza (S&R)</i>	-	Imprese che hanno intrapreso azioni di sostenibilità ambientale, responsabilità sociale e sicurezza - TOTALE
	-	Imprese che hanno intrapreso azioni di sostenibilità ambientale, responsabilità sociale e sicurezza per ridurre l'impatto ambientale
	-	Imprese che hanno intrapreso azioni di sostenibilità ambientale, responsabilità sociale e sicurezza per migliorare il benessere sul posto di lavoro
	-	Imprese che hanno intrapreso azioni di sostenibilità ambientale, responsabilità sociale e sicurezza per sostenere o realizzare iniziative di interesse collettivo
	-	Imprese che hanno intrapreso azioni di sostenibilità ambientale, responsabilità sociale e sicurezza per sostenere o realizzare iniziative a beneficio del sistema produttivo locale
	-	Imprese che hanno intrapreso azioni di sostenibilità ambientale, responsabilità sociale e sicurezza per aumentare in modo significativo i livelli di sicurezza all'interno dell'impresa o nelle aree circostanti

Segue Tabella 4. Gap di indicatori alla scala regionale (Fonte: elaborazione propria da Sustainable development Regional Strategy, 2022)

Cluster	Obiettivi SRSvS Regione Piemonte, 2022 MAS 1 (Pr. 1a e 1b)	Indicatori CESRSvS Regione Piemonte, 2022 MAS 1 (Pr. 1a e 1b)
<i>Sostenibilità ecologica e resilienza (S&R)</i>	-	Imprese che beneficiano di interventi relativi all'efficienza energetica e all'installazione di sistemi di energia rinnovabile
<i>Risorse idriche - Depurazione</i>	-	Densità degli impianti di trattamento consortili

Sulla base dei tre criteri sopra delineati, l'analisi evidenzia diverse lacune nell'attuale set di indicatori regionali per l'economia circolare (Regione Piemonte, 2022).

Per quanto riguarda il primo criterio, la *rilevanza rispetto all'obiettivo*, la strategia regionale definisce obiettivi strategici e linee guida senza strutturare esplicitamente un set operativo di indicatori collegati a tali obiettivi (Tabella 4). In particolare, l'obiettivo dichiarato di sperimentare la chiusura dei cicli produttivi a livello regionale, partendo dalle filiere più mature come quella agroalimentare, è accompagnato da riferimenti concettuali che includono il supporto delle utility, il passaggio da un modello di fornitore di servizi a uno di "solution partner", l'adozione di approcci di innovazione sociale e la promozione di modelli circolari e sistemici. Tuttavia, questi riferimenti non sono supportati da indicatori operativi e quantitativi corrispondenti.

Questa limitazione incide sulla capacità di monitorare e valutare concretamente l'efficacia delle politiche regionali, in particolare rispetto alla loro applicazione operativa al sistema agroalimentare secondario su scala meso, che richiede strumenti adattati e contestualizzati alle specificità territoriali e di filiera.

In generale, il set di indicatori analizzato mostra un buon allineamento con gli obiettivi strategici delineati dallo SRSvS della Regione Piemonte (2022), sebbene permangano alcune lacune e potenziali debolezze dovute all'assenza di:

- indicatori relativi alla chiusura dei cicli produttivi, alla simbiosi industriale e alla cooperazione interaziendale;
- indicatori di impatto sociale;
- indicatori collegati a specifiche filiere strategiche;
- indicatori orientati specificamente alla performance ambientale integrata.

Per quanto riguarda la *rilevanza rispetto all'obiettivo*, l'attuale set di indicatori risulta fortemente concentrato sugli aspetti di innovazione e competitività del sistema produttivo, mostrando una capacità insufficiente di misurare le dinamiche di circolarità. Per migliorare l'aderenza ai principi dell'economia circolare, è necessario integrare indicatori relativi alla dimensione Produzione & Consumo, con attenzione alla qualità ambientale dei prodotti e dei processi lungo l'intero ciclo di vita.

Per la dimensione Materie Prime Secondarie, servono indicatori capaci di rilevare i flussi in entrata e in uscita, in particolare relativi alle materie prime secondarie e alla presenza di pratiche di simbiosi industriale, valorizzazione dei rifiuti e sottoprodotti. In parallelo, per la dimensione Competitività & Innovazione, l'innovazione tecnologica e organizzativa dovrebbe essere affrontata esplicitamente in un'ottica circolare, ad esempio introducendo indicatori sulla nascita di start-up e spin-off orientati alla CE e sulla diffusione di modelli di business innovativi come leasing, pay-per-use o utility-as-a-service.

Per la Gestione dei Rifiuti, è necessario integrare indicatori che misurino l'efficienza del recupero e la percentuale di rifiuti reimmessi nei cicli produttivi. Complessivamente, la misurazione

della circolarità richiede una struttura di indicatori coerente con i cinque cluster tematici consolidati a livello europeo e nazionale.

Per quanto riguarda il secondo criterio, la rilevanza rispetto al contesto, gli indicatori inclusi nella SRSvS della Regione Piemonte (2022) si collocano principalmente alla scala meso, osservando il sistema produttivo regionale in forma aggregata. Pur essendo utili per delineare le dinamiche generali di innovazione, sostenibilità e imprenditorialità, tali indicatori non consentono una lettura dettagliata dei fenomeni e delle specificità delle singole filiere produttive.

Ad esempio, indicatori come il tasso di innovazione, la produzione di rifiuti speciali o la spesa media in R&S si riferiscono a interi settori o aggregati territoriali, ma non forniscono evidenze disaggregate sulle singole catene del valore, sulla loro localizzazione o sulle interconnessioni necessarie a valutare la simbiosi industriale. Come sottolineato da Nakamura e Managi (2020), l'analisi su scala micro è essenziale per cogliere le differenze settoriali e territoriali e per supportare politiche mirate su specifici poli o distretti.

La rilevanza rispetto al contesto implica anche che la misurazione della CE debba essere maggiormente calibrata sui singoli settori o filiere. La raccolta e l'analisi dei dati dovrebbero fornire informazioni disaggregate sulle materie prime secondarie, sull'impatto ambientale delle attività di trasformazione e sulla diffusione di start-up e modelli di business orientati alla circolarità. È inoltre necessaria una mappatura più dettagliata della densità e qualità delle reti di imprese circolari, come poli industriali *"a spreco zero"*, piattaforme locali di riuso e centri logistici e tecnologici dedicati allo scambio di materiali tra imprese.

La misurazione dei rifiuti dovrebbe essere rafforzata, collegando il tipo di rifiuto generato dalle diverse filiere con le tipologie di impianti disponibili localmente, per valutare con maggiore precisione l'efficienza del recupero per settore produttivo.

Per quanto riguarda il terzo criterio, la fattibilità, il set di indicatori SRSvS della Regione Piemonte (2022) risulta solo parzialmente conforme. Sebbene sei enti istituzionali siano responsabili della raccolta e diffusione dei dati (ISTAT, Finpiemonte, Unioncamere, Agenzia delle Entrate, Regione Piemonte, ARPA Piemonte), le banche dati presentano significative limitazioni in termini di operatività e accessibilità. Molti indicatori si basano su informazioni aggregate, eterogenee e datate, compromettendo seriamente la possibilità di utilizzare tali dati per scopi operativi, come il monitoraggio della performance circolare a livello di filiera o la definizione di politiche mirate.

In alcuni casi, per ottenere dati realmente utili su scala micro, ad esempio sulle pratiche di sostenibilità aziendale, sull'adozione di tecnologie circolari o sulla simbiosi industriale, sono necessarie fonti di dati alternative, come banche dati private o indagini condotte da associazioni di categoria e organizzazioni di produttori. Ciò rende l'uso degli indicatori pubblici meno efficace nel supportare la governance territoriale della transizione circolare.

5. Conclusioni e sviluppi futuri

Questa ricerca ha analizzato criticamente i set di indicatori attualmente utilizzati per misurare l'economia circolare (CE) alla scala meso, con un focus specifico sul settore agroindustriale secondario in Piemonte (Italia). Sulla base di una revisione della letteratura, di un'analisi delle politiche regionali e di un confronto tra i framework esistenti, sono stati individuati elementi utili per rispondere alle tre domande guida dello studio.

- i) Quali indicatori sono attualmente utilizzati per misurare la CE in linea con le principali strategie europee?

L'analisi ha mostrato che gli indicatori attualmente in uso derivano per lo più da framework internazionali e strategici, parzialmente adottati dalle strategie regionali ma non sempre adattati alla scala meso. Essi coprono principalmente i cluster tematici europei della CE, ma il loro livello di dettaglio, la struttura e la coerenza risultano eterogenei. Gli indicatori più consolidati riguardano l'efficienza delle risorse, la gestione dei rifiuti e la spesa in R&S, mentre sono ancora poco sviluppati gli indicatori relativi alla simbiosi industriale, alla cooperazione interaziendale e agli impatti ambientali e sociali lungo la filiera.

ii) Quali sono i punti di forza e di debolezza di questi indicatori con riferimento al sistema agroalimentare secondario su scala meso?

I principali punti di forza risiedono nella presenza di un'infrastruttura istituzionale esistente per la raccolta dei dati e nel generale allineamento tra obiettivi regionali e principi dell'economia circolare. Tuttavia, emergono significative debolezze in termini di copertura, con bassa disaggregazione per settori specifici come quello agroalimentare secondario; adeguatezza territoriale, poiché molti indicatori operano su scala regionale o nazionale senza consentire analisi a livello di distretti, hub o reti di imprese; dimensione operativa, con dati spesso aggregati, discontinui e poco interoperabili; e misurazione dell'impatto, in particolare per quanto riguarda le dimensioni sociale e ambientale integrate della circolarità.

iii) Come possono questi indicatori essere tradotti da una prospettiva strategica a una operativa?

Per facilitare la transizione da una prospettiva strategica a una pienamente operativa, la ricerca propone diverse direzioni prioritarie, tra cui:

- Adattamento settoriale degli indicatori attraverso la definizione di metriche specifiche per le catene produttive, come quelle del sistema agroalimentare, capaci di cogliere processi chiave quali riuso, riciclo interno, trasformazione dei rifiuti e adozione di modelli di business circolari;
- Maggiore granularità territoriale mediante la raccolta di dati disaggregati per distretti, hub o aree funzionali, coinvolgendo anche consorzi, associazioni di categoria e utility locali;
- Sviluppo di indicatori compositi (Freudenberg, 2003; Rijpmma et al., 2025) capaci di integrare dimensioni ambientali, economiche e sociali, e di evidenziare pratiche di simbiosi industriale (Chertow, 2000; Lombardi & Laybourn, 2012);
- Rafforzamento del sistema informativo migliorando qualità, frequenza e accessibilità dei dati, anche mediante l'utilizzo di fonti alternative come dati amministrativi, open data e dati generati dai cittadini (Wu, 2020).

In sintesi, la transizione verso un sistema agroalimentare più circolare richiede un'azione integrata sulla qualità e contestualizzazione degli indicatori e sulla costruzione di infrastrutture dati abilitanti, in grado di fornire strumenti realmente operativi per guidare e monitorare la trasformazione sostenibile dei sistemi produttivi su scala meso.

I futuri sviluppi della ricerca potrebbero concentrarsi sulla sperimentazione pilota degli indicatori e sulla co-progettazione di strumenti di monitoraggio con gli stakeholder locali, per tradurre i principi dell'economia circolare in pratiche misurabili e attuabili.

In questo contesto, è necessario un rafforzamento sistemico delle capacità di monitoraggio attraverso la definizione di nuovi indicatori disaggregati per settore, territorio e fase del ciclo di vita, integrati con metodologie consolidate come la *Life Cycle Assessment* (LCA), *Material Flow Analysis* (MFA) e gli approcci di multicriteriali (Sala et al., 2021; Figueira et al., 2005). Questi strumenti, se supportati da una governance multilivello e multi-attore, possono non solo fornire una lettura più realistica dei processi di circolarità, ma anche favorire l'emergere di pratiche di innovazione sistemica capaci di integrare dimensioni ambientali, sociali ed economiche. L'uso di dati alternativi, inclusi quelli generati da stakeholder locali, organizzazioni di produttori e filiere, o derivati da fonti non convenzionali come i dati generati dai cittadini (Wu, 2020), potrebbe contribuire a colmare le lacune informative, rendendo il sistema di misurazione più dinamico e adattabile.

Contributo degli autori

Il Lavoro è da attribuirsi in modo paritario agli autori.

Finanziamento

Questa pubblicazione è parte del Progetto NODES il quale ha ricevuto fondi dal MUR - M4C2 1.5 of PNRR funded by the European Union – NextGenerationEU (Grant agreement no. ECS00000036)

Bibliografia

- Abastante F., Mecca B. (2025). Urban projects and the policy-making cycle: indicators for effective governance. *Sustainability*, 17(14), 6305.
- Abastante F., Penza M. (2025). Towards Sustainable Neighbourhoods: Implementing an Integrated Evaluation System. *Valori e Valutazioni*, (37).
- Adamo M., Cavalletto S., Tron S. (2023). *Piemonte Rurale 2023: Rapporto annuale dell'Osservatorio Rurale*. Istituto di Ricerche Economico Sociali del Piemonte. https://www.ires.piemonte.it/wp-content/uploads/pubblicazioni/Pubblicazioni_2023/Piemonte-Rurale-2023.-Rapporto-annuale-dell'Osservatorio-Rurale.pdf
- Adamo M. & Cavalletto S. (2024). *Piemonte Rurale 2024: Rapporto annuale dell'Osservatorio Rurale*. Istituto di Ricerche Economico Sociali del Piemonte. https://www.ires.piemonte.it/wp-content/uploads/pubblicazioni/Pubblicazioni_2024/Piemonte-Rurale-2024.-Rapporto-annuale-dell'Osservatorio-Rurale.pdf
- Aimone S. & Vernoni G. (2021). *Imprese, lavoro e competenze nel sistema agroalimentare piemontese: Una ricognizione a supporto della gestione della formazione professionale* (Rapporto di ricerca). Istituto di Ricerche Economico Sociali del Piemonte. <https://sisform.piemonte.it/ambiti-osservazione/analisi-dei-fabbisogni>
- Blomsma F. & Brennan G. (2017). The emergence of circular economy: A new framing around prolonging resource productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 603–614. <https://doi.org/10.1111/jiec.12603>
- Chertow M.R. (2000). Industrial symbiosis: Literature and Taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment* 25, 313–337
- Circular Economy Network (2024). *6° Rapporto sull'economia circolare in Italia*. <https://circulareconomy.network.it/wp-content/uploads/2024/05/CEN2024-Impagina-TOT-DEF.pdf>
- da Silva J., Fernandes V., Limont M. & Bonino Rauen W. (2020). Sustainable development assessment from a capitals perspective: Analytical structure and indicator selection criteria, *Journal of Environmental Management*, Vol. 260, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110147>
- Dente B. & De Vecchi G., (1999). “La valutazione e il controllo strategico”, in Azzone G., Dente B. (eds.), *Valutare per governare*, Etas, Milano, 1999
- Dragomir V. & Dumitru M. (2024). *The state of the research on circular economy in the European Union: A bibliometric review*. *Cleaner Waste Systems*, 7, 100127. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100127>
- Ellen MacArthur Foundation (2015). *Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition*. <https://doi.org/2012-04-03>
- Ellen MacArthur Foundation (2021). *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. Ellen MacArthur Foundation. <https://content.ellenmacarthurfoundation.org/m/3eac8667edd240cc/original/Completing-the-picture-How-the-circular-economy-tackles-climate-change.pdf>
- ENEA (2025). *Piattaforma Italiana degli attori per l'Economia Circolare (ICESP)*. Recuperato da <https://www.icesp.it/>
- European Commission (2019). *The European Green Deal*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>
- European Commission (2021). *Circular Economy Action Plan*. https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_it?etrans=it
- European Commission (2023). *Circular Economy Monitoring Framework*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/monitoring-framework>
- European Commission (2025). *European Circular Economy Stakeholder Platform*. <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en>

- EUROSTAT (2024). Sustainable development in the European Union - Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context doi: 10.2785/98370 <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-flagship-publications/w/ks-05-24-071>
- Fabianelli A. (2024). Local value creation for developing business relationships: An SME case study in the pasta industry. *Italian Journal of Marketing*, 2024(1)
- Fanfani R. (2009). Structural Changes and the Role of Districts in the Development of the Italian Food Industry. *Sociologia Ruralis*, 49(3), 207–225
- Fassio F. & Tecco N., 2018. Turin Food Atlas: Sharing knowledge towards urban food policies to develop circular cities.
- Fassio F. (2022). Economia circolare nel sistema agroalimentare piemontese. Rapporto di ricerca. https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2023-02/report_unisg_definitivo.pdf
- Fassio F. & Tecco N. (2018). Circular Economy for Food. Matter, energy and knowledge, in a circle. Edizioni Ambiente, Milan, Italy. ISBN 9788866272588
- Fassio F. & Minotti B. (2019). Circular Economy for Food Policy: The Case of the RePoPP Project in The City of Turin (Italy). *Sustainability* 11, no. 21: 6078
- Fauzi M.A., Zainal Abidin N.H., Omer M.M., Kineber A.F. & Abdul Rahman A.R. (2024). Role of sustainable development goals in advancing the circular economy: A state-of-the-art review on past, present and future directions. *Waste Management & Research*, 42(7), 1234-1250
- Figueira J., Greco S. & Ehrgott M. (Eds.) (2005). Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021). *The State of Food and Agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4476en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022). *The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging automation in agrifood systems*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/1c329966-521a-4277-83d7-07283273b64b/content>
- Freudenberg M. (2003). Composite indicators of country performance: a critical assessment
- Galardi M., Moruzzo R., Riccioli F., Granai G. & Di Iacovo F. (2022). Small Rural Enterprises and Innovative Business Models: A Case Study of the Turin Area. *Sustainability*, 14(3), 1265
- Gallopín G.C. (1996). Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach. *Environ. Model. Assess.* 1, 101–117. <https://doi.org/10.1007/BF01874899>
- 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
- Geng, Y., Sarkis J. & Bleischwitz R. (2019). How to globalize the circular economy. *Nature* 565, 153–155. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-00017-z>
- Ghisellini P., Cialani C. & Ulgiati S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *J. Clean. Prod.* 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Håk T., Janoušková S. & Moldan B. (2016). Sustainable Development Goals: A need for relevant indicators, *Ecological Indicators*, Vol. 60, 2016, pp. 565-573. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.003>
- International Organization for Standardization (2024). ISO 59004:2024 – Circular economy – Vocabulary, principles and implementation guidance. ISO. <https://www.iso.org/standard/81621.html>
- ISPRA (2024). Ambiente in Italia: uno sguardo d'insieme. Annuario dei dati ambientali 2024. https://indicatoriambientali.isprambiente.it/sites/default/files/pdf/Ambiente%20in%20Italia%202024/Ambiente%20in%20Italia-Annuario%202024_finaleA4.pdf
- ISTAT (2024). Rapporto SDGs 2024. Informazioni statistiche per l'Agenda 2030 in Italia. <https://www.istat.it/produzione-editoriale/rapporto-sdgs-2024/>
- Italian Circular Economy Stakeholder Platform (2019). *Rapporto delle attività 2018. Strumenti per la misurazione dell'economia circolare del GdL 3 della Piattaforma ICESP*. <https://www.icesp.it/GdL/3>

- Italian Circular Economy Stakeholder Platform (2020). *Rapporto 2020. Lo scenario internazionale e nazionale iniziative per la misurazione economia circolare. Aggiornamento del report 2018*. <https://doi.org/10.12910/DOC2020-009>
- Kirchherr J., Reike D. & Hekkert M. (2017). Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling* 127, 221–232
- Koch F. & Krellenberg K. (2018). How to Contextualize SDG 11? Looking at Indicators for Sustainable Urban Development in Germany, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(12):464 DOI:10.3390/ijgi7120464
- Lami I., Abastante F., Gaballo M., Mecca B. & Todella E. (2023). Fostering sustainable cities through additional SDG 11 - related indicators. *Valori e Valutazioni* 32, (45-61)
- Lennie J., Tacchi J., Koirala B., Wilmore M. & Skuse A.J. (2011). *Equal Access Participatory Monitoring and Evaluation Toolkit* https://www.betterevaluation.org/sites/default/files/EA_PM%2526E_toolkit_front_pages%2526introduction_for_publication.pdf, consulted online on December 11th 2022
- Loorbach D., Frantzeskaki N., Avelino F. (2017). Sustainability transitions research: transforming science and practice for societal change. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 42, (599–626)
- Lombardi D.R. & Laybourn P. (2012). Redefining Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology* 16 1, 28–37. DOI:10.1111/j.1530-9290.2011.00444.x
- Ministero della Transizione Ecologica – MiTE (2022). *Strategia nazionale per l'economia circolare. Linee programmatiche per l'aggiornamento, documento per la consultazione*. https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/economia_circolare/SEC_30092021_1.pdf
- Ministero dell'Ambiente e della sicurezza energetica – MASE (2023). *Strategia nazionale per lo sviluppo sostenibile 2023*. https://www.mase.gov.it/portale/documents/d/guest/snsvs22_aggiornata_completa-pdf
- Miola A., Borchardt S., Neher F. & Buscaglia D. (2019). *Interlinkages and policy coherence for the Sustainable Development Goals implementation. An operational method to identify trade-offs and co-benefits in a systemic way*, Publications Office of the European Union
- Moraga G., Huysveldt S., Mathieux F., Blengnin G.A., Alaerts L., Van Ackerd K., de Meester S. & Dewulfa J. (2019). Circular economy indicators: What do they measure?, *Resources, Conservation and Recycling* 146, 452–461
- Niero M. & Kalbar P.P. (2019). Coupling material circularity indicators and life cycle based indicators: A proposal to advance the assessment of circular economy strategies at the product level. *Resources, Conservation and Recycling* 140, 305–312
- OECD (2024). *An international review of national and subnational circular economy monitoring frameworks: Lessons and ways forward for Italy*. OECD Regional Development Papers, No. 74. <https://doi.org/10.1787/854b848b-en>
- Pauliuk S. (2018). Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. *Resources, Conservation and Recycling* 129, 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.019>
- Prieto-Sandoval V., Jaca C. & Ormazabal M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production* 179, 605–615
- Potting J., Hekkert M.P., Worrell E. & Hanemaaijer A. (2017). Circular economy: measuring innovation in the product chain. *Planbureau voor de Leefomgeving*, (2544)
- Regione Piemonte (2022). *Relazione regionale sulla sostenibilità 2022: Strategia Regionale per lo Sviluppo Sostenibile del Piemonte (SRSvS)*. Disponibile online: <https://relazione.ambiente.piemonte.it/2022/it/sostenibilita>
- Regione Piemonte (2023). *I numeri del Piemonte – Annuario statistico regionale*. Torino: Regione Piemonte. <https://www.regione.piemonte.it/web/amministrazione/finanza-programmazione-statistica/statistica/numeri-piemonte-annuario-statistico-regionale>
- Rijpma A., Philips R.C. & Van Bavel B.J. (2025). Multidimensional composite indicators of well-being: Applications in economic history. *Journal of Economic Surveys*, 39(2), 672–705
- Sala S., Amadei A. M., Beylot A. & Ardente F. (2021). The evolution of life cycle assessment in Euro-

- pean policies over three decades. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26, 2295-2314
- Sassanelli C., Rosa P., Rocca R. & Terzi S. (2019). Circular economy performance assessment methods: A systematic literature review. *Journal of cleaner production*, 229, 440-453
- Schofer J. P. (1975). Territoriality at the micro-, meso-, and macro-scales. *Journal of Geography*, 74 (3), 151-158. <https://doi.org/10.1080/00221347508979880>
- Schöggel, J-P., Stumpf L. & Baumgartner R.J. (2020). The narrative of sustainability and circular economy - A longitudinal review of two decades of research, *Resources, Conservation and Recycling*, 163, 1050
- Schröder P., Anggraeni K. & Weber U. (2018). The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals, *Journal of Industrial Ecology* Volume 23, Number 1
- Schröder P. & Barrie J. (2024). How the circular economy can revive the Sustainable Development Goals: Priorities for immediate global action, and a policy blueprint for the transition to 2050, *Research Paper*, London: Royal Institute of International Affairs, <https://doi.org/10.55317/9781784136222>
- Suarez-Eiroa B., Fernandez E. & Mendez G. (2021). Integration of the circular economy paradigm under the just and safe operating space narrative: Twelve operational principles based on circularity, sustainability and resilience. *Journal of Cleaner Production* 322, 1-13
- Unioncamere Piemonte (2021). Economia Circolare in Piemonte. <https://www.csрпиemonte.it/economia-circolare/dwd/report-ec-2021.pdf>
- United Nations Environment Programme (2004). *Reduce, reuse and recycle concept (the "3Rs") and life-cycle economy: Note by the Executive Director* (UNEP/GC/23/INF/11). <https://digitallibrary.un.org/record/542126>
- United Nations General Assembly (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*(A/RES/70/1). United Nations. <https://digitallibrary.un.org/record/3923923> (accessed July 2, 2025)
- United Nation General Assembly (2015). Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf
- Van Vuuren D.P., Zimm C., Busch S., Kriegler E., Leininger J., Messner D., Nakicenovic N., Rockstrom J., Riahi K., Sperling F., Bosetti V., Cornell S., Gaffney O., Lucas P.L., Popp A., Ruhe C., Von Schiller A., Schmidt J.O. & Soergel B. (2022). Defining a sustainable development target space for 2030 and 2050, *One Earth*, Vol. 5, No. 2, 2022 pp. 142-156. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.01.003>
- Zall Kusek J. & Rist R.C. (2004). A Handbook for Development Practitioners. Ten Steps to a Results-Based Monitoring and Evaluation System, The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Washington D.C.
- Waas T., Hugé J., Block T., Wright T., Benitez-Capistros F. & Verbruggen A. (2014). Sustainability Assessment and Indicators: Tools in a Decision-Making Strategy for Sustainable Development. *Sustainability* 6, 5512-5534. <https://doi.org/10.3390/su6095512>
- Winans K., Kendall A. & Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68:1, 825-833
- Wu W.N. (2020). Determinants of citizen-generated data in a smart city: Analysis of 311 system user behavior. *Sustainable Cities and Society*, 59, 102167

Ponte New Architecture

SMART BUILDING Involucro 2.0



Marco Casini

dei
TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

www.build.it

dei
TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE