

L'Osservatorio sulle dinamiche dell'economia circolare e del ciclo dei rifiuti

di Alessandro Augurio, Gerardo Cringoli, Andrea Pomella

Abstract

Questo contributo presenta gli obiettivi e i compiti dell'Osservatorio sulle dinamiche dell'economia circolare e del ciclo dei rifiuti costituito dalla Fondazione Astrid. L'Osservatorio è stato istituito con l'obiettivo di formulare proposte da sottoporre ai policy maker in materia di economia circolare, nonché suggerimenti di riforma o integrazione normativa basati sulle evidenze scientifiche e sulle esperienze condivise dai membri del Comitato scientifico.

Il documento delinea il quadro teorico di riferimento per lo studio dell'economia circolare e fornisce una rassegna delle principali metodologie che saranno utilizzate per rispondere agli obiettivi dell'Osservatorio.

Oggetto di particolare approfondimento in questo contributo sono i cicli delle acque reflue, dei rifiuti plastici e dei materiali tessili, i quali costituiranno i campi di specializzazione delle attività dell'Osservatorio nel corso del primo anno.

This contribution presents the objectives and tasks of the Observatory on Circular Economy and Waste Cycle Dynamics established by the Astrid Foundation. The Observatory was set up with the aim of formulating proposals to be submitted to policy makers on the circular economy, as well as suggestions for regulatory reform or integration based on scientific evidence and the shared experiences of the members of the Scientific Committee.

The document outlines the theoretical framework for the study of the circular economy and provides an overview of the main methodologies that will be used to meet the objectives of the Observatory.

This contribution focuses in particular on the cycles of wastewater, plastic waste and textiles, which will be the areas of specialisation of the Observatory's activities during its first year.

1. L'Osservatorio sulle dinamiche dell'economia circolare e del ciclo dei rifiuti nasce con l'obiettivo di costituire uno spazio stabile di confronto tra comunità scientifica, decisori pubblici, settore industriale e altri stakeholder, per promuovere la transizione verso modelli sostenibili di produzione e consumo. Esso ambisce a evolvere in un network internazionale per il continuo scambio di informazioni, dati, pubblicazioni e *best practice*, favorendo la circolazione della conoscenza e l'innovazione nelle politiche e nelle strategie di economia circolare. In linea con questo mandato, le finalità

principali comprendono la formulazione di proposte *evidence-based* da sottoporre ai *policy maker* in materia di economia circolare, nonché suggerimenti di riforma o integrazione normativa basati sulle evidenze scientifiche e sulle esperienze condivise dai membri dell'*Osservatorio*. Tali proposte saranno sviluppate attraverso valutazioni integrate di sostenibilità ambientale, economica e sociale, secondo il principio del *Life Cycle Thinking*, ovvero considerando gli impatti lungo tutto il ciclo di vita dei sistemi analizzati. Questo approccio olistico garantisce che le raccomandazioni tengano conto delle tre dimensioni della sostenibilità in modo equilibrato, evitando il mero spostamento dei carichi ambientali da una fase all'altra del ciclo di vita.

Dal punto di vista economico, il percorso verso un nuovo modello circolare richiede anche competitività ed equità: un sistema di economia circolare deve dimostrarsi competitivo rispetto al modello lineare e garantire benefici economico-sociali almeno equivalenti per gli attori coinvolti. In altri termini, l'innovazione circolare deve coniugare efficienza nell'uso delle risorse e creazione di valore per imprese e comunità, affinché la transizione sia credibile e adottabile su larga scala. Questo richiama l'attenzione sui principi dell'economia istituzionale della sostenibilità, secondo cui l'evoluzione verso modelli sostenibili dipende non solo da tecnologie e mercati, ma anche dal quadro istituzionale di regole, incentivi e norme sociali¹.

2. L'economia circolare

L'economia circolare è un modello economico innovativo basato sul principio della rigenerazione e della sostenibilità ambientale, che si contrappone al modello tradizionale lineare del tipo "estrarre, produrre, consumare e smaltire". Secondo la Ellen MacArthur Foundation l'economia circolare è un approccio industriale nel quale il tradizionale sistema di produzione e consumo, di tipo aperto e lineare, all'interno del quale si estraggono le materie prime per la realizzazione di nuovi prodotti che al termine della vita utile diventano rifiuti, è sostituito da un sistema circolare chiuso nel quale le risorse sono riutilizzate e mantenute nel ciclo di produzione e riutilizzo attraverso diverse tipologie di azioni².

Tale paradigma promuove, quindi, un sistema nel quale le risorse sono mantenute in uso il più a lungo possibile, massimizzandone il valore e riducendo al minimo la produzione di rifiuti. Alla base dell'economia circolare vi è l'idea di un ciclo continuo di utilizzo delle risorse, in cui i materiali di scarto diventano input per nuovi processi

¹ D. C. NORTH, *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, Cambridge University Press, 1990; E. OSTROM, *A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems*, in "Science", vol. 325, n. 5939, pp. 419-422, 2009.

² <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>

produttivi. Questa visione strategica comprende concetti chiave come il riciclo, il riuso, la rigenerazione e la condivisione delle risorse, allo scopo di minimizzare l'impatto ambientale e ottimizzare l'efficienza economica. In pratica, ciò significa progettare prodotti che siano facili da riparare, aggiornare o riciclare, in modo da estendere significativamente il loro ciclo di vita.

Tra i teorici ed economisti che hanno significativamente contribuito al dibattito sull'economia circolare spicca Walter R. Stahel, pioniere del concetto fin dagli anni '70. Stahel ha enfatizzato l'importanza della durata dei prodotti e della manutenzione continua, sostenendo che il passaggio da un'economia lineare a una circolare può creare occupazione e ridurre gli impatti ambientali negativi³. Altri importanti studiosi includono David Pearce e Kerry Turner, i quali hanno formalizzato il concetto di economia circolare nel loro lavoro "*Economics of Natural Resources and the Environment*"⁴. Sul fronte politico, l'Unione Europea ha svolto un ruolo centrale attraverso il "*Circular Economy Action Plan*", parte del Green Deal europeo, che prevede misure concrete per promuovere la transizione verso la circolarità attraverso finanziamenti, incentivi fiscali e regolamenti specifici. Queste politiche mirano a stimolare l'innovazione tecnologica e a rafforzare le filiere produttive sostenibili. Uno degli aspetti distintivi dell'economia circolare è la valorizzazione dei "servizi ecosistemici", ovvero quei benefici vitali forniti dagli ecosistemi naturali, come la depurazione dell'acqua, la fertilità del suolo e la regolazione del clima. Questo modello economico cerca attivamente di proteggere e preservare tali servizi, riconoscendo il loro ruolo cruciale nella sostenibilità a lungo termine delle attività umane. Sul piano sociale ed economico, l'economia circolare non solo punta a mitigare i rischi ambientali, ma offre anche nuove opportunità occupazionali e di sviluppo economico locale. La transizione verso la circolarità genera domanda per nuove competenze tecniche e professionali, stimola l'innovazione tecnologica e favorisce lo sviluppo di reti locali resilienti e autosufficienti. In conclusione, l'economia circolare rappresenta una risposta strategica alle sfide globali contemporanee quali il cambiamento climatico, la scarsità delle risorse e la crisi ambientale, proponendo un nuovo modello economico e sociale che promuove benessere e sviluppo sostenibile per le generazioni presenti e future.

3. Le strategie per l'applicazione dei modelli circolari

L'applicazione dei modelli circolari avviene mediante l'implementazione di strategie, generalmente indicate con la lettera R. Inizialmente le R individuate erano tre:

³ W.R. STAHEL, *Economia circolare per tutti. Concetti base per cittadini, politici e imprese*, Edizioni Ambiente, 2019.

⁴ D. PEARCE e K. TURNER, *Economics of Natural Resources and the Environment*, 1989

riutilizzo, recupero e riciclo. La teoria con il tempo ha ulteriormente elaborato questo framework teorico aggiungendone altre⁵.

Il modello dell'European Environmental Agency, basato su Potting et al. (2017)⁶, ha individuato 9R, ovvero nove differenti strategie, che contribuiscono ad incrementare la circolarità delle *value chain*, mediante azioni specifiche da implementare nelle diverse fasi temporali che interessano la vita di un prodotto.

La tabella riassume le nove strategie raggruppandole per ciascuna fase del ciclo di vita del prodotto.

Le 9 R Strategies

Fase del ciclo di vita del prodotto	Strategia	
Before use	<i>Refuse</i>	Evitare l'acquisto di prodotti inutili o dannosi
	<i>Rethink</i>	Progettare i prodotti per una durata maggiore, consentendone più facilmente la riparazione ed il riciclo
	<i>Reduce</i>	Produrre il prodotto con un impatto ambientale minimo
During use	<i>Retain</i>	Utilizzare e mantenere i prodotti esistenti per una lunga durata
	<i>Reuse and share</i>	Fornire i prodotti ad altri per un ulteriore utilizzo
	<i>Repair</i>	Riparare i prodotti difettosi e riportarli alla funzionalità originale
	<i>Remanufacture</i>	Ricostruire i prodotti per fornire una funzionalità nuova o migliorata
After use	<i>Recycle</i>	Trasformare i prodotti scartati in materiali utili e di alta qualità
	<i>Return</i>	Sostituire le risorse vergini con materie prime secondarie

Fonte: EEA, *Accelerating the circular economy in Europe. State and outlook*, 2024.

⁵ Si veda in merito L. BAJARDELLI, A. BOLOGNINI COBIANCHI, *Economia circolare per le PMI. Dalla progettazione ai finanziamenti, dall'eco-design alla comunicazione*, Franco Angeli editore, 2024.

⁶ J. POTTING, M. HEKKERT, E. WORRELL, A. HANEMAAIJER, *Circular Economy: Measuring innovation in the product chain*, PBL Netherlands Assessment Agency, The Hague, 2017,

Le azioni implementate prima dell'uso, *Refuse*, *Rethink* e *Reduce* mirano a ridurre l'offerta e la domanda di materiali e, quindi, l'estrazione e l'utilizzo delle materie prime. Le strategie di *Retain*, *Reuse*, *Repair* e *Remanufacture* allungano la vita utile del prodotto intensificando l'utilizzo delle materie prime esistenti, limitando il flusso di materiale e riducendo il bisogno di realizzare nuovi prodotti. Infine, le azioni di *Recycle* e *Return* sono implementate per assicurare che i materiali rimasti dopo che il prodotto si è trasformato in un rifiuto rimangano nel ciclo per essere nuovamente utilizzati. In tal modo tali azioni contribuiscono alla riduzione dell'ammontare richiesto delle materie prime vergini nell'ambito del sistema economico.

Il modello delle 9R e come gli altri esistenti⁷ sono punti di riferimento per i policy maker nel momento in cui devono individuare azioni per implementare la circolarità nelle *value chain*. Ad esempio, le recenti direttive a livello europeo, come la Direttiva europea sull'Ecodesign⁸ e sul Diritto alla Riparazione⁹, mirano rispettivamente a ridurre l'impatto ambientale di un prodotto già nella fase di progettazione e ad allungare la vita utile mediante azioni diverse¹⁰, intervenendo in fasi diverse della vita del prodotto per raggiungere obiettivi di circolarità.

L'implementazione delle strategie di economie circolari determina notevoli cambiamenti anche sui modelli di business, incentivandone spesso la nascita e la diffusione di nuovi. Infatti con l'avvento dell'economia circolare, sono cambiati alcuni assiomi tipici dell'economia lineare. Forme di business come lo sharing e la condivisione della proprietà spingono i consumatori all'utilizzo dei beni anziché al possesso. Le formule del tipo *pay per use* (pagare per l'utilizzo) trasformano i prodotti in servizi accentuando la terzizzazione dei sistemi economici.

Infine, l'implementazione dei modelli circolari intensifica i rapporti intersettoriali tra le imprese. Ad esempio, gli scarti di un'industria possono diventare materia prima secondaria per un'altra. Tale fenomeno, anche conosciuto con il nome di simbiosi

⁷ La direttiva europea in materia di rifiuti (*Waste Framework Directive*) considera ad esempio solo 4R: riduzione, riuso, riciclo e recupero.

⁸ Direttiva UE 2009/125/CE. Recentemente la Commissione ha proposto un'estensione della Direttiva per la progettazione ecocompatibile anche ai prodotti non connessi all'energia. Si veda a tal fine la Comunicazione della Commissione al parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato Delle Regioni (<https://www.consilium.europa.eu/it/press/press-releases/2024/05/27/green-transition-council-gives-its-final-approval-to-the-ecodesign-regulation/#:~:text=Il%20regolamento%20sostituisce%20la%20direttiva%20esistente%20sulla%20progettazione,dell%27UE.%20Si%20tratta%20dell%27ultima%20tappa%20del%20processo%20decisionale.>).

⁹ Direttiva UE 2024/1799.

¹⁰ Alcuni fra gli obiettivi indicati dalla Direttive consistono proprio nella promozione dei mercati dei prodotti rigenerati (*refurbish*, *remanufacture*) e di centri di riuso per la raccolta e redistribuzione di beni ancora funzionanti (*reuse*).

industriale, genera ecosistemi industriali che coinvolgono molteplici attori e si struttura in diversi modelli di collaborazione fra imprese¹¹.

4. Metodologie e strumenti di analisi

Coerentemente con il quadro teorico sopra delineato, l'*Osservatorio* impiegherà una serie di metodologie quantitative e qualitative per analizzare le filiere oggetto di studio e supportare le proposte con evidenze scientifiche robuste. Tra gli strumenti principali figurano:

- *Stakeholder analysis*: identificazione, analisi e mappatura di tutti i soggetti coinvolti nell'ambito dell'implementazione dei modelli di economia circolare. La numerosità e la diversità dei soggetti coinvolti e la necessità di coordinamento tra gli stessi rende la *stakeholder analysis* uno strumento particolarmente adatto allo studio dell'economia circolare.
- *Value chain mapping*: mappatura della catena del valore, particolarmente utile per individuare le fasi attraverso le quali avviene la creazione e la distribuzione del valore economico fra i vari attori. Nell'ambito delle attività dell'*Osservatorio*, la *value chain mapping* consentirà l'identificazione delle fasi economicamente più vantaggiose dei processi di economia circolare applicati in particolari ambiti.
- *Life Cycle Assessment (LCA)*: metodologia internazionale standard (ISO 14040/14044) per la valutazione degli impatti ambientali potenziali associati a un prodotto, processo o servizio lungo tutte le fasi del suo ciclo di vita, dal *cradle-to-grave*. Nell'ambito dell'*Osservatorio*, il LCA verrà utilizzata per stimare gli impatti ambientali delle attuali filiere lineari rispetto a scenari alternativi più circolari (es. introduzione di contenuti riciclati, estensione della vita utile dei prodotti, opzioni di riciclo/riuso), fornendo basi scientifiche alle valutazioni di sostenibilità ambientale delle policy proposte.
- *Life Cycle Costing (LCC)*: analisi dei costi lungo il ciclo di vita, spesso complementare all'LCA, che include tutti i costi diretti e indiretti associati a un sistema o processo durante l'intero *life span*, dalla progettazione allo smaltimento. Il LCC consente di identificare l'opzione più costo-efficace tra alternative progettuali o gestionali, internalizzando anche costi operativi, di manutenzione, di fine vita, etc.

¹¹ Si veda in merito L. BAJARDELLI, A. BOLOGNINI COBIANCHI, *Economia circolare per le PMI. Dalla progettazione ai finanziamenti, dall'eco-design alla comunicazione*, Franco Angeli, 2024.

- **Indicatori di circolarità:** l'*Osservatorio* presterà particolare attenzione allo sviluppo e all'utilizzo di metriche standard per misurare i progressi verso la circolarità. Tra questi indicatori vi sono i classici tassi di riciclo e riuso, ma anche indicatori compositi recentemente proposti in letteratura (es.: il *Monitoring Framework dell'Eurostat*¹²; *Circularity Gap Indicator*; *Material Circularity Index* sviluppato dalla Ellen MacArthur Foundation¹³; *Circular Material Use Rate*, ecc.).
- **Analisi con tecnologie digitali e intelligenza artificiale:** in linea con l'orientamento verso l'innovazione, sarà esplorato l'impiego di strumenti di *data analytics*, *machine learning* e intelligenza artificiale (IA) per migliorare la gestione dei sistemi ambientali e di circolarità.
- **Analisi istituzionale e di governance:** oltre agli strumenti quantitativi, l'*Osservatorio* condurrà analisi qualitative sul contesto normativo, regolatorio e di governance delle filiere in esame. Saranno analizzati modelli di partenariato pubblico-privato, sistemi di *Extended Producer Responsibility* (EPR) e meccanismi di regolazione economica (tariffe puntuali, cauzioni su contenitori come il *deposit refund*, ecc.).

5. Aree di ricerca verticali (filiera prioritarie)

Nel primo anno di attività, l'*Osservatorio* focalizzerà le proprie ricerche su due ambiti verticali di particolare rilievo strategico per l'economia circolare nazionale: 1) il ciclo dei rifiuti plastici, 2) ciclo delle acque reflue. Inoltre, sin da ora si pianifica l'avvio, in una fase successiva, di un terzo verticale dedicato al ciclo dei materiali tessili e al settore moda, alla luce dell'importanza crescente di quest'ultimo e delle imminenti iniziative regolatorie sia a livello europeo (*EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles, 2022*) sia nazionale. Ciascuno di questi assi di ricerca sarà affrontato con una visione sistemica e multidisciplinare.

1) Filiera dei rifiuti plastici

Il ciclo dei rifiuti plastici comprende l'insieme delle attività di produzione, consumo, raccolta, trattamento e riciclo delle materie plastiche post-consumo. Si tratta di un settore emblematico per l'economia circolare, dato che la plastica è divenuta uno dei materiali più diffusi ma al contempo problematici in termini ambientali. A livello globale, la produzione annua di plastica ha superato 460 milioni di tonnellate

¹² <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/monitoring-framework>

¹³ <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator>

(Astrid/Coripet, 2023) ed è quadruplicata negli ultimi 30 anni, ma solo una frazione minima dei rifiuti plastici viene effettivamente riciclata (circa il 9% a livello mondiale, dati OCSE). Il resto finisce principalmente in discarica (oltre 50%) o incenerito (19%), con un preoccupante 22% che sfugge ai sistemi di gestione finendo per inquinare suolo, fiumi e oceani. Questi numeri testimoniano l'urgenza di ripensare l'intero sistema produttivo e di consumo delle plastiche.

Dal punto di vista regolatorio, negli ultimi anni vi è stata un'intensa attività sia nell'Unione Europea che in Italia per affrontare la questione. Ad esempio, l'UE ha adottato la Direttiva 2019/904 sui prodotti di plastica monouso, che promuove approcci circolari privilegiando prodotti riutilizzabili e sistemi di riuso in luogo degli articoli monouso, con l'obiettivo di ridurre l'impatto di specifiche categorie di plastica sull'ambiente. Tale direttiva, recepita anche in Italia, vieta o limita la distribuzione di diversi prodotti plastici usa-e-getta (posate, piatti, cannucce, bastoncini cotonati, etc.), introduce obiettivi di raccolta differenziata (es. 90% di raccolta per le bottiglie in PET entro il 2029) e requisiti di progettazione (contenuto minimo di plastica riciclata nelle bottiglie).

In questo contesto, l'*Osservatorio* condurrà una ricostruzione dettagliata della filiera dei rifiuti plastici, mappando tutti gli attori coinvolti, dai produttori di polimeri e manufatti, ai distributori, consumatori, aziende di gestione rifiuti, riciclatori, nonché le relative attività generatrici di valore economico. Si analizzeranno i flussi di materiali (quantità e tipologie di plastiche immesse sul mercato e poi raccolte come rifiuto), evidenziando le attuali inefficienze e dispersioni (es. frazioni non intercettate dalla raccolta differenziata, perdite di materiale durante il riciclo, export di rifiuti). Tramite il LCA, verranno quantificati gli impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita: dal *carbon footprint* associato alla produzione di plastiche vergini e ai vari scenari di fine vita (discarica, incenerimento con recupero energetico, riciclo meccanico o chimico), fino agli impatti potenziali derivanti dalla dispersione di macro e microplastiche negli ecosistemi marini e terrestri. Si considereranno anche i costi esterni di tali impatti, secondo l'approccio dell'analisi del ciclo di vita con estensione economica.

Sulla base di questa diagnosi, l'*Osservatorio* esplorerà una serie di interventi di eco-design e modelli di business circolari per il settore plastica.

2) *Il ciclo delle acque reflue*

La gestione sostenibile delle acque reflue urbane e industriali è un altro pilastro fondamentale della circolarità, in quanto consente di trasformare un output di scarto

(l'acqua usata) in una risorsa riutilizzabile, contribuendo sia alla tutela di un bene prezioso come l'acqua, sia alla riduzione dell'inquinamento dei corpi idrici.

Nel 2025, con il *Water Resilience Initiative*¹⁴ l'UE ha rimarcato la necessità di rafforzare la resilienza dell'Europa alla crisi idrica spingendo per l'implementazione di una gestione sostenibile dell'acqua e per una riduzione dei rischi legati all'inquinamento, alla siccità e alle inondazioni.

Il ciclo delle acque reflue comprende le fasi di raccolta, depurazione, eventuale riuso e restituzione all'ambiente delle acque usate. Negli ultimi decenni, molti Paesi hanno compiuto progressi significativi nella depurazione delle acque reflue; tuttavia, il riutilizzo di queste acque trattate (*water reuse*) per scopi civili, agricoli o industriali è ancora limitato in molte regioni, nonostante il potenziale elevato.

L'Unione Europea ha adottato il Regolamento (UE) 2020/741 che definisce requisiti minimi per il riutilizzo sicuro delle acque reflue depurate in agricoltura, entrato in vigore nel giugno 2023. Tale normativa mira ad alleviare la scarsità idrica aggravata dai cambiamenti climatici promuovendo il riuso in agricoltura, attraverso standard di qualità comuni e l'implementazione di piani di gestione del rischio a tutela di salute e ambiente. Il regolamento prevede che l'acqua reclamata (derivante da trattamento avanzato di reflui urbani) rispetti precise caratteristiche microbiologiche e chimico-fisiche a seconda della classe d'uso e impone trasparenza nella pubblicazione dei dati su qualità e quantità di acqua riutilizzata. Questo quadro normativo fornisce un forte impulso agli Stati membri per sviluppare infrastrutture e normative tecniche nazionali finalizzate ad aumentare significativamente il riuso delle acque reflue, soprattutto nelle regioni mediterranee soggette a stress idrico.

Allo stato attuale, l'Italia riutilizza solo una piccola frazione delle sue acque reflue depurate (stime indicano percentuali sotto il 5%), sebbene esistano eccellenze locali. L'Osservatorio procederà a una mappatura della filiera delle acque reflue a livello nazionale: dai sistemi di fognatura e collettamento, agli impianti di depurazione (analizzando tecnologie utilizzate e performance), fino agli eventuali usi a valle (irrigazione di campi agricoli, uso industriale in cicli produttivi, riuso per usi civili non potabili come irrigazione di parchi o lavaggio strade).

Attraverso tecniche di LCA, verranno confrontati scenari di gestione "lineare" (in cui l'acqua depurata viene semplicemente restituita ai corsi d'acqua) con scenari circolari in cui parte di essa è riutilizzata, considerando sia i benefici (risparmio di acqua di fonte, riduzione prelievi da falda o invasi) sia i potenziali impatti (es. maggior consumo energetico per trattamenti aggiuntivi come ultrafiltrazione o disinfezione spinta,

¹⁴ https://commission.europa.eu/topics/environment/water-resilience-strategy_en

accumulo di salinità nei suoli se le pratiche non sono ben gestite, ecc.). Un'analisi costi-benefici sarà condotta in ottica LCC per valutare la sostenibilità economica di progetti di riuso tenendo conto anche del valore economico dell'acqua risparmiata e dei costi ambientali evitati (minore stress idrico, minori scarichi di nutrienti in ambiente acquatico).

Un elemento chiave sarà l'analisi delle tecnologie innovative di trattamento e riuso: ad esempio, sistemi di fitodepurazione avanzata per piccoli centri, processi di membrana (ultrafiltrazione, osmosi inversa) per ottenere acqua ultrapura da utilizzare nell'industria microelettronica o in agricoltura idroponica, recupero di risorse dai reflui in ottica di *water-energy-food nexus* (come il recupero di fosforo dai fanghi per produrre fertilizzanti, o la digestione anaerobica dei fanghi per produrre biogas e biometano, con contestuale riduzione dei fanghi da smaltire).

Ciclo dei materiali tessili (in previsione)

Nel quadro di programmazione a medio termine, l'*Osservatorio* prevede di avviare un terzo verticale di ricerca dedicato al *ciclo dei materiali tessili e al settore moda*, settori che saranno a breve oggetto di regolamentazione a livello nazionale ed europeo. L'industria tessile-moda esercita impatti ambientali imponenti: a livello globale, il settore tessile è il quarto per consumo di materie prime e di acqua (dopo alimentare, edilizia e trasporti) e il quinto per emissioni di gas serra. Si stima inoltre che meno dell'1% dei materiali tessili venga riciclato in nuovi prodotti tessili. Per affrontare queste sfide, la Commissione Europea ha adottato nel 2022 una Strategia dell'UE per i Tessili Sostenibili e Circolari, che mira a "reinventare" l'intero ciclo di vita dei prodotti tessili, promuovendo beni progettati per durare più a lungo, essere più facilmente riparabili e riciclabili, e prodotti in modo sostenibile. La strategia prevede misure quali: requisiti di *ecodesign* per i capi (ad esempio l'eliminazione di sostanze chimiche pericolose, l'obbligo di resistenza e qualità elevata, etichette digitali con informazioni sulla sostenibilità), promozione di modelli circolari (noleggio, resale, servizi di riparazione), responsabilità estesa del produttore per i rifiuti tessili, e obiettivi di raccolta differenziata obbligatoria dei tessili (che gli Stati membri dovranno garantire entro il 2025).

L'Osservatorio, in vista di questa evoluzione, adotterà un approccio sistemico e multidisciplinare anche per il settore tessile, tenendo conto delle interazioni tra normative (sia ambientali che del lavoro – il settore moda ha anche rilevanti implicazioni etico-sociali lungo la supply chain globale), design (fibra e materiali innovativi, design per disassemblaggio), impatti ambientali (uso di acqua ed energia,

rilascio di microfibre plastiche nell'ambiente acquatico durante il lavaggio, ecc.) e modelli di consumo (*fast fashion vs slow fashion*).

6. Tematiche trasversali di ricerca

Attraverso tutti i verticali sopra descritti, l'Osservatorio affronterà una serie di tematiche trasversali considerate cruciali per abilitare la transizione circolare in qualsiasi settore. Tali tematiche saranno oggetto di specifici approfondimenti e *working paper*, allo scopo di produrre conoscenza generica applicabile a più filiere. Di seguito si delineano queste aree trasversali, inquadrando metodologicamente.

Evoluzione normativa e policy

Si analizzerà il quadro delle normative vigenti in materia di economia circolare, rifiuti, bioeconomia e transizione ecologica, sia a livello europeo sia nazionale. L'attenzione sarà posta sull'evoluzione recente (ad esempio: *Green Deal* e nuovo *Circular Economy Action Plan 2020*, *Strategia nazionale per l'economia circolare*, *Programma nazionale per la gestione dei rifiuti*) e sulla coerenza delle politiche rispetto agli obiettivi dichiarati. Si valuteranno eventuali gap normativi, conflitti o sinergie tra norme (ad es. tra normativa rifiuti e normativa sui sottoprodotti o *end-of-waste*) e si proporranno migliorie. Un aspetto importante sarà l'analisi del contesto istituzionale.

Tecnologie digitali e intelligenza artificiale. Come già accennato, verrà approfondito lo stato dell'arte delle applicazioni digitali al servizio della sostenibilità ambientale e dell'economia circolare. Questo filone includerà la mappatura di casi innovativi (*start-up*, progetti pilota, applicazioni industriali) in cui strumenti digitali hanno migliorato la circolarità: ad esempio piattaforme online di condivisione (*sharing economy*) e riutilizzo di beni, sistemi di tracciabilità blockchain per materie prime riciclate che garantiscono trasparenza lungo la *supply chain*, algoritmi di ottimizzazione per reti di simbiosi industriale (in cui gli scarti di un'azienda diventano input per un'altra). Sul fronte AI, saranno esaminati in modo critico i risultati ottenuti finora in letteratura: vi sono studi che mostrano come l'AI possa incrementare l'efficacia dei sistemi di gestione rifiuti e recupero risorse, ma anche l'esigenza di robusti dataset e investimenti infrastrutturali per implementarli¹⁵.

¹⁵ A. LAKHOUT, Revolutionizing urban solid waste management with AI and IoT: A review of smart solutions for waste collection, sorting, and recycling, in *Results in Engineering*, vol. 25, 104018, 2025; B. FANG, J. YU, Z. CHEN, A. I. OSMAN, M., FARGHALI, I. IHARA, E. H. HAMZA, D. W. ROONEY, P. S. YAP, Artificial intelligence for waste management in smart cities: a review, in *Environmental Chemistry Letters*, vol. 21, pp. 1959- 1989, 2023.

Governance e regolazione pubblica

Questo tema incrocia in parte l'analisi istituzionale già discussa, ma pone l'accento sulle forme di coordinamento e gestione delle filiere circolari che trascendono la mera sfera normativa. Saranno approfonditi modelli di governance *multi-stakeholder*: oltre ai consorzi o *network* che riuniscono imprese di un settore, istituzioni e ricerca per affrontare congiuntamente problemi di circolarità (sul modello delle *circular economy hubs* presenti in alcune regioni europee), si prenderanno in considerazione anche i cosiddetti distretti di economia circolare, i parchi ecoindustriali e le reti per la simbiosi industriale che coinvolgono imprese di settori differenti. Si analizzeranno inoltre le performance ambientali, sociali ed economiche dei differenti assetti gestionali esistenti nei settori target (rifiuti plastici e acque reflue): ad esempio, confronto tra gestione interamente pubblica, mista o privata dei servizi, oppure tra sistemi accentrati vs decentrati. Si valuterà il ruolo di strumenti di pianificazione (piani regionali rifiuti, piani d'ambito ottimale per il servizio idrico integrato) e la capacità delle istituzioni di monitorare e far rispettare standard di qualità ambientale.

Aspetti comportamentali e culturali

La transizione circolare non è solo un fatto tecnico o economico, ma coinvolge profondamente comportamenti individuali e collettivi, valori culturali e aspetti psicologici. L'*Osservatorio* adotterà quindi un approccio interdisciplinare che integri anche le scienze sociali (sociologia, psicologia ambientale, antropologia culturale) per analizzare i fattori che influenzano le pratiche di consumo, le abitudini di separazione e riciclo dei rifiuti, l'adesione dei cittadini e delle imprese a iniziative circolari. Si esploreranno temi quali: le leve motivazionali e le barriere percepite per i cittadini nel partecipare a programmi di riuso o condivisione; il ruolo dell'informazione e educazione; l'influenza di norme sociali e dinamiche di comunità. L'*Osservatorio* intende promuovere iniziative di *citizen science*, consultazioni pubbliche e laboratori territoriali, che non solo raccolgano dati utili alla ricerca, ma allo stesso tempo coinvolgano la cittadinanza attiva, rendendola parte integrante del processo di transizione.

Finanza sostenibile e modelli di business

Una tematica trasversale cruciale è il ruolo della finanza nel supportare (o talvolta ostacolare) la transizione verso la bioeconomia e l'economia circolare. Negli ultimi anni è emerso un vivace movimento verso la finanza sostenibile, con strumenti come

green bonds, *sustainability-linked loans*, fondi di investimento ESG, che mobilitano capitali pubblici e privati in progetti con impatti ambientali positivi. L'*Osservatorio* condurrà studi sugli strumenti finanziari specificamente applicabili ai progetti di economia circolare: ad esempio, l'emissione di obbligazioni verdi per finanziare infrastrutture di riciclo o impianti di recupero risorse, oppure la creazione di fondi di venture capital dedicati a *start-up* circolari. Un oggetto di attenzione sarà la Taxonomy UE delle attività sostenibili (Regolamento UE 2020/852), che definisce criteri stringenti per stabilire se un'attività economica è *environmentally sustainable*, allo scopo di indirizzare gli investitori verso attività allineate agli obiettivi di neutralità climatica e tutela ambientale.